

AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO

MAR

Documento de trabalho

Maio 2018

AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO

MAR

Coordenação do Grupo de Peritos

Miguel Santos, Instituto Português do Mar e da Atmosfera

João Tasso, LSTS da Universidade do Porto

Ramiro Neves, MARETEC/LARSyS do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Redatores do Grupo de Peritos

A. Miguel Santos, Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Álvaro Peliz, Instituto Dom Luiz da Universidade de Lisboa

Ana Noronha, Ciência Viva

António Falcão, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

António Pascoal, ISR-Lisboa/LARSyS, Universidade de Lisboa

Carlos Guedes Soares, CENTEC da Universidade de Lisboa

Helena Vieira, BLUEBIO ALLIANCE

João Tasso, LSTS da Universidade do Porto

Jorge Antunes, TecnoVeritas

Luís Gato, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Luís Menezes Pinheiro, CESAM da Universidade de Aveiro

Marcos Mateus, MARETEC/LARSyS, Universidade de Lisboa

Marina Cunha, CESAM da Universidade de Aveiro

Miguel Santos, CIIMAR da Universidade do Porto

Pedro Pires, WavEC

Pedro Pousão, Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Ramiro Neves, MARETEC/LARSyS, Universidade de Lisboa

Raul Silva Bettencourt, IMAR-Açores, MARE

Ricardo Calado, CESAM da Universidade de Aveiro

Sónia Ribeiro, Instituto de Estudos Políticos da Universidade Católica Portuguesa

Tiago Rebelo, CEiiA

Tiago Silva, 3B's Research Group da Universidade do Minho

Equipa Técnica da FCT

Sofia Cordeiro (Co-coordenadora), Raquel Ribeiro (Co-coordenadora), Ana Amorim, Gonçalo Zagalo, Joana Pinheiro, Maria João Fernandes, Márcia Marques (fevereiro-abril de 2017), Marta Norton

Coordenação Geral

José Bonfim

Tiago Santos Pereira

As Agendas Temáticas de Investigação e Inovação dinamizadas pela FCT, entre as quais a presente Agenda Temática, estão a ser desenvolvidas por Grupos de Peritos designados conjuntamente pela FCT e por centros e unidades de investigação, empresas e outras entidades com investigação e inovação relevante nas respetivas áreas, em número variável.

Os Grupos de Peritos identificaram equipas de coordenação e diferentes formas de contribuição para as Agendas agora em fase de discussão, tendo sido apoiados ao longo do processo por equipas técnicas da FCT. Identificam-se nesta fase as equipas de coordenação e redação, sendo a composição alargada dos Grupos de Peritos apresentada no documento final.

AGENDA TEMÁTICA DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO MAR

(DOCUMENTO DE TRABALHO)

(As notas de rodapé que surgem ao longo do documento são notas do processo em curso de redação)

ÍNDICE

PARTE I.....	8
Capítulo 1 – Visão e Desafios para 2030.....	8
1.1 Visão para o Mar em Portugal até 2030	8
1.2 A importância do Mar para Portugal	9
1.3 Os grandes desafios para o desenvolvimento do Mar em Portugal até 2030.....	11
Capítulo 2 – Investigação e Inovação na área do Mar em Portugal e no Mundo	12
2.1 Estado da Arte: os desenvolvimentos dos últimos 10 anos	12
2.2 Estratégias Internacionais de Investigação e Inovação para o Mar	14
2.3 A Investigação e Inovação em Portugal na área do Mar nos últimos 15 anos	16
2.4 Diagnóstico da área em Portugal.....	17
Capítulo 3 – As Políticas Públicas e a investigação e inovação na área do Mar.....	19
3.1. O Mar e as Políticas Públicas nos últimos 10 anos: temas e impactos	20
3.2. Desafios para a agenda de investigação e inovação	21
PARTE II.....	24
Capítulo 4 – Subtemas e prioridades de investigação	24
4.1 Conhecimento integrado dos oceanos.....	25
4.1.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030	25
4.1.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos	26
4.1.3 As questões chave para uma agenda de investigação	27
4.2 Recursos marinhos	29
4.2.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030	29
4.2.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos	30
4.2.3 As questões chave para uma agenda de investigação	31
4.3 Alterações globais, riscos naturais e antrópicos	33
4.3.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030	33
4.3.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos	34
4.3.3 As questões chave para uma agenda de investigação	35
4.4 Oceanos e sociedade	36
4.4.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030	36
4.4.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos	37
4.4.3 As questões chave para uma agenda de investigação	38
4.5. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro nos quatro subtemas identificados	40
Capítulo 5 – Perspetivas de Inovação Social e Tecnológica.....	42
5.1 Tecnologias para a observação e o estudo integrado do oceano	42
5.1.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030	42
5.1.2 Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos	43
5.1.3 Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação	43
5.2. Tecnologias para a exploração responsável dos recursos vivos marinhos	44

5.2.1	- Desafios e objetivos para Portugal até 2030	44
5.2.2	Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos	45
5.2.3	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação	47
5.3	Energias marinhas	49
5.3.1	Desafios e objetivos para Portugal até 2030	49
5.3.2	Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos	50
5.3.3	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação	50
5.4	Tecnologias de suporte ao uso e gestão do Oceano	50
5.4.1	Desafios e objetivos para Portugal até 2030	51
5.4.2	Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos	51
5.4.3	Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação	52
5.5	Fatores críticos para o desenvolvimento futuro nas quatro dimensões identificadas	53
Acrónimos.....		56

PARTE I

Visão e Desafios

Capítulo 1 – Visão e Desafios para 2030

1.1 Visão para o Mar em Portugal até 2030

A comunidade científica, tecnológica e ligada à inovação no mar em Portugal encontra-se perante uma conjuntura favorável na qual importa definir as vertentes onde o país possa vir a assumir protagonismo a nível nacional e internacional. Entre 2013 e 2020 a visão para o mar em Portugal está fortemente associada ao desenvolvimento da economia azul, como definido na ENM 2013-2020. O diálogo até agora promovido entre estas três comunidades tem permitido à investigação e inovação no mar contribuir para alavancar a economia nacional nos últimos anos. Esta visão tem sido apoiada pela Estratégia de Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente 2014-2020 (ENEI). Para 2030 a visão para a investigação e inovação no mar deverá passar por fortalecer o diálogo entre a comunidade científica, tecnológica e ligada à inovação continuando a potenciar e concretizar o desenvolvimento da economia azul baseado na ciência, tecnologia e inovação. A posição geográfica de Portugal privilegia o avanço do conhecimento de sistemas de mar profundo e de mar aberto (corrente dos Açores), da margem ibérica e das interações entre o Mar Mediterrâneo e o Oceano Atlântico. Para além da sua extensão, o mar português caracteriza-se, de acordo com o conhecimento existente, por uma elevada riqueza e diversidade de recursos vivos e não vivos, características que no seu conjunto potenciam avanços científicos e tecnológicos e que podem, mais uma vez, apostando na inovação, alavancar a economia nacional. De acordo com a comunidade científica, tecnológica e ligada à inovação (ver os Capítulos 4 e 5), as grandes áreas em que Portugal deve apostar no futuro (até 2030) deverão centrar-se: (1) no conhecimento integrado dos oceanos; (2) no conhecimento e na exploração sustentável dos recursos marinhos; (3) na avaliação dos riscos naturais e antrópicos, dos impactos das alterações globais, e no desenvolvimento e implementação de medidas para a sua mitigação; e (4) na promoção de uma relação mais participativa da sociedade com o Oceano.

Portugal é intrinsecamente uma nação marítima, marca presente na sua história, na sua herança cultural, na sua geografia e geopolítica. O domínio da ciência náutica e cartografia no sucesso dos Descobrimentos colocaram Portugal historicamente no panorama mundial quando se fala de Mar, e a lusofonia é um vetor persistente de conexão global e uma marca incontornável nos eixos Norte-Sul e Este-Oeste do Oceano Atlântico. Com o processo de Extensão da Plataforma Continental, o domínio marítimo passa a constituir 97% do território de Portugal que fica assim com uma vasta área de jurisdição e/ou soberania central, e sobre grande parte do Atlântico Norte, afirmando-se como um dos estados mais atlânticos da Europa. Num momento em que Portugal se alarga para o mar, torna-se premente tirar partido desta realidade para a economia do país, a qual deve ser alavancada por uma forte aposta na Investigação e Inovação na área do Mar.

A Comunidade Científica e Tecnológica dispõe atualmente de um conjunto de instrumentos que visam promover a cooperação internacional nas ciências e tecnologias do mar no Atlântico, como sejam a

Declaração de Galway (2013) e a Declaração de Belém (2017), que promovem a Cooperação Científica, respetivamente no Atlântico Norte e Sul (assinada a primeira pelos Estados Unidos da América, Canadá e União Europeia, e a segunda pela África do Sul, Brasil e União Europeia). Refira-se a Iniciativa das Atlantic Interactions, resultado de uma cooperação internacional que pretende promover soluções baseadas no conhecimento, na investigação interdisciplinar e na inovação para responder a desafios sociais no Atlântico, ou mesmo a iniciativa Europeia BLUEMED que ambiciona a criação de um enquadramento estratégico baseado na investigação e inovação para a promoção de um Mar Mediterrâneo saudável, produtivo e resiliente, mais conhecido e valorizado. Refira-se ainda, a nível nacional, o Observatório do Atlântico a localizar no Faial, Açores, especialmente vocacionado para o mar profundo, e o polo nacional da infraestrutura europeia EMBRC, que funciona em rede no Algarve, Açores, Coimbra e Porto. Estas e outras iniciativas nacionais, europeias e internacionais vão ao encontro do preconizado na Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 (ENM 2013-2020), cujo Plano de Ação contém um eixo de ação para a pesquisa do Oceano. Este eixo compreende ações ligadas à investigação e ao conhecimento e iniciativas de base tecnológica tanto para a monitorização do meio marinho como para aplicação nos diferentes setores produtivos num contexto de exploração económica.

Acresce que existe uma dinâmica internacional global de aposta nas ciências no mar, com a inclusão de um Objetivo de Desenvolvimento Sustentável dedicado ao Oceano na Agenda 2030 das Nações Unidas (SDG14) e com a recente adoção pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) e posteriormente pelas Nações Unidas da Década Internacional das Ciências do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável 2021-2030.

1.2 A importância do Mar para Portugal

Com a extensão da plataforma continental para além das 200 milhas náuticas, Portugal passa a ter muito mar, nomeadamente mar profundo, o que significa uma responsabilidade acrescida de conhecer o mar português e uma oportunidade para perceber onde apostar para potenciar a economia azul, não só a nível nacional mas também a nível internacional. Por forma a melhor responder a esta responsabilidade e oportunidade é importante fazer uma avaliação da situação atual e definir uma estratégia para o futuro da investigação e inovação para o Mar em Portugal.

Existe um conjunto de conhecimento, centros de investigação e desenvolvimento dedicados ou com linhas de investigação relacionadas com o mar e de empresas que são pioneiros ou já de destaque em algumas matérias – refira-se o pioneirismo de Portugal com a proposta em 2006 de estabelecer pela primeira vez em águas internacionais uma área marinha protegida enquadrada na Convenção OSPAR¹; o desenvolvimento pioneiro do plano de ordenamento do espaço marítimo em 2011; a adoção no mesmo ano do Programa de Literacia do Oceano em que Portugal foi o primeiro país europeu a fazê-lo; a posição de destaque nacional na robótica e tecnologias marinhas (incluindo a robótica e comunicações submarinas), e modelação oceânica e na área das energias renováveis oceânicas, nomeadamente de energia das ondas e eólica em mar aberto. De facto, a limitação de extensão utilizável para implantação de estruturas fixas tradicionais, devido às características da margem continental portuguesa, posicionou o país como local de eleição para teste de turbinas eólicas flutuantes em mar aberto em águas mais profundas.

De entre as oportunidades para o país, Portugal pode-se destacar num futuro próximo pela exploração responsável e sustentável dos seus recursos. O facto de Portugal ser dos principais consumidores de

¹ O campo hidrotermal *Rainbow*, uma área que inclui o solo e subsolo marinhos localizados na área de plataforma continental portuguesa para além das 200 milhas e portanto sobre jurisdição do Estado português, mas numa fase anterior à proposta de extensão à Comissão de Limites da Plataforma Continental, em 2009.

pescado a nível mundial, apesar de apresentar uma balança comercial desfavorável ao importar cerca de 2/3 do que consome, define claramente a necessidade de uma estratégia de I&I para as pescas e sua socioeconomia, dada a importância da mesma nas comunidades litorais. Refira-se ainda que os ecossistemas do mar profundo português podem ser fonte de novos recursos, tanto pesqueiros como genéticos e de novas espécies para a ciência, pelo que se adivinha um contributo relevante para bases de dados de biodiversidade, moleculares e biogeográficas. Quanto aos recursos minerais, conhece-se a existência de hidratos de gás na margem sul portuguesa e estimam-se importantes reservas de cobre e zinco, entre outros elementos, para além do muito que falta conhecer e cuja exploração requer ponderada avaliação e balanço dos impactos negativos e positivos que daí poderão advir. A área da herança cultural marítima e património subaquático destaca-se pelo largo número de ocorrências arqueológicas na costa portuguesa. Socioeconomicamente, outra área que merece atenção é a dos transportes marítimos, nomeadamente a segurança do seu tráfego, dada a posição geoestratégica de Portugal e o consequente tráfego elevado de transportes e produtos poluentes. Por outro lado, os portos nacionais têm conhecido nos últimos anos uma atividade crescente, também com impacto significativo na logística, assim como a construção e reparação naval, que se afigura relevante num Estado atlântico a exercer a sua soberania e a assegurar o transporte de cargas para as suas regiões insulares. Finalmente, uma área emergente é a náutica de recreio e o turismo marítimo, a qual necessita de ser suportada com o desenvolvimento de navios e embarcações adequados a essas atividades. A importância económica deste conjunto de atividades em termos de emprego e Valor Acrescentado Bruto (VAB), em paralelo com a pesca e aquacultura, é evidenciada pelos resultados da Conta Satélite do Mar.

A par das referidas oportunidades, o desenvolvimento da investigação e da inovação para o mar em Portugal beneficiará da ativa participação da comunidade científica, tecnológica e empresarial nas redes e programas internacionais, enquanto parceiro de relevo, o que tem permitido acompanhar os avanços mais recentes de conhecimento em várias matérias.

A Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), I.P., através do seu Departamento de Relações Internacionais, e mais recentemente através do Programa Oceano inserido neste Departamento, tem-se empenhado em acompanhar alguns dos mais relevantes organismos europeus e internacionais ligados ao mar e que determinam caminhos de investigação futuros. São exemplo disso: a Iniciativa de Programação Conjunta Mares e Oceanos Saudáveis e Produtivos (JPI Oceans); o consórcio europeu para a investigação em perfuração/sondagem oceânica e o seu programa internacional (IODP/ECORD); o European Marine Board (EMB), que desenvolve posições comuns entre as organizações europeias executoras e financiadores de investigação em ciências do mar sobre as estratégias e prioridades científicas para esta área; o comité consultivo da Comissão Europeia para a investigação em bioeconomia (agricultura, agroindústria, florestas, biotecnologia, pescas) (SCAR); o grupo de trabalho de economia do Oceano da *Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico* (OCDE) e em particular o programa de trabalhos em Ocean Economy and Innovation; a Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, a única organização competente dentro do sistema das Nações Unidas para as Ciências do Mar; e a participação no Grupo de Peritos para a Avaliação do Estado do Ambiente Marinho incluindo os Aspetos Socioeconómicos (Processo Regular) das Nações Unidas.

É de salientar ainda o envolvimento da FCT, I.P. em instrumentos de cooperação, colaboração e/ou coordenação dos programas quadro europeus para o mar, nomeadamente em tecnologias marinhas e marítimas (MarTERA), em biotecnologia (ERAMBT), em biodiversidade e serviços dos ecossistemas (BiodivERsA), em energias oceânicas (OCEAN ENERGY ERA-NET), ou mais gerais como a CSA Oceans2.

A gestão da participação de Portugal nos múltiplos programas internacionais relacionados com a investigação e inovação do mar é mais eficiente se for baseada numa estratégia bem definida, que permita inspirar e sustentar de forma integrada os processos de decisão e o investimento nacional nas

ciências e tecnologias do mar, como ocorreu anteriormente com a definição de um Programa Dinamizador das Ciências e Tecnologias do Mar (PDCTM, 2000). É neste contexto que o desenvolvimento de uma Agenda de Investigação e Inovação para o Mar se torna tão relevante. A presente Agenda de Investigação e Inovação para o Mar visa, assim, perceber, do ponto de vista de uma larga comunidade científica, tecnológica e de inovação nacional, o panorama atual e as áreas-chave onde Portugal se deve empenhar para ter um posicionamento nacional e internacional de relevo, construindo desta forma uma fonte de informação suscetível de inspirar e sustentar os processos de decisão em I&I para o Mar, nomeadamente no que respeita às estratégias de internacionalização de I&I, bem como às agendas de investigação das instituições e dos seus investigadores.

1.3 Os grandes desafios para o desenvolvimento do Mar em Portugal até 2030

Portugal precisa de investigação e inovação oceânica, como suporte da Estratégia Nacional para o Mar 2013-2020 que estabelece o “investimento em recursos humanos qualificados e em infraestruturas de ciência e tecnologia ligadas aos mares e oceanos, bem como a otimização dos recursos existentes, o fomento e reforço da cooperação, a partilha de meios entre instituições nacionais e a participação ativa e devidamente enquadrada nas redes internacionais”.

Por forma a implementar a visão apresentada na Secção 1.1, torna-se claro que um dos grandes desafios será capacitar o país com infraestruturas de observação, modelação e previsão, o que inclui a aposta na aquisição de navios e no desenvolvimento de veículos autónomos, e em tecnologia inovadora que permita aceder ao mar aberto e ao mar profundo. Inclui também infraestruturas laboratoriais onde se possam estudar o efeito das ondas em veículos e plataformas marítimas e assim permitir melhorar o desempenho de operações marítimas. Em Portugal, muitas áreas de mercado são ainda incipientes e de dimensão insuficiente face ao seu potencial, dada a falta de infraestruturas base, de empresas âncora ou ainda de novas *startups*, como é o caso da biotecnologia marinha ou da aquacultura. Carece também o País de infraestruturas junto ao mar que permitam a grupos multidisciplinares terem acesso a espaços para a integração de sistemas tecnológicos que sirvam como uma verdadeira porta aberta para trabalhos de pesquisa no oceano, de modo a responderem coletivamente a reptos com relevância nacional.

Paralelamente, o investimento na formação e estabilidade de recursos humanos especializados e preparados para operações no mar, bem como para conceber equipamentos mais apropriados para as várias operações marítimas e focados na necessidade de ligar o conhecimento à indústria e ao mercado, possibilitará quebrar as tradicionais barreiras e apoiar a transferência de tecnologia.

O desenvolvimento de trabalho em redes interdisciplinares, nacionais e internacionais, incluindo ciências sociais, partilhando infraestruturas numa base colaborativa que permita a redução de custos e economia de tempo, ao mesmo tempo que potencia a visibilidade do trabalho e grupos envolvidos, é outro desafio para a comunidade nacional em investigação e inovação no mar.

Por último, importa referir que continua a haver um deficit na legislação nacional no que respeita a investigação científica no mar, apesar de já ter havido alguns desenvolvimentos.

Capítulo 2 – Investigação e Inovação na área do Mar em Portugal e no Mundo

2.1 Estado da Arte: os desenvolvimentos dos últimos 10 anos

A investigação e a inovação nos últimos 10 anos no Mar desenvolveram-se a par com o conceito de Economia Azul, que surge na Conferência do Rio+20 em 2012, baseada na premissa de que ecossistemas marinhos saudáveis são mais produtivos e fundamentais para permitir uma economia do mar sustentável. A Economia Azul está em crescimento, suportada pelo conhecimento dos oceanos e pelo desenvolvimento tecnológico, esperando-se que venha a ser uma componente importante da Economia Mundial. A Europa deverá ter uma posição de liderança neste processo, porque o Mar é uma parte importante do seu território e da sua história, mas também porque tem investido no estudo dos oceanos e na tecnologia, necessária à exploração dos recursos marinhos, e tem financiado investigação e inovação diferenciadora e com grande impacto.

A investigação no mar tem providenciado avanços significativos no conhecimento da dinâmica do Oceano, da biodiversidade e funcionamento dos seus ecossistemas, assim como na caracterização e avaliação dos recursos marinhos, contribuindo igualmente com conhecimento e ferramentas necessários à sua exploração sustentável. O desenvolvimento tecnológico permitiu a aquisição massiva de dados, a criação de plataformas de conhecimento necessárias à exploração dos recursos, e o desenvolvimento de ferramentas de previsão, essenciais à gestão dos recursos e à mitigação dos riscos inerentes à variabilidade das condições climáticas, meteorológicas e oceanográficas.

Alguns dos desenvolvimentos tecnológicos mais importantes para a observação e monitorização sustentada do oceano foram: (i) os flutuadores Argo e o seu lançamento continuado (atualmente são mais de 3700) para medição de perfis verticais de temperatura e de salinidade até aos 2000 m (programa IOC Argo), à escala do oceano global e que em breve deverão medir também propriedades biogeoquímicas (programa IOC Biogeochemical-Argo); (ii) a criação em 2014, por um grupo de nove países europeus (que não inclui Portugal), do Euro-Argo ERIC, uma infraestrutura de investigação europeia que organiza e agrupa a contribuição europeia para o programa IOC Argo; (iii) o lançamento dos quatro satélites MSG (METEOSAT de segunda geração lançados entre 2002 e 2015), que fornecem dados a cada 15 minutos com resolução de 1km, e dos três Sentinel (lançados entre 2012 e 2016), que transportam sensores com resoluções que podem atingir os 300 m; (iv) o lançamento de sensores para a medição da salinidade, pela primeira vez a partir do espaço, nomeadamente na missão europeia SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) e o sensor americano Aquarius; v) a implementação de uma rede de observatórios do mar profundo (infraestruturas EMSO), quer do solo quer da coluna de água, que medem continuamente parâmetros essenciais e disponibilizam informação em tempo real ou semi-real (Portugal é membro do EMSO); (vi) o avanço nas tecnologias de genómica que permitiu a descoberta de grupos de seres vivos marinhos desconhecidos da ciência e de recursos genéticos marinhos distintos, muitos dos quais nunca foram observados ou cultivados e dos quais apenas se conhece o seu genoma. Nos últimos anos, tem-se assistido a um grande desenvolvimento e operações com vários tipos de robots oceânicos (e.g., gliders), que, com o desenvolvimento de novos sensores, têm permitido um aumento de observações do oceano, especialmente nas camadas intermédias e profundas (e.g. deteção de cardumes de peixe em desova). Muitos destes robots já são comercializados e podem fazer missões com duração de 3-7 meses e atingir 1500 m de profundidade. Em Portugal, a aquisição pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), com recurso ao programa EEA Grants, de um novo navio oceanográfico (“Mar Portugal”) com capacidade para realizar operações no oceano global, e a sua potencial alargada utilização, constitui uma mais-valia para a comunidade do Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia (SNCT).

A modelação, enquanto ferramenta de apoio à interpretação dos dados biológicos e oceanográficos e à previsão, tem também evoluído nos últimos 10 anos. Atualmente os modelos operacionais de previsão no Oceano são de uso generalizado a diferentes escalas (global, regional e local). Em Portugal são usados sobretudo o modelo americano ROMS (Regional Ocean Modeling System) e o modelo português MOHID (Water Modelling System).

O desenvolvimento de plataformas de publicação e distribuição de dados acompanha a capacidade de observação e de modelação, estando em curso iniciativas europeias e nacionais para a organização e disponibilização dessa informação, nomeadamente o portal europeu para dados marinhos (EMODnet - European Marine Observation and Data Network), o Copernicus-Marine Environment Monitoring Service, que fornece produtos e serviços para todas as aplicações marítimas, o EOOS (European Ocean Observing System), o OBIS (Ocean Biogeographic Information System) que é um dos principais portais para dados biogeográficos e de biodiversidade marinha, a base de dados PANGEA (Data Publisher for Earth & Environmental Science), assim como plataformas mundiais lançadas em Portugal (ex: Marine Forests ou BioOracle2) não só para aquisição de dados marinhos através da sociedade civil, como também para a disponibilização da informação existente de forma acessível e gratuita para todo o tipo de utilizadores. A nível nacional refira-se o Sistema Nacional de Informação do Mar (SNIMAR).

No que respeita à investigação e inovação relacionadas com a exploração de recursos, importa referir que nos últimos anos na tradicional indústria do petróleo e do gás em mar aberto têm-se desenvolvido as infraestruturas mais conhecidas na exploração do oceano e que podem ser de interesse transversal na Economia do Mar. Os elevados recursos financeiros envolvidos nesta atividade e a necessidade de mitigação de riscos ambientais permitiram desenvolvimentos tecnológicos que estão atualmente disponíveis para outras atividades no mar. Estes desenvolvimentos são relevantes a nível nacional em setores como os recursos genéticos dos sedimentos profundos, onde ainda há muito por explorar, e que requerem a combinação de tecnologias avançadas de amostragem sem contaminação e de plataformas de sequenciação genómica em grande escala. Também para a aquacultura que, apesar do desenvolvimento exponencial à escala global, em Portugal manteve uma produção idêntica nos últimos 10 anos, pelo que a sua expansão poderá passar pelo mar aberto. No setor das energias as equipas nacionais têm marcado uma posição forte nos últimos anos, com liderança de projetos a nível europeu e com centrais inovadoras, nomeadamente na energia das ondas. De referir que a Europa é o maior investidor no sector das energias renováveis, pretendendo atingir o objetivo de 20% de fontes renováveis em 2020. A produção sustentável de energia renovável tem de ser baseada em fontes diversificadas e as energias marinhas contribuem para esse objetivo. As energias das ondas e das marés serão parte do sistema, em conjunto com a energia solar e a eólica. A exploração em grande escala destas energias exige a localização de instalações em mar aberto, que tem de ser objeto de validação para garantir sistemas fiáveis e economicamente competitivos, nomeadamente através da redução de custos de operação e manutenção.

O conhecimento do mar profundo tem aumentado grandemente na última década, nomeadamente no que diz respeito à morfologia do fundo e à sua biologia, biodiversidade e funcionamento dos seus ecossistemas. Destaque-se a posição de liderança nacional no que diz respeito à conservação e abordagem ecossistémica dos recursos do mar profundo, com a compreensão de que a biodiversidade per se tem um valor inestimável que condiciona o funcionamento e serviços dos ecossistemas. Em Portugal, o conhecimento do mar profundo esteve muito ligado ao processo de expansão da plataforma continental, que exigiu um número considerável de campanhas dedicadas, bem como à participação de equipas portuguesas em projetos internacionais dedicados ao conhecimento interdisciplinar dos ecossistemas profundos. Hoje assiste-se ao desenvolvimento de novas indústrias assentes no uso da biotecnologia aplicada aos recursos do mar profundo.

A preocupação com o impacto dos riscos naturais e antrópicos ligados ao oceano tem sido crescente. Estes

são sentidos, essencialmente, nas zonas costeiras onde cerca de 35% da população mundial habita e onde ocorrem as principais actividades humanas relacionadas com o mar. As alterações climáticas são um dos potenciadores destes riscos. Os principais riscos naturais nas zonas costeiras são a erosão costeira, as inundações devido às tempestades oceânicas e os maremotos devidos a sismos e a deslizamento de encostas. Assim, é natural que nos últimos anos muita investigação e inovação tenham sido feitas para desenvolver e operacionalizar sistemas de monitorização e de alerta. Por exemplo, refira-se um dos sistemas de alerta mais avançados, operado pela NOAA, baseado em sismómetros, marégrafos, sensores do nível do mar e de bóias para detecção de maremotos. Portugal é responsável, desde 2017, pelo nó do Sistema de Alerta Precoce de Tsunamis do Atlântico Norte e Mediterrâneo (NEAMTWS). Nos últimos anos, tem sido dada maior atenção à Avaliação Probabilística de Risco de Maremotos provocados por Sismos (SPTHA-Seismic Probabilistic Tsunami Hazard Assessment), mas também à avaliação e mitigação de multiriscos. Têm sido também testados vários sistemas de análise de riscos de inundação e erosão em vários países, aplicados em Portugal nas ilhas barreiras da Ria Formosa. A redução da poluição marítima, a qual advém essencialmente das actividades terrestres e inclui, entre outros, os plásticos (macro-, micro- e nanoplásticos) e o aporte de nutrientes, é uma das prioridades do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 14 (proteger a vida marinha) da Agenda 2030 das Nações Unidas. A investigação sobre o lixo nos oceanos, mas sobretudo os micro- e nanoplásticos, tem sido alvo de grande atenção por parte da comunidade científica, nomeadamente no que respeita à sua transferência através da cadeia alimentar, com consequências ainda por apurar na saúde humana².

A percepção destes riscos e o apoio da sociedade civil ao desenvolvimento de tecnologias para o conhecimento do oceano e exploração dos seus recursos, que requer grandes investimentos, passa pela “literacia do oceano”, entendida como o conhecimento básico sobre a influência do oceano nas nossas vidas e o impacto das nossas ações sobre o oceano. O conceito surgiu nos Estados Unidos em 2004 e vem sendo implementado através do envolvimento de professores de todos os níveis de escolaridade, mas tem de se expandir para um envolvimento de toda a sociedade para além do nível escolar. Progressivamente o conceito foi adotado pelo Canadá e pela UE e surge atualmente em iniciativas estratégicas de relevo, como sejam a Declaração de Belém, assinada em julho de 2017 pela União Europeia, Brasil e África do Sul, ou no âmbito dos compromissos voluntários, nomeadamente da Comissão Oceanográfica Intergovernamental, da Ocean Conference decorrida em junho de 2017 em Nova Iorque. Em Portugal, destaque-se o papel do Ciência Viva neste âmbito e o recém-criado Programa Escola Azul, que pretende distinguir as escolas que trabalham o oceano e comprometê-las a participar decisivamente na formação de jovens.

2.2 Estratégias Internacionais de Investigação e Inovação para o Mar

O Mar tem vindo a assumir uma importância central na arena internacional, nomeadamente no seio da Organização das Nações Unidas (ONU) e em outros grupos como o G7. Assente na base que é a Convenção das Nações Unidas para o Direito do Mar (CNUDM), tem sido na segunda década do século XXI que os problemas, desafios e oportunidades do Oceano à escala global têm sido alvo de atenção – destaque-se a Agenda 2030 e os seus objetivos de desenvolvimento sustentável, nomeadamente o objetivo 14 (conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável), o Processo Regular da ONU de Avaliação Global do Estado do Ambiente Marinho, incluindo Aspetos Socioeconómicos, o acordo de implementação da CNUDM em negociação sobre Conservação e Utilização Sustentável da Biodiversidade Marinha em Áreas além da Jurisdição Nacional, a adoção da Década das Nações Unidas das Ciências do Oceano para o Desenvolvimento Sustentável 2021-2030. Os grandes objetivos destes instrumentos incluem conhecer o Oceano, e baseado nesse conhecimento, fazer

² Nota do grupo de peritos: nota-se desequilíbrio entre o peso (excessivo) dado aos plásticos comparativamente com poluição que é invisível e mais tóxica.

projeção de cenários, monitorizar e efetuar alerta precoce de eventos naturais, assim como usar os recursos do meio marinho de forma sustentável. Para tal, é prioritário observar à escala global, promovendo a troca e utilização de grandes quantidades de dados, transformando-os em informação que permita responder a necessidades societais. É necessário desenvolver capacidade de investigação, novas tecnologias, novas abordagens de engenharia, e partilhar e transferir o conhecimento resultante entre parceiros. Os temas chave são o mar profundo, as regiões polares, as alterações climáticas (incluindo a acidificação do oceano), o desenvolvimento de métricas para as observações biológicas, a gestão da pesca, a poluição, nomeadamente por plásticos, e a criação de áreas marinhas protegidas.

Ao nível regional, os instrumentos internacionais analisados centraram-se na bacia do Atlântico (Declaração de Galway e Declaração de Belém) e Europa (estratégias do European Marine Board, JPI Oceans, SEAS-ERA, Comissão Europeia). Para além de adotarem os grandes objetivos das estratégias globais, estes instrumentos dão maior atenção às questões societais - literacia do Oceano, governança e envolvimento de *stakeholders*, ordenamento do espaço marítimo, bem-estar humano ligado ao Oceano ou herança cultural marítima. No centro das preocupações ambientais no Oceano está a questão do impacto dos plásticos e microplásticos no mar, que deverá sofrer desenvolvimentos importantes nos próximos anos, no âmbito da Estratégia Europeia para o Plástico numa Economia Circular lançada em Janeiro de 2018.

A análise do contexto internacional foi ainda complementada com a análise de estratégias e outros documentos de 13 países relevantes nas Ciências e Tecnologias do Mar ou quando comparados com Portugal, quer pela sua semelhante dimensão ou semelhante desenvolvimento da área (Noruega, Reino Unido, Irlanda, França, Alemanha, Holanda, Bélgica, Espanha, Itália, Canadá, Brasil, EUA, Singapura).

De entre os objetivos e temas estratégicos que este conjunto de países identifica, destaca-se a importância da investigação fundamental, do conhecimento dos ecossistemas e dos limites de resiliência do meio. A sustentabilidade está naturalmente focada em questões como a necessidade de proteção do meio marinho, o uso dos recursos ou as alterações climáticas, nomeadamente no que respeita a alterações do nível do mar ou à acidificação. Países como a Holanda ou a Irlanda particularizam a problemática do ruído subaquático e lixo marinho. A necessidade de uma drástica diminuição do consumo de combustíveis fósseis e uma aposta nas energias renováveis levaram países como a Alemanha, Noruega e Holanda a tomarem medidas para suspender a venda de automóveis de propulsão convencional a curto-prazo.

No que respeita aos recursos, são destacados os usos tradicionais do meio marinho (pesca e aquacultura), e a necessidade de uma produção alimentar sustentável e segura. O Canadá defende uma aposta clara na aquacultura em mar aberto e a Irlanda destaca o aproveitamento das algas para alimentação. A Holanda refere também este tema numa perspetiva de economia circular, salientando a necessidade de cooperação entre a indústria alimentar, bioenergia e biorefinaria. Os recursos não vivos têm também lugar de destaque, tanto o petróleo e o gás natural, como os recursos minerais e energéticos, incluindo os renováveis. Nos últimos anos houve um investimento significativo no setor eólico em mar aberto, com instalação de potência e conexão à rede, em particular pelo Reino Unido e Alemanha, a maioria no Mar do Norte. A potencialidade dos hidratos de metano é referida pela Irlanda. Nota-se de uma forma geral a escassa referência aos recursos genéticos, mas algumas referências à biotecnologia e ao estudo de novos materiais.

Os portos e transportes e a navegação segura são setores marítimos tradicionais de destaque em alguns países, como Itália e Singapura, mas a inovação (novos materiais, automatização e eficiência) está já bastante abordada neste setor. A problemática do desmantelamento das embarcações, tema da *Hong Kong International Convention for the Safe and Environmentally Sound Recycling of Ships*, adotada em 2009 mas que não se encontra ainda em vigor, é apenas referida por França.

Nas ciências sociais no meio marinho, destacam-se desde a saúde e bem-estar do ser humano ao turismo náutico, arqueologia subaquática, património e cultura marítima, ou a regulamentação de usos, e até temas emergentes como a habitação na água, referida pela Holanda. A Segurança e Defesa nacionais, tanto na atividade no terreno como na governação internacional, e a necessidade de diálogo estratégico aberto são também fundamentais mas muitas vezes ausentes de estratégias de I&I, embora referidos por países como o Reino Unido, França, Alemanha e Estados Unidos da América. Em países como os Estados Unidos, Canadá ou Reino Unido, tem existido um esforço nacional para a promoção da literacia do Oceano com fundos específicos, nomeadamente em projetos de âmbito escolar e de integração do tema Oceano nos programas curriculares.

Transversalmente a estas temáticas surgem na maioria dos países analisados questões de I&I ligadas à observação e monitorização (sistemas autónomos, sensores, eletrónica e robótica), gestão de dados, modelação e capacidade de previsão de fenómenos.

Para além de temáticas, há algumas áreas geográficas que são apontadas como de especial interesse para a I&I nas estratégias internacionais, destacando-se o mar profundo, as regiões polares e as regiões costeiras.

No universo dos temas e regiões apresentados, alguns países definem claramente uma prioridade nacional de investigação e inovação, e que por vezes pode ser comum a diferentes países. O Ártico, a liderança na governação internacional do Oceano, o Oceano e a saúde e bem-estar humano³ (tema ainda incipiente e abordado na Oceans Meeting de 2017, referido na estratégia canadiana), a gestão compartilhada de recursos ou programas dedicados para uso de tempo de navio (particularmente importante para países confrontados com a escassez de meios), a sensibilização e educação pública são algumas das prioridades elencadas.

As principais barreiras e desafios destacados têm a ver com custos / financiamento e a necessidade de transparência e investimento a longo prazo, falta de recursos e competências (modelação matemática, taxonomia, gestão e liderança), competição internacional crescente e fluxo da informação (questão da *open science*, de transformar os dados em informação útil e de interação entre ciência e políticas). A falta de disponibilidade, em concreto, de navios de investigação, mas também de satélites, centros de observação e outras infraestruturas que permitam a obtenção de dados condiciona francamente a investigação que é feita nalguns países. No que respeita à infraestruturização em mar aberto, refira-se que as infraestruturas de exploração de petróleo e de gás são as mais conhecidas na exploração do Oceano e podem ser de interesse transversal na economia do mar (destaque-se a Noruega no desenvolvimento em águas pouco profundas e o Brasil em águas profundas).

As diretrizes futuras de atuação para promover a ciência e a inovação no Oceano centram-se fundamentalmente na capacidade de diálogo entre atores da sociedade, disciplinas, sectores de atividade, e entre nações. Destaca-se a importância da ligação da ciência com a indústria, o decisor político e a sociedade. Daí a importância da gestão do conhecimento, das tecnologias da informação, da comunicação e literacia. A necessidade de colaboração interdisciplinar, intersectorial e internacional, de mão dada com a partilha de recursos, é vista como fundamental para atingir os objetivos estratégicos nacionais.

2.3 A Investigação e Inovação em Portugal na área do Mar nos últimos 15 anos

(em desenvolvimento)

³ Nota do grupo de peritos: existe um centro financiado pela EU nesta área com sede presentemente no Reino Unido.

2.4 Diagnóstico da área em Portugal

A Investigação e Inovação na área do mar têm acompanhado as tendências europeias, através da participação das instituições portuguesas em consórcios para a realização de projetos internacionais e, no caso das empresas, também através da prestação de serviços e desenvolvimento de tecnologia e soluções prontas para o mercado, ocupando Portugal posição de vanguarda em algumas das áreas tecnológicas. A alavancagem da inovação em projetos internacionais promove o desenvolvimento tecnológico das equipas, mas não permite a implementação de casos de estudo de grande envergadura, que possam ser usados para demonstrar essa mesma capacidade. Esta dificuldade coloca as instituições portuguesas em desigualdade na competição internacional, obrigando-as a reduzir preços para serem competitivas. A pequena dimensão das equipas é também um fator inibidor da pesquisa de mercado e uma dificuldade para a criação de produtos integrados, de maior valor acrescentado. Por outro lado, o número ainda incipiente de empresas e *startups* no setor do mar dificulta o desenvolvimento rápido de uma economia do mar mais inovadora em Portugal. Fomentar esta atividade e apoiar a transferência de tecnologia das universidades para o meio empresarial são questões chave para o desenvolvimento de um pilar de inovação e conhecimento no setor do Mar, para a criação de empregos na economia do mar, a criação de patentes e soluções comerciais ligadas ao mar. A criação de Laboratórios Colaborativos poderá ser uma solução para as dificuldades de demonstração em projetos-piloto e subsequente exploração comercial da inovação portuguesa. Os Laboratórios Colaborativos agrupam universidades, Laboratórios do Estado, instituições de interface e empresas, que juntam esforços de investigação aplicada para desenvolvimento de soluções para as necessidades identificadas para o curto e o médio prazo.

Portugal deve não só afirmar a sua investigação e inovação na sua região marítima de jurisdição e soberania, mas também como um dos principais atores em toda a região Atlântica. Para isso, é necessária uma estratégia nacional que congregue toda a comunidade do SNCT, políticas de financiamento e infraestruturas adequadas para uma presença em mar aberto, atualmente inexistentes.

A Directiva-Quadro Estratégia Marinha (DQEM) exige uma grande capacidade operacional e esforço financeiro. Estima-se que o esforço português para a implementação da DQEM será o mais elevado da União Europeia, sendo cerca de 16 ha/habitante (o valor médio dos estados costeiros da EU é de cerca de 1,3 ha/habitante). Portugal terá por isso que desenvolver estratégias de monitorização, integrando toda o conhecimento e capacidade analítica existente nos centros I&D e em laboratórios de estado, inovadoras e muito menos dispendiosas do que as de países com pequenas áreas marinhas.

Os laboratórios de Estado são detentores das principais infraestruturas de monitorização *in-situ* (e.g., navios, laboratórios de análises e equipamentos oceanográficos). Os dados recolhidos deverão ser disponibilizados para validação de outras técnicas de monitorização indireta e de interpolação, recorrendo à deteção remota e à modelação, de forma a incrementar o conhecimento dos processos marinhos.

A grande extensão e características do Mar Português deverá ser um potenciador dos avanços do conhecimento científico e do desenvolvimento tecnológico nacional, bem como deverá ser um motor do crescimento económico. As muitas oportunidades para a exploração dos seus recursos marinhos trarão também grandes desafios para a gestão, conservação e uso sustentável dos seus ecossistemas. Uma das áreas que necessitará de investigação é a avaliação do risco ambiental da exploração dos recursos do mar profundo. O aumento das atividades económicas relacionadas com o mar e os impactos das alterações globais exigem um conhecimento mais aprofundado destes ecossistemas, nomeadamente da variabilidade e tendências futuras das características essenciais do oceano e dos seus forçamentos atmosféricos. Este conhecimento só será possível com sistemas sustentados de observação e monitorização a longo prazo, de que o país carece neste momento. Isto exigirá um grande esforço e capacidade operacional da comunidade

do SNCT. No entanto, Portugal tem tido um papel importante e inovador em questões de governança dos oceanos, nomeadamente devido à proposta da extensão da plataforma continental e no ordenamento espacial, incluindo a criação/proposta de áreas marinhas protegidas, mas também no setor das energias renováveis marinhas e da biotecnologia marinha. Existem grupos fortes de investigação nas áreas da paleoceanografia, dos ecossistemas profundos e sua biosfera, dos maremotos, da robótica multi-domínio, de sistemas de comunicação e de mapeamento ótico e acústico. No entanto, é necessário desenvolver as áreas de investigação e/ou inovação relacionadas com os processos de interacção entre o oceano, a atmosfera e a litosfera, a biogeoquímica/oceanografia química, a aquacultura e a socioeconomia das pescas.

Capítulo 3 – As Políticas Públicas e a investigação e inovação na área do Mar⁴

O panorama recente de políticas públicas que integram o Mar nos seus objetivos, ou mesmo como tema central, é interessante a nível nacional, tendo também em conta o panorama de outros países ou a conjuntura internacional (ver secção 2.2). Antes de perceber quais as principais áreas de intervenção nos últimos dez anos (3.1.) e quais as áreas consideradas críticas e capazes de apontar para linhas de investigação e inovação futuras (3.2.), secções elaboradas com base numa consulta da FCT dirigida às entidades públicas nacionais com competências em assuntos do mar, no âmbito do processo de elaboração da presente Agenda, há documentos e factos incontornáveis que importa referir.

A primeira *Estratégia Nacional para o Mar* (ENM), que entrou em vigor em 2006 e foi prevista vigorar até 2016, permitiu ao governo de então definir pela primeira vez as linhas estratégicas prioritárias para os “Assuntos do Mar”. A ENM 2006-2016 foi estruturada segundo três pilares estratégicos: o conhecimento na sua vertente de investigação e inovação, mas também na da educação e sensibilização da sociedade; o planeamento e o ordenamento espaciais; e a promoção e defesa ativa dos interesses nacionais. Sem prejuízo dos resultados alcançados, a ausência de um plano de ação impediu o acompanhamento da implementação da estratégia. Procede-se assim a uma revisão em 2012, tendo em conta importantes mudanças ocorridas no quadro da União Europeia (e.g. adoção da Estratégia Marítima da União Europeia para a Área do Atlântico, reforma da Política Comum de Pescas, Quadro Estratégico Comum para os Fundos Europeus Estruturais e de Investimento 2014-2020). Na *ENM 2013-2020*, atualmente em vigor, é assumido o modelo de desenvolvimento do “Crescimento Azul”, entendido numa perspetiva fundamentalmente intersectorial, baseada no conhecimento e na inovação, e promovendo uma maior eficácia no aproveitamento dos recursos, num quadro de exploração sustentada e sustentável. Esta estratégia é acompanhada de um conjunto vasto de medidas definidas no *Plano Mar-Portugal* (PMP), uma matriz de ação e estruturada em torno de três eixos (pesquisa, exploração e preservação) que deverão incidir sobre as áreas dos recursos naturais (vivos e não vivos) e das atividades marítimas, entendidas como grandes domínios estratégicos de desenvolvimento.

É de salientar que, na esteira da primeira ENM, surgem em Portugal dois governos em que o Mar se assume como prioridade política, ao ser adotado um Ministério da Agricultura e do Mar no XIX Governo Constitucional (2011-2015) e um Ministério do Mar no XXI Governo Constitucional (2015-2019). Atualmente o Mar é inequivocamente apresentado como um dos principais ativos para o futuro desenvolvimento do país. Neste sentido, é proposto um conjunto de medidas detalhadas, a médio e longo prazo, que apostam nas atividades económicas tradicionalmente ligadas ao sector, bem como na procura de novas áreas de desenvolvimento económico baseadas no conhecimento, inovação e conservação do meio marinho.

Ainda em 2014 foi elaborada a *Estratégia Nacional para a Investigação e Inovação para uma Especialização Inteligente* (ENEI) integrando um eixo temático de “Recursos do Mar e Ambiente”, onde são propostos cinco subtemas para a economia do mar com uma série de prioridades estratégicas inteligentes associadas: (1) Recursos alimentares marinhos, (2) Sistemas naturais e recursos energéticos renováveis, (3) Mar profundo, (4) Portos, Logística, transporte, construção naval e obras marítimas, e (5) Cultura, turismo, desporto e lazer.

A recente estratégia intitulada *Ensino Superior, Investigação e Inovação em Portugal – Perspetiva 2030* (2017) contém igualmente diretrizes em termos de investigação, desenvolvimento e infraestruturas no mar, nomeadamente na secção dedicada à iniciativa intergovernamental *Atlantic Interactions* e ao

⁴ Nota do grupo de peritos: ausência de referência sobre políticas públicas em relação ao cumprimento de objectivos para áreas marinhas protegidas e ligação ao ODS 14.

“Atlantic International Research Centre” (AIR Centre).

3.1. O Mar e as Políticas Públicas nos últimos 10 anos: temas e impactos

Os progressos observados nos últimos dez anos em Portugal não são díspares do progresso que se tem verificado em países com economias mais competitivas e programas científicos mais ambiciosos. Contribuiu para isso o posicionamento geopolítico de Portugal e a sua presença na União Europeia, que oferece um capital de atratividade relevante, permitindo ainda uma participação nas políticas que definem a gestão, conservação e exploração sustentável dos oceanos. Estar integrado na União Europeia obriga, simultaneamente, à aplicação dessas mesmas políticas, sendo assim um impulsionador do progresso a par das restantes nações europeias.

Nos últimos 10 anos, as estratégias criadas em Portugal tiveram reflexo nalgumas áreas de investigação e inovação no Mar, no âmbito do conhecimento do oceano e seus ecossistemas, da utilização dos recursos marinhos, dos impactos antrópicos e resultantes medidas de gestão do espaço oceânico, bem como na literacia do oceano. De referir que a ENM 2013-2020, para além da clara aposta no conhecimento do Oceano nas suas múltiplas vertentes, associa esse conhecimento às novas oportunidades, empreendedorismo, inovação, entre outras. Promover a proximidade entre a ciência e o mundo empresarial é uma área patente em documentos estratégicos recentes – veja-se o caso da *Estratégia para o Aumento da Competitividade da Rede de Portos Comerciais do Continente - Horizonte 2026* (2017), nomeadamente no âmbito da rede *Port Tech Clusters* criada, que terá como objetivo criar nos portos comerciais do continente plataformas de aceleração tecnológica das novas indústrias marítimas. Relacionado com este tema está a criação dos Laboratórios Colaborativos já referidos.

Uma das medidas de política pública implementada foi a Conta Satélite do Mar (CSM), que tem como objetivos medir a importância da economia do mar na economia nacional, assessorando decisões em matéria de coordenação de políticas públicas, e a monitorização da ENM 2013-2020 na componente económica. Outra medida diz respeito à implementação do Fundo Azul para o desenvolvimento da economia do mar. Na vertente da investigação, sublinhe-se a aquisição do navio Mar-Portugal com capacidade para realizar operações no oceano global. A criação de um Gabinete Oceano, atualmente designado Programa Oceano, na FCT, principal entidade pública a financiar a investigação em Portugal, é também indicativa da aposta nas ciências e tecnologias do mar.

No domínio genericamente relacionado com o conhecimento integrado dos oceanos, o mapeamento do mar português, o desenvolvimento de modelos oceanográficos de elevada resolução, a monitorização ambiental da zona marítima nacional com recurso a sensores, radares, boias multiparâmetro e marégrafos, a previsão climática e a erosão costeira, foram importantes atividades desenvolvidas por entidades públicas em Portugal, em linha com o que se encontra proposto na ENEI. As atividades de mapeamento do fundo marinho na vertente da robótica submarina para recolha de amostras geológicas e aquisição de dados de batimetria de alta resolução foram desenvolvidas no âmbito do processo de extensão da plataforma continental portuguesa. Também nas áreas de investigação dos ecossistemas marinhos, as entidades estatais ligadas ao mar estiveram focadas no mapeamento de habitats, monitorização e modelação ecológica, e ecologia aplicada à conservação costeira e marinha em áreas específicas, o que vai ao encontro do PMP quando refere o estudo fundamental dos ecossistemas marinhos (processos, funções e diversidade) e a avaliação de perdas ou alterações de biodiversidade, de degradação de habitats e presença e relevância de espécies exóticas ou endémicas. Note-se ainda a este respeito que o mapeamento, monitorização, preservação, proteção, recuperação e valorização dos ecossistemas costeiros e marinhos integram os principais objetivos da Lei de Bases da Política de Ordenamento e de

Gestão do Espaço Marítimo Nacional (LBPOGEMN), de 2014.

No que diz respeito ao subdomínio estratégico dos recursos vivos, a ênfase nos últimos 10 anos centrou-se nas áreas da pesca e indústria do pescado e da aquacultura, de resto referidas no PMP, na ENEI (que enquadra financiamento para o reforço de investigação e desenvolvimento tecnológico e da inovação, com uma prioridade elevada, relativa aos recursos alimentares marinhos), ou em documentos dedicados ao crescimento azul, como por exemplo o *Blue Growth for Portugal* (2012), que sublinha para a pesca a aposta numa abordagem ecossistémica e de conhecimento dos recursos, bem como a promoção das tecnologias de monitorização e avaliação dos mananciais pesqueiros, de forma a tornar a captura sustentável, e que refere a aquacultura como a indústria com maior potencial de crescimento em Portugal.

Na área das energias oceânicas, há que salientar a elaboração da *Estratégia Industrial para as Energias Renováveis Oceânicas* (EI-ERO, 2017), que apresenta de forma sistematizada as orientações políticas e estratégicas para o desenvolvimento de um *cluster* industrial e exportador em energias renováveis oceânicas. Este documento expande e dá seguimento às diretrizes do PMP bem como ao Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis contido no eixo da ENEI dedicado à Energia. De facto, nos últimos anos, Portugal tem estado na linha da frente do sector renovável oceânico, nomeadamente no desenvolvimento das tecnologias de conversão da energia das ondas. Em termos institucionais, há que referir a criação legal de uma zona piloto portuguesa para energias renováveis oceânicas, ou a criação de um *Port Tech Cluster* dedicado às energias renováveis oceânicas.

No domínio dos portos e transportes, reitere-se, como já referido, a recente publicação da *Estratégia para o Aumento da Competitividade da Rede de Portos Comerciais do Continente - Horizonte 2026*.

Ao nível da preservação e do planeamento espacial, assinala-se a transposição de legislação europeia destinada à prevenção, minimização e controlo dos impactos antrópicos nos ecossistemas aquáticos (*Diretiva-Quadro da Água, Diretiva Quadro Estratégia Marinha, Regulamento REACH*), bem como a implementação de um *Programa de Monitorização de Lixo Marinho* ou a criação de áreas marinhas protegidas (AMP), o emprego de AUVs para a identificação de potenciais manchas de poluição e a utilização de dispersantes no combate às mesmas. Estes são temas transversais a quase todos os documentos públicos mencionados e que encontram eco na secção dedicada ao Mar e Litoral da *Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020* (ENEA, 2017). É incontornável, pelo seu pioneirismo internacional, a LBPOGEMN.

Em 2011, a Ciência Viva liderou o lançamento do primeiro programa nacional de literacia do oceano a nível europeu, que envolveu diversas instituições científicas da área das ciências do mar, e que deu origem a uma matriz de disciplinas e temas destinada aos professores dos vários níveis de escolaridade. Também no âmbito do processo de extensão da plataforma continental portuguesa iniciaram-se e continuam a desenvolver-se várias atividades de literacia em colaboração com escolas de todo o país. A promoção da literacia nacional do mar através da ação em contexto escolar e em contexto não formal é justamente um dos objetivos principais da área programática “Educação, Ciência e Tecnologia” contida no PMP.

3.2. Desafios para a agenda de investigação e inovação

São conjunturais as medidas de política pública que estão alinhavadas para o Mar nos próximos anos em Portugal. Entre elas, saliente-se a intenção de criar o Observatório do Atlântico, enquanto centro internacional para o conhecimento e exploração sustentável dos recursos oceânicos, incentivando a cooperação internacional e a I&D entre universidades e o setor empresarial (em *Grandes Opções do Plano* 2018). Para além disso, existem propostas de medidas sobre reforço da internacionalização da atividade

científica e académica no âmbito mais específico das agendas científicas para o Atlântico, reforço da colaboração científica e institucional entre vários setores da sociedade e economia, incluindo o mar, valorizando o conhecimento científico na economia azul, e a promoção da investigação científica e da proteção e monitorização do meio marinho, dinamizando um tecido empresarial de base tecnológica cuja atividade esteja centrada no mar, e consolidando as atividades marítimas tradicionais e as atividades emergentes. É referido ainda, de uma forma geral, o estímulo ao emprego científico e académico. Esta vontade política surge reforçada na mais recente publicação do MCTES, *Ensino Superior, Investigação e Inovação em Portugal – Perspetiva 2030*, especialmente no que se refere à intenção expressa para uma maior capacitação dos recursos humanos no geral, e para a criação de um estatuto mais adequado aos especialistas destinada a combater a precariedade destes recursos. Este documento refere ainda a iniciativa intergovernamental das *Atlantic Interactions* para promover soluções para os desafios sociais do Atlântico e globais, baseadas no conhecimento, e que requerem investigação interdisciplinar e inovação, integrando as ciências do espaço, do clima, do oceano e de dados. Esta iniciativa será implementada pelo *AIR Centre (Atlantic International Research Centre)*, cuja sede ficará localizada nos Açores.

No que se refere à aposta em tecnologias, esta é defendida em ambas as versões da ENM. Por outro lado, a ENEI, no eixo temático IV, Recursos do Mar e Ambiente, reforça a necessidade de investimento em infraestruturas relacionadas com portos, logística, transporte, construção naval e obras marítimas e também infraestruturas de suporte a atividades de lazer e cultura ligadas ao mar. A *Estratégia para o Aumento da Competitividade da Rede de Portos Comerciais do Continente - Horizonte 2020* sugere o estabelecimento de uma plataforma logística global geradora de valor.

No que concerne à exploração dos recursos marinhos, vivos e não-vivos, a ENEI enquadra financiamento para o reforço de I&D no que concerne os recursos alimentares marinhos (pesca, aquacultura, salicultura e segurança alimentar), mar profundo (biotecnologia marinha, mineração, pescas de mar profundo, recursos energéticos não renováveis, e ainda sistemas naturais e recursos energéticos renováveis (vento, ondas, salinidade, marés e biomassa); no âmbito do Portugal 2020, o Programa Operacional Mar 2020 prevê financiamento para a promoção da pesca e aquacultura competitiva, sustentável e eficiente, promove incentivos para a execução da política comum das pescas, e ainda para a transformação e comercialização. Os desafios que se colocam à exploração destes recursos em Portugal estão hoje bem identificados. Relativamente às pescas, com a possibilidade da futura escassez de recursos, o desafio será o de manter a sustentabilidade dos mesmos com base no conhecimento e tecnologia; na aquacultura, a aposta poderá incidir no desenvolvimento de tecnologia em mar aberto e também no uso de espécies adequadas às condições nacionais. Quanto à exploração dos recursos genéticos o desafio será o mapeamento e caracterização destes recursos, avaliação dos impactos da sua exploração e a produção *ex situ*. Na área das energias e recursos minerais, o progresso depende essencialmente dos avanços na tecnologia e infraestruturas, e a possibilidade de usar, por exemplo, combustíveis alternativos para navios em alguns portos nacionais estratégicos. É fundamental o aumento do conhecimento, tentando colmatar as grandes lacunas existentes, e aplicando, quando necessário, uma abordagem precaucionária, por forma a que não hajam danos irreversíveis ambientais, até que o conhecimento seja gerado.

Quanto aos impactos antropogénicos e medidas de gestão e planeamento, a LBPOGEMN reforça a necessidade de preservação, proteção e recuperação dos valores naturais e dos ecossistemas costeiros e marinhos. Sem esquecer as questões de conservação ambiental, estabelece medidas concretas de redução do lixo marinho, introdução de selos de sustentabilidade, definição de uma rede nacional ecologicamente coerente de áreas marinhas protegidas (processo que está em curso), implementação de planos de gestão das áreas marinhas protegidas, mapeamento e monitorização dos respetivos ecossistemas e capturas, e sensibilização da sociedade para a valorização do capital azul. Estas preocupações são também partilhadas pelas entidades públicas consultadas. Com a recente adoção da primeira Estratégia Europeia para os

Plásticos (2018), em que uma das três grandes áreas refere-se precisamente aos plásticos e microplásticos no mar, previsão para breve de uma nova diretiva europeia (para além da diretiva sobre a receção de lixo de navios em portos (Diretiva 2000/59/CE, transposta para o direito interno pelo Decreto-Lei nº 165/2003)) relativa aos meios portuários de receção de resíduos que visa reduzir o lixo marinho proveniente de embarcações, e revisão da diretiva europeia sobre embalagens e resíduos de embalagens, a agenda política nacional apostará a breve trecho na temática do plástico marinho.

O conhecimento na sua vertente da educação e sensibilização da sociedade é também uma prioridade da ENM que refere especificamente a necessidade de uma “Sensibilização e mobilização da sociedade para a importância do mar nas suas múltiplas vertentes” e a “Promoção do ensino e divulgação nas escolas de atividades ligadas ao mar”. Mais recentemente, a *Estratégia Nacional para a Educação Ambiental* (ENEA 2020, de Junho de 2017) define os princípios orientadores para uma estratégia no domínio da educação ambiental para a sustentabilidade onde destaca, entre outros, a necessidade de promoção da literacia oceânica. Ao nível das instituições públicas, também foi destacada a importância da literacia. Apesar de nos últimos anos se ter assistido em Portugal a numerosas ações/projetos dedicados a este tema por parte de diferentes entidades educativas, não existe uma ação concertada para esta área.⁵

⁵ Nota do grupo de peritos: alinhar este capítulo com os ODS da Agenda 2030 (ODS7 (energias renováveis e acessíveis), ODS9 (indústria, inovação e infraestruturas), ODS13 (ação climática), ODS14 (proteger a vida marinha), ODS17 (parcerias para a implementação dos objectivos)).

PARTE II

O Mar e as diferentes áreas de Investigação e Inovação

Capítulo 4 – Subtemas e prioridades de investigação

O grande desafio para Portugal nos próximos anos será o estudo integrado do vasto oceano sob soberania ou jurisdição nacional, tendo em vista o desenvolvimento da economia azul, mas garantindo preservação da biodiversidade marinha e a conservação dos ecossistemas. A investigação deverá focar prioritariamente o funcionamento do oceano Atlântico, em particular do oceano aberto e do mar profundo, bem como as interações com o oceano costeiro e o Mar Mediterrâneo, explorando a simbiose entre as dinâmicas sociais e político-jurídicas, as ciências e as tecnologias do mar.

Detalham-se nas secções seguintes os 4 subtemas identificados (**Conhecimento integrado dos oceanos; Recursos marinhos; Alterações globais, riscos naturais e antrópicos; e Oceanos e sociedade**) relativamente aos quais se deverá focar a investigação e a tecnologia no oceano nos próximos anos. No fim apresentam-se os fatores críticos para a implementação das questões chave identificadas neste capítulo.

4.1 Conhecimento integrado dos oceanos

O Mar Português, pela sua extensão, diversidade de ecossistemas e riqueza em recursos naturais, é uma mais-valia nacional com um enorme potencial para fomentar avanços no conhecimento científico e no desenvolvimento tecnológico e promover o crescimento económico com benefícios para toda a sociedade. De facto o Mar e os Portugueses estão intimamente ligados e formam um complexo sistema socio-ecológico com uma longa história de interações e dependências. As opções de exploração de recursos, gestão, monitorização e governança do Mar Português num enquadramento de desenvolvimento sustentável requerem a compreensão de complexos processos naturais e interações com atividades antrópicas que só podem ser atingidas através do conhecimento integrado, inter- e transdisciplinar, dos oceanos. Este conhecimento científico é suporte crucial para o desenvolvimento e crescimento da economia do mar e permitirá fazer face a desafios sociais como a manutenção dos serviços dos ecossistemas, a sustentabilidade da exploração de recursos marinhos (secção 4.2) e o cumprimento de compromissos internacionais para a conservação da biodiversidade marinha (secção 4.4).

4.1.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Os principais desafios que a comunidade científica nacional enfrentará nos próximos anos, no que diz respeito ao conhecimento integrado dos oceanos, têm que ser necessariamente perspetivados no posicionamento Atlântico do país e no domínio espacial da Plataforma Continental Estendida, podendo ser definidos nas seguintes áreas:

- **Investigação oceânica:** (a) Conhecer e prever a variabilidade ambiental do Atlântico, da sua interação com a atmosfera e a sua relevância no clima, tanto no presente como no passado; (b) Desenvolver e aprofundar temas, do oceano aberto à margem Ibérica, tendo em atenção as singularidades do vasto Oceano Português (por exemplo, relevância ecológica, recursos e riscos)
- **Biodiversidade, funcionamento e proteção dos ecossistemas:** Conhecer a biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas, com o objetivo de determinar estados de referência, compreender a capacidade de resiliência dos ecossistemas face a pressões naturais e antrópicas e antecipar e mitigar os impactos ambientais.
- **Mar profundo:** Conhecer o mar profundo português, com os seus habitats sensíveis e de características únicas (e.g. ambientes extremos, ergoclinas e focos de produtividade, endemismos, vulnerabilidade das comunidades biológicas).
- **Tecnologia:** (a) Desenvolver tecnologias de observação, monitorização e operação que permita um acesso ao mar, especialmente ao mar profundo, mais persistente, com maior frequência, de forma mais eficiente e com custos mais reduzidos; (b) Desenvolver tecnologias para melhorar a execução de operações marítimas em mar agitado, por forma a aumentar as janelas de tempo operacional no mar; (c) Integrar os desenvolvimentos tecnológicos com os programas e objetivos nacionais de investigação.
- **Observação e modelação:** (a) Continuar a integrar ativamente redes europeias e internacionais de observação continuada do oceano e recorrendo a meios robotizados, podendo integrar assim a informação adquirida em modelos para previsão e criação de produtos acessíveis à comunidade científica e público em geral; (b) Promover a utilização de navios de transporte e de pesca como bases

de observação e monitorização de parâmetros meteorológicos e oceanográficos; (c) Desenvolver e manter redes de observação mais tradicionais e modelos regionais/locais nas zonas costeiras.

4.1.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos

Portugal tem tido um papel relevante em algumas áreas da investigação nos oceanos, nomeadamente no estudo das variações da circulação oceânica e interação oceano/atmosfera no passado (Paleoceanografia) a nível global, e em particular, para o Atlântico, fundamental para enquadrar devidamente os processos de variação climática “rápida” (de curta escala temporal) nos processos naturais de longa escala temporal. Devem ainda ser referidos os desenvolvimentos do conhecimento e modelação do funcionamento do sistema da margem Ibérica, no que diz respeito, em particular, aos processos de propagação de água mediterrânica no Atlântico e ao conhecimento destes processos no passado, nomeadamente em períodos de variações climáticas acentuadas e em condições de clima extremo, assim como as consequências do clima passado para a elevada riqueza genética marinha que Portugal alberga, como importante refúgio de extremos climáticos no Atlântico Norte, permitindo a persistência de recursos genéticos únicos ancestrais.

De salientar o incremento no conhecimento interdisciplinar da formação, estrutura e evolução da crosta oceânica e das margens continentais, incluindo a investigação de sistemas hidrotermais, montanhas submarinas, exsudações frias e falhas ativas, recorrendo a novas tecnologias para observação e exploração dos fundos marinhos e da crosta oceânica (técnicas geofísicas de alta resolução, veículos robóticos marinhos atuando isolados ou em rede, nos quais se incluem ROVs, AUVs, ASVs e Gliders), bem como a ativa participação nacional em programas internacionais como o *International Ocean Discovery Program* (IODP).

Estudos integrados multidisciplinares, particularmente no âmbito de projetos colaborativos internacionais, realizados nas áreas hidrotermais dos Açores, nas montanhas e canhões submarinos, em áreas de vulcanismo de lama na margem sul portuguesa e em ecossistemas vulneráveis (corais e esponjas), revelaram a existência em Portugal de ecossistemas com uma biodiversidade única. No que respeita à biosfera profunda, foi possível começar a compreender melhor o papel das comunidades microbianas na geração de metano e no sequestro de carbono. Os resultados publicados mostram uma preocupação crescente com aspetos relacionados com impactos antropogénicos nos ecossistemas profundos com particular ênfase nos efeitos do lixo marinho e das atividades de pesca.

Portugal possui uma massa crítica de investigadores e instituições que, através da sua participação em projetos nacionais e internacionais, têm contribuído proactivamente para o estabelecimento de regulamentação internacional na área de proteção e monitorização do ambiente marinho, assim como para o estabelecimento de grupos de excelência em robótica multi-domínio e em sistemas de comunicação e de mapeamento ótico e acústico. São exemplo o desenvolvimento e a operação de: i) veículos robóticos de superfície e submarinos; ii) sistemas inovadores para sísmica de reflexão utilizando grupos de robôs autónomos; iii) redes de veículos aéreos e marinhos; iv) sistemas acústicos e redes de comunicações acústicas; e v) *software* de planeamento e controlo de execução para sistemas de veículos heterogéneos. Os investigadores envolvidos têm exercido a sua atividade em parceria com empresas de engenharia naval, entidades certificadoras de equipamentos marinhos, instituições portuárias, e instituições científicas. Este trabalho tem permitido reforçar alianças entre a ciência e a tecnologia e potencia aplicações práticas de grande importância em vários domínios que incluem as ciências do mar e a arqueologia marinha, com significativo impacto nas componentes comercial, educacional e social. A maturidade de algumas das soluções desenvolvidas permitiu a comercialização de alguns tipos de veículos e sistemas, contribuindo assim para a criação de pequenas empresas com nichos de mercado específicos.

4.1.3 As questões chave para uma agenda de investigação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 4.1.1, indicam-se em baixo um conjunto de ações chave relevantes para os implementar.

Investigação oceânica:

- Compreender a circulação oceânica, nomeadamente a variabilidade interanual/decenal do Atlântico, a circulação oceânica e os respetivos processos de mesoescala/escala fina, a circulação de fundo e fluxos associados, atendendo à reserva de calor e ao ciclo de carbono; e desenvolver sistemas de simulação e previsão da margem Ibérica Atlântica integrando a circulação e processos biogeoquímicos e seus impactos nos ecossistemas.
- Aumentar o conhecimento relativo à interação oceano-atmosfera e estudar os processos de interação com a atmosfera, ondas internas e turbulência de pequena escala, com impacto nos ecossistemas e ambientes costeiros.
- Compreender o funcionamento dos processos geológicos na região Atlântica e as suas interações com a biosfera, hidrosfera e atmosfera, salientando-se (1) os processos de dinâmicos da crosta oceânica e manto e ecossistemas associados (e.g., fontes hidrotermais); (2) os processos de geração e ciclicidade de sismos e tsunamis; (3) vulcanismo de lama e ecossistemas associados a exsudações frias; (4) o conhecimento do passado para melhor prever a evolução do clima, mas também o estudo das variações paleoceanográficas para separação dos sinais naturais das contribuições antrópicas.

Biodiversidade, funcionamento e proteção dos ecossistemas:

- Melhorar o conhecimento da biodiversidade em vários níveis organizacionais e diferentes grupos da árvore da vida nos oceanos, através de taxonomia integrada, métodos moleculares inovadores para o conhecimento dos recursos genéticos marinhos e integração de metodologias de observação e conhecimento do ciclo de vida.
- Integrar a informação existente, indisponível e desintegrada, e sua disponibilização pública e utilização na modelação para o mapeamento de habitats e comunidades associadas (e.g., *habitat suitability*, biodiversidade funcional e serviços ecossistémicos).
- Melhorar a compreensão do funcionamento dos ecossistemas nomeadamente no que diz respeito a interações tróficas e resiliência, e aos processos de larga escala como o acoplamento bento-pelágico e a conectividade, a nível físico, químico e biológico (e.g. peixes migradores diádromos), entre diferentes sistemas (bacias hidrográficas, sistemas salobros, zona costeira e mar aberto e profundo), que requerem abordagens integradas multidisciplinares e de modelação (e.g., modelos biofísicos).

Mar profundo:

- Definir indicadores específicos para o mar profundo, o mais abrangentes de todos os componentes destes sistemas e o mais quantitativos possível, do seu bom estado ambiental para fazer face à pressão crescente para a exploração de recursos de profundidade.
- Determinar a vulnerabilidade do mar profundo, a sua capacidade de adaptação e mitigação de alterações globais, tendo em conta o facto de ser destino de fluxos de matéria orgânica, nutrientes e contaminantes e de ser um *hotspot* de recursos genéticos desconhecidos, especialmente a nível dos micro-organismos dos sedimentos profundos.
- Estabelecer um programa abrangente, de investigação multidisciplinar dedicado ao mar profundo que seja também estruturante em termos da criação de massa crítica em Ciências e Tecnologias do

Mar e integração de equipas nacionais em torno de objetivos estratégicos, com forte colaboração internacional.

Tecnologia:

- Desenvolver investigação interdisciplinar, nos domínios da engenharia e da robótica oceânicas, sobre: i) sistemas para planeamento de trajetórias, controlo, e navegação de veículos robóticos em rede, atuando em cooperação, ii) *software* de planeamento e controlo de execução com possibilidade de iniciativa mista (operadores nos anéis de planeamento e controlo) para sistemas de veículos submarinos, de superfície, aéreos e, ainda espaciais, tripulados e não tripulados, iii) sistemas avançados de comunicações híbridas acústicas e ópticas, iv) sistemas de navegação para operações de longo curso, incluindo navegação geofísica, v) veículos robóticos para mapeamento de habitats marinhos em 3D em vastas áreas do mar profundo (incluindo o subsolo) e avaliação do impacto ambiental decorrente de ações de exploração dos recursos marinhos não vivos, vi) novos tipos de observatórios de grande profundidade, fazendo apelo a sistemas híbridos fixos e móveis, capazes de garantir as escalas espaciais e temporais exigidas aos fenómenos a estudar, vii) sistemas de energia e propulsão que possibilitem uma presença persistente – de longa duração - no oceano e em áreas marinhas protegidas remotas, viii) sistemas para inspeção de infra-estruturas críticas, incluindo as instalações de aquacultura e energias renováveis offshore, ix) sistemas acústicos para deteção remota de variáveis ambientais, x) sistemas computacionais e métodos para processamento de quantidades massivas de dados.
- Desenvolver tecnologias específicas para a investigação da biologia e ecologia a elevada profundidade, com especial destaque para as tecnologias –ómicas (genómica, transcriptómica, proteómica, metabolómica) usando DNA ambiental, e desenvolver capacidade de armazenamento, processamento e análise de dados de bioinformática em larga escala associados a metagenomas e metatranscriptomas de organismos marinhos de grandes profundidades, a grande maioria dos quais é ainda desconhecida e só pode ser estudada com recurso a estas tecnologias.
- Desenvolver novos sistemas autónomos para observação do meio marinho, ditos de intervenção, capazes de interagir fisicamente com o ambiente, e sistemas para deteção, seguimento e amostragem de elementos físicos, químicos e biológicos do oceano, com amostragem adaptativa espacial e temporal (*adaptive sampling*).

Observação e modelação:

- Desenvolver um sistema de observação baseado em flutuadores Argo (participação nacional no Euro-Argo).
- Detetar remotamente com satélites espécies de microalgas, nomeadamente nocivas.
- Desenvolver sistemas automáticos de deteção de organismos marinhos tóxicos ou invasores com base em testes a DNA ambiental.
- Integrar informação derivada da nova geração de sensores e satélites, muitos em missões previstas a curto prazo, na investigação de processos de escalas mais curtas (submesoscala), que ainda se encontram sub-amostrados.
- Desenvolver algoritmos mais adequados à região do Mar Português, nomeadamente da cor do oceano, mas também temperatura, salinidade, rugosidade e topografia.
- Desenvolver modelos extremo-a-extremo (*end-to-end*).
- Desenvolver sistemas de monitorização de parâmetros meteorológicos e oceanográficos para instalação a bordo de navios.

4.2 Recursos marinhos

A grande extensão do território marítimo Português encerra um vasto potencial de utilização de recursos marinhos, sendo necessário estimular o desenvolvimento e crescimento alargado de vários setores económicos. Importa ressaltar que a exploração de recursos marinhos tem de ser conduzida num contexto de sustentabilidade e responsabilidade social face aos impactos que pode inevitavelmente gerar e ser suportada por um conhecimento científico robusto e abrangente, assegurando simultaneamente a mitigação dos impactos negativos nos ecossistemas e a preservação da sua biodiversidade e resiliência.⁶

4.2.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Os principais desafios de Portugal no que diz respeito aos recursos marinhos, em consonância com o desenvolvimento sustentável, são:

- **Pescas:** (a) Desenvolver conhecimento que permita determinar a sustentabilidade da exploração das espécies-alvo (assegurar elevada produção de recursos e ao mesmo tempo minimizar o impacto da pesca nos ecossistemas marinhos) e adaptar a frota nacional, que é essencialmente artesanal e costeira, em consonância; (b) Melhorar os métodos de avaliação do estado de exploração dos mananciais e, em especial, desenvolver ferramentas para ensaiar e testar regras de exploração face a objetivos de conservação sustentável dos recursos, devendo ter-se em consideração as interações tecnológicas e biológicas e o desenvolvimento de modelos extremo-a-extremo (*end-to-end*), que também incluam a componente socioeconómica.
- **Aquacultura:** (a) Apostar na diferenciação (pela qualidade ambiental e usando espécies adequadas à costa portuguesa) e no aumento da produção, de forma a combater o desequilíbrio comercial resultante da importação de 2/3 do pescado que se consome em Portugal; (b) Apostar no desenvolvimento tecnológico de estruturas que permitam a aquacultura em mar aberto, recorrendo a sistemas parcialmente automatizados, atendendo à particularidade da margem Portuguesa; (c) Desenvolver sistemas mais eficientes em termos de conversão de biomassa e sistemas ambientalmente sustentáveis, integrando a reutilização de nutrientes e emissões de carbono em sistemas integrados.
- **Recursos genéticos e compostos bioativos:** (a) Apostar no conhecimento da diversidade de organismos marinhos (em particular onde as maiores descobertas fundamentais de biodiversidade marinha têm sido realizadas - os organismos simbioses e os micro-organismos do subsolo marinho (a chamada biosfera profunda)), e dos processos bioquímicos nos ecossistemas marinhos (em particular nos ecossistemas batiais e abissais), de que resulta uma vasta diversidade genética. (b) Estabelecer metodologias de produção sustentável dos compostos bioativos encontrados nos recursos genéticos. (c) Desenvolver produtos e aplicações comerciais para os referidos compostos bioativos.
- **Energias renováveis:** Apostar no aproveitamento das energias renováveis oceânicas (eólica em mar aberto e das ondas). Dadas as características físicas da plataforma continental portuguesa, o aproveitamento da energia eólica em mar aberto implica em geral a colocação de turbinas eólicas mais ou menos convencionais (normalmente de potências superiores às utilizadas em terra) em plataformas flutuantes, com os consequentes desafios associados ao desgaste mecânico provocado pelas ondas, ao fundeamento das estruturas no fundo, ao transporte da energia para terra e às necessárias operações

⁶ Nota do grupo de peritos: texto introdutório de certa forma repetitivo do que foi escrito anteriormente.

de manutenção. O aproveitamento da energia das ondas caracteriza-se por uma variedade de tecnologias em competição, dependendo de vários fatores (localização e profundidade, mas não só), com uma larga margem de desenvolvimento.

- **Recursos minerais e energéticos:** (a) Identificar e caracterizar o potencial de Portugal em recursos minerais e energéticos marinhos, incluindo dos ecossistemas associados; (b) Desenvolver tecnologia inovadora para a prospeção e exploração dos recursos minerais e energéticos marinhos com minimização dos impactos associados; (c) Avaliar a capacidade de sequestração de CO₂ do fundo do mar Português em termos de utilidade prática.

4.2.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos

No que respeita à pesca, tem-se assistido a uma progressiva alteração do paradigma de uma avaliação monoespecífica dos mananciais para uma abordagem ecossistémica. Têm sido reconhecidas algumas das pressões que afetam o ambiente marinho, do qual o sector da pesca depende, entre as quais as alterações climáticas e seu impacto no afloramento costeiro, fenómeno que permite a existência das grandes populações de sardinha. No entanto, esta informação ainda não é incluída na avaliação dos mananciais e na sua gestão. O conhecimento dos recursos de profundidade e da biologia das suas espécies tem tido um grande incremento. Apesar da importância social da pesca a nível regional e local ser superior à sua expressão económica, a socioeconomia das pescas é uma área científica relativamente pouco desenvolvida em Portugal. O estado de conservação de alguns mananciais de peixes encontra-se abaixo dos referenciais biológicos de sustentabilidade e a importância económica das pescas é cada vez menor, levando a um recuo da dimensão social e aposta económica no setor. Na aquacultura verificou-se um aumento da dimensão média em cerca de 4,0%, que se deveu à autorização de novos estabelecimentos aquícolas em mar aberto, que apresentam áreas de ocupação muito alargadas.

O número de compostos marinhos bioativos conhecidos tem aumentado exponencialmente nos últimos anos. Nesta área, o desenvolvimento do conhecimento e da investigação científica e tecnológica que o país conseguiu alcançar nas últimas décadas permitiu-lhe entrar na corrida à revolução biotecnológica, garantindo uma posição atual mais favorável neste sector. Portugal goza hoje do reconhecimento Europeu como um líder em recursos a aplicações para biotecnologia marinha beneficiando da existência de inúmeros ecossistemas marinhos considerados focos (*hotspots*) de biodiversidade à escala mundial. Nos últimos 3 anos o sector aumentou, em parte pelo enorme estímulo europeu, mas mais recentemente também pela aposta política nacional e um estímulo grande ao empreendedorismo em geral. Novas empresas, novas aplicações e mercados, diversificação de negócio em empresas mais tradicionais e uma maior aproximação da componente académica ao mercado e à indústria têm contribuído bastante para este crescimento, embora o tecido empresarial esteja ainda numa fase de lançamento. Muito há ainda a fazer para estimular o desenvolvimento, crescimento e verdadeira implementação na sociedade e mercado global dos resultados científicos do país neste sector.

Quanto às energias renováveis, Portugal é um dos países pioneiros no desenvolvimento das tecnologias de conversão da energia das ondas e com frequente participação em projetos europeus. Nos últimos 10 anos, esta atividade incidiu principalmente na tecnologia de coluna de água oscilante com turbina de ar, a que tem conhecido maior expansão a nível internacional e a que foi utilizada na pioneira central do Pico, nos Açores, ainda em operação em 2018. No que concerne à produção de energia das ondas, nos últimos anos, a atividade nacional centrou-se no desenvolvimento de sistemas flutuantes para colocação em águas de profundidade até cerca de 80 m, e, no desenvolvimento de novos tipos de turbinas de ar e seu controlo, para instalação em variados tipos de conversores de coluna de água oscilante (desde integrados em quebra-mar até flutuantes). Quanto à energia eólica em mar aberto, a atividade é mais recente e, tem-se

focado na caracterização do recurso, no acompanhamento da tecnologia e no apoio à instalação e monitorização de um protótipo em Portugal. Têm sido efetuados estudos sobre a ação das ondas em estruturas flutuantes, amarrações e ligações elétricas submarinas, que têm aplicação nos dois sistemas de energias marinhas.

Nos últimos dez anos melhorou significativamente o conhecimento dos processos de formação e ocorrência dos recursos minerais e energéticos suboceânicos, incluindo na área sob jurisdição nacional, onde já foram descobertas várias matérias-primas (nódulos polimetálicos, crostas ferromanganesíferas, entre outros). A prospeção petrolífera atingiu já profundidades superiores a 3000 m e foi recentemente desenvolvida tecnologia de elevada resolução para prospeção de vários tipos de recursos minerais. No que respeita aos jazigos de sulfuretos maciços dos fundos marinhos, a investigação realizada em Portugal tem dado os seus frutos, que urge transformar em conhecimento com aplicação industrial. Os fundos marinhos incluem ainda reservas de hidrocarbonetos não-convencionais como hidratos de metano, também encontrados na margem sul portuguesa.

4.2.3 As questões chave para uma agenda de investigação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 4.2.1, indicam-se em baixo um conjunto de ações chave relevantes para os implementar.⁷

Pescas:

- Desenvolver modelos extremo-a-extremo (*end-to-end*), que incluam também a dimensão humana (o Homem como predador de topo) e sirvam de ferramentas importantes na gestão pesqueira.
- Desenvolver novas tecnologias da pesca, que minimizem os impactos das artes de pesca nos habitats e ecossistemas (físicos e biológicos) e que garantam a conservação e a sustentabilidade dos recursos explorados, em particular, ao nível do Rendimento Máximo Sustentável.
- Perceber quais os mecanismos biofísicos que regem a produtividade dos pequenos peixes pelágicos (como por exemplo a sardinha) e como as alterações climáticas os podem alterar.
- Desenvolver sistemas de observação a bordo de embarcações de pesca, para obtenção de dados biológicos e do ambiente que permitam a construção de séries temporais longas, o mapeamento da distribuição espacial dos recursos biológicos e a sua evolução no tempo, a estimativa da abundância dos recursos e a monitorização espácio-temporal da atividade pesqueira, em particular das diferentes frotas de pesca.⁸

Aquacultura:

- Desenvolver uma aquacultura de precisão através da aplicação de tecnologias que visem o aumento e a eficiência da produção aquícola.
- Desenvolver Sistemas de Recirculação em Aquacultura, mar aberto e multi-tróficos, sempre que possível de forma integrada.

⁷ Nota do grupo de peritos: faltará aqui o evitar o declínio da biodiversidade, mantendo-a, protegendo-a, para que todos os serviços ecossistémicos não entrem em rutura ou mal funcionamento, com repercussões que vão para além do conhecimento atual, e, portanto, imprevisíveis.

⁸ Nota do grupo de peritos: será pertinente incluir aqui a valorização dos subprodutos das artes da pesca, sejam “by-catch”, descartes ou subprodutos resultantes do processamento de peixe (no mar ou em terra)? Esta é uma questão fundamental na gestão dos recursos, considerando até a tendência das regulamentações europeias de obrigatoriedade de trazer esses subprodutos para terra, sendo necessário encontrar um destino para os mesmos (necessidade de várias estratégias de valorização).

- Desenvolver dietas sustentáveis que promovam o crescimento e a robustez dos animais, garantindo o aporte de ácidos gordos ómega-3 recomendados para consumo humano;
- Controlar e reduzir agentes patogénicos;
- Avaliar e mitigar impactos da exploração;
- Aplicar modelos preditivos que permitam facilitar a tomada de decisão e gestão das aquaculturas;
- Desenvolver infraestruturas que possibilitem a aquacultura em mar aberto, incluindo sistemas robóticos para inspeção automática das instalações e sistemas de geração de energia a nível local.

Recursos genéticos e compostos bioativos:

- Detetar focos de recursos genéticos, mapeá-los e caracterizá-los;
- Avaliar os impactes da exploração de recursos genéticos, evitando a sua exploração direta, desenvolvendo cultivo, síntese química e biotecnologia para a domesticação de genes marinhos;
- Produzir os compostos bioativos *ex situ* em fotobiorreactores dedicados (ou outros sistemas adequados) e com diferentes escalas industriais;
- Facilitar a catalogação e acesso às coleções de culturas existentes nacionalmente;
- Fomentar a exploração de bioatividades relevantes para o mercado e desenvolvimento de *proof of concept*;
- Clarificar protocolos de acesso no âmbito do Protocolo de Nagoya e a partilha justa e equitativa dos benefícios que advêm da sua utilização;
- Desenvolver tecnologias melhoradas de separação de metabolitos

Energias renováveis:

- Desenvolver novos conceitos para dispositivos de energia das ondas e sua integração em agregados ou parques, seu controlo e seus equipamentos específicos;
- Desenvolver estruturas flutuantes autónomas para instalação em mar aberto, com abastecimento energético a partir das ondas, para aquacultura e/ou outras aplicações marinhas;
- Desenvolver novos conceitos de plataformas flutuantes para turbinas eólicas em mar aberto, incluindo sistemas integrados de aproveitamento da energia eólica e das ondas;
- Reduzir o custo das operações de monitorização, operação e manutenção.

Recursos minerais e energéticos:

- Desenvolver novos métodos de deteção, mapeamento/caracterização e avaliação da explorabilidade de ocorrências minerais nos fundos marinhos;
- Avaliar e propor medidas de mitigação dos impactos da exploração nos fundos marinhos, incluindo medidas regulamentares e legislativas;

- Desenvolver equipamentos para exploração e para monitorização em tempo real das operações de exploração;
- Investigar as hipóteses de génese abiogénica de hidrocarbonetos e das suas consequências em termos de prospeção e exploração e compreender a génese de jazigos de sulfuretos maciços;
- Compreender o sequestro de dióxido de carbono e outros gases com efeito de estufa;
- Desenvolver tecnologia para deteção, medição e extração de concentrações de hidratos de gás.

4.3 Alterações globais, riscos naturais e antrópicos

O aumento das atividades económicas relacionadas com o mar, a grande pressão populacional na orla costeira e os impactos das alterações globais exigem um conhecimento mais aprofundado destes ecossistemas, nomeadamente da variabilidade e tendências futuras das características essenciais do oceano (e.g., temperatura e pH) e dos seus forçamentos atmosféricos (e.g., vento), e que terão repercussões diretas na produtividade dos oceanos. Para além do conhecimento da função dos oceanos no clima e da mitigação dos impactos das alterações globais, é essencial também estudar as respostas comportamentais, ecológicas e fisiológicas dos organismos às variações globais e os fatores que limitam a sua resiliência e distribuição. Paralelamente deverão ser estudados as implicações ao nível da produtividade e serviços dos ecossistemas. Será prioritário estudar os efeitos combinados de múltiplos stressores.

4.3.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

O oceano global é um dos componentes principais do sistema climático da Terra, em que se tem observado uma tendência de aumento da temperatura durante a segunda metade do séc. XX, sendo o oceano Atlântico o que mais tem contribuído para esse aquecimento. Associada à variação de temperatura, verifica-se uma série de alterações que importa estudar. A localização de Portugal na fronteira leste do Oceano Atlântico e a sua soberania ou jurisdição sobre uma grande parte do Atlântico Norte, faz com que tenha as condições ideais para o estudo, observação e monitorização da sua variabilidade. Assim, é possível identificar alguns dos desafios que se vão colocar nos próximos anos à comunidade científica nacional, no que diz respeito às alterações globais, riscos naturais e antrópicos:

- **Aquecimento e acidificação do oceano:** Conhecer a variabilidade, tendências futuras e variações no passado, particularmente em períodos de transição para e durante climas quentes, das características essenciais do oceano, tais como a temperatura e o pH, havendo poucas medições deste último parâmetro no Mar Português.
- **Respostas dos ecossistemas e organismos:** Apesar do avanço no desenvolvimento de modelos preditivos que auxiliam a definição de cenários futuros, é fundamental obter séries de dados empíricos e conhecimento experimental para perceber as respostas dos ecossistemas e dos organismos aos poluentes tradicionais e emergentes e às alterações globais.
- **Eventos extremos e riscos naturais:** Desenvolver sistemas (locais e regionais) de avisos precoces multiriscos (como por exemplo, tempestades, inundações, maremotos (tsunamis), erosão costeira e florescimentos (*blooms*) de espécies tóxicas e invasoras).

- **Impactos antrópicos:** (a) Compreender o impacto das pressões causadas pelo homem na dinâmica dos ecossistemas (desde espécies não indígenas ao ruído marinho, passando pelos contaminantes tradicionais e emergentes, incluindo o lixo marinho e em particular plásticos e microplásticos bem como compostos de higiene pessoal, fármacos e nanopartículas) e investir no estudo de métodos e tecnologia para os combater, degradar e/ou transformar, por forma a potenciar o crescimento sustentável da economia do mar; (b) Compreender o impacto combinado de múltiplos stressores, dando particular destaque à avaliação dos impactos/efeitos cumulativos no meio marinho.

4.3.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos

Esta temática tem sido impulsionada pelo grande envolvimento de Portugal no programa global IGBP, nomeadamente nas áreas relacionadas com o oceano. Vários estudos focaram as alterações climáticas e o seu impacto na produtividade de pequenos peixes pelágicos (por exemplo, na sardinha) e mostraram que a temperatura da superfície do mar ao longo da plataforma continental portuguesa tem aumentado desde meados do século XX e que esse aquecimento já levou a alterações na composição das comunidades biológicas, na diversidade genética das espécies existentes e na distribuição e abundância de algumas espécies de peixes e outros organismos marinhos. De salientar que Portugal participa na infraestrutura de investigação Europeia EMSO, constituída por uma rede de observatórios submarinos fixos multidisciplinares, com polos no Golfo de Cádiz e nos Açores. Estes observatórios, e as linhas de investigação a eles associadas, são fundamentais para enfrentar desafios científicos e sociais urgentes (e.g., efeito das alterações climáticas e sismicidade). Portugal conta desde o final de 2017, com um sistema de aviso precoce de maremotos gerido pelo IPMA, que assume a gestão do nó do Sistema de Alerta Precoce de Tsunamis do Atlântico Norte e Mediterrâneo (NEAMTWS), em estreita articulação com a Autoridade Nacional de Proteção Civil. Este sistema está integrado na rede internacional de alerta precoce de maremotos e insere-se na rede nacional de sismómetros e marégrafos, contando com a cooperação de outras instituições nacionais, como a Direção-Geral do Território e o Instituto Hidrográfico.

No campo da paleoceanografia, é de referir o grande número de dados sobre a evolução das condições oceanográficas e hidroclimáticas na margem portuguesa durante os últimos 2000 anos e a influência potencial da água mediterrânica na circulação termohalina. Portugal é membro, desde 1998, do programa global IODP, que tem sido fundamental para o conhecimento do impacto das variações climáticas bruscas em termos regionais (distribuição global).

Durante a última década, com a implementação das diretivas europeias DQA e DQEM, avançou-se em Portugal com o conhecimento científico sobre o bom estado ambiental das águas e os impactos das atividades humanas. Os principais riscos antrópicos identificados para Portugal encontram-se alinhados com os descritores da DQEM e/ou DQA. A investigação sobre lixo marinho, em particular plásticos e microplásticos, iniciou-se em Portugal em 2008, e centrou-se numa primeira fase em estudos sobre as quantidades que ocorrem na costa portuguesa, tendo evoluído com vigor científico para a avaliação de impactos dos microplásticos nos organismos e a possível extensão ao Homem através da dieta, bem como a sua mitigação através de bioremediação. Os principais efeitos estão relacionados com as partículas de menores dimensões e com contaminantes associados ao plástico, mas persistem ainda muitas incertezas.

O Sistema Nacional de Monitorização de Moluscos Bivalves (SNMB) tem vindo a monitorizar exaustivamente os contaminantes biológicos e químicos, amostrando semanalmente todo o litoral de Portugal Continental com vista à análise de biotoxinas marinhas e de microalgas. Esta informação tem servido para investigar as condições que despoletam os florescimentos (*blooms*) de microalgas nocivas, seu transporte e impacto nas aquaculturas e turismo (“marés vermelhas” nas praias). A investigação sobre

biotoxinas emergentes em Portugal encontra-se numa fase bastante embrionária. A ocorrência, pela primeira vez, de intoxicações por ciguatoxinas na Madeira é um alerta que com as alterações climáticas podem ocorrer com maior frequência e noutras regiões.

4.3.3 As questões chave para uma agenda de investigação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 4.3.1, indicam-se em baixo um conjunto de ações chave relevantes para os implementar.

Aquecimento e acidificação do oceano:

- Desenvolver um sistema sustentável integrado de observações de toda a coluna de água nos seus aspetos físicos, químicos e biológicos, e de modelos (locais, regionais e globais) de previsão das alterações climáticas, integrando informação do oceano e atmosfera.
- Conhecer as variações no passado, particularmente em períodos de transição para e durante climas quentes, da temperatura e do pH do oceano, para entender a variabilidade e tendências atuais e futuras destas variações.

Respostas dos ecossistemas e organismos:

- Desenvolver sistemas integrados de observação (*in situ* e remota) e modelação, que permitam recolher a informação oceanográfica de base e sobre a dinâmica dos ecossistemas, para otimizar a gestão dos recursos marinhos e diminuir o impacto das alterações globais nos serviços dos ecossistemas;
- Estudar as respostas comportamentais, ecológicas e fisiológicas dos organismos às variações globais e os fatores que limitam a sua resiliência e distribuição.

Eventos extremos e riscos naturais:

- Identificar áreas particularmente vulneráveis e desenvolver sistemas de avisos (local e regional) precoces multiriscos (e.g., tempestades, inundações, maremotos e florescimentos de microalgas nocivas);
- Desenvolver metodologias de previsão de maremotos;
- Determinar quais são os forçamentos cumulativos e a persistência de condições que provocam a proliferação de microalgas nocivas e qual a relação entre a mudança global e o aumento da frequência, intensidade e distribuição de eventos de microalgas nocivas.
- Determinar os efeitos em cascata dos riscos naturais em comunidades, património cultural e infraestruturas.

Impactos antrópicos:

- Determinar e desenvolver estratégias de mitigação dos impactos ecológicos e socioeconómicos da presença de poluição, nomeadamente por plástico, no oceano.
- Determinar e desenvolver estratégias de mitigação dos impactos ecológicos e ambientais da presença de contaminantes, em particular de microplásticos e nanoplásticos, nas cadeias alimentares marinhas e avaliar o risco para a saúde humana.

- Determinar e desenvolver estratégias de mitigação dos impactos das espécies não indígenas invasoras a nível ecológico, económico e de saúde pública.
- Determinar e desenvolver estratégias de mitigação dos impactos ecológicos e socioeconómicos de multistressores, com destaque à avaliação dos impactos/efeitos cumulativos no meio marinho e na saúde pública.
- Avaliar o risco ecológico da acção dos stressores, tanto a nível molecular como bioquímico e fisiológico. Potenciar novas soluções e tecnologias (e.g. (bio)remediação de químicos ambientais) expeditas para avaliação do risco.

4.4 Oceanos e sociedade

A boa gestão e a conservação dos ecossistemas marinhos dependem tanto da compreensão dos mesmos, como do conhecimento das dinâmicas do relacionamento do ser humano com eles. Se por um lado a atividade humana tem impactos negativos na saúde do ecossistema marinho, é igualmente verdade que a sociedade beneficia significativamente de ecossistemas marinhos saudáveis e, portanto, do sucesso dos esforços de conservação e de uma boa gestão desses recursos.

Neste sentido, as ciências sociais e humanas desempenham um papel determinante. As informações e os dados das suas disciplinas são essenciais na gestão e conservação do oceano, pois permitem compreender a forma como as pessoas usam o meio ambiente marinho, como criam e podem reagir a novas e diferentes formas de governança oceânica.

As condições de desenvolvimento e as tecnologias disponíveis atualmente permitem a exploração do oceano num novo patamar, até aqui inalcançável. No entanto, estas possibilidades trazem consigo novas questões e desafios de governança, as quais têm vindo a ser debatidas à escala global nas últimas décadas. Novos instrumentos de política e de direito, estratégias económicas e preocupações com os impactos desta exploração – económicos, ambientais e sociais – têm emergido deste debate, configurando novos quadros de relacionamento entre indivíduos, sociedades e parcerias, que vão ao encontro do ODS17 da Agenda 2030 (Parcerias para a implementação dos objectivos), e que importa conhecer e aprofundar.

4.4.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Tendo em conta os objetivos de desenvolvimento económico e social, mas também de afirmação de interesses políticos e estratégicos nacionais no quadro internacional – regional e global – para os próximos anos, constituem oportunidades e necessidades futuras para o país no campo científico o aprofundamento do conhecimento nas seguintes áreas:

- **Governança do mar:** Melhorar a governança do mar, tanto ao nível do direito internacional do mar, como ao nível das relações internacionais e políticas e das questões de segurança;
- **Gestão e conservação do oceano:** Analisar os impactos sociais e culturais, especialmente nas comunidades costeiras e piscatórias, do impacto humano no aumento da poluição do Oceano, da aplicação das Áreas Marinhas Protegidas (AMPs), do desenvolvimento dos serviços dos ecossistemas marinhos e costeiros, e da gestão dos mananciais;

- **Economia do mar:** Fomentar o desenvolvimento da economia do Mar; analisar os impactos sociais e culturais dos modelos de organização e exploração de recursos marinhos e do desenvolvimento da economia do mar, especialmente nas comunidades costeiras; analisar os impactos sociais e económicos da atividade portuária; analisar os impactos sociais e económicos da energia renovável marinha, em especial em comunidades isoladas e em ilhas.
- **História e cultura marítima:** Promover a história e a cultura marítima com o objetivo de reforçar o conhecimento e a compreensão das comunidades, nomeadamente as suas atitudes, expectativas e dilemas, fundamentais para a definição de políticas públicas, e de obtenção de fonte de informação relevante para alimentar setores económicos com novas ideias, e elementos de diferenciação e valorização de produtos e serviços económicos; a preservação do património cultural marítimo (por exemplo, arqueologia marinha);
- **Capacitação e educação:** Promover a capacitação e a educação, preferencialmente interdisciplinar para o mar, que permita capacitar os cidadãos para tomar decisões informadas que tenham em conta a necessidade de proteger, usar e explorar de maneira sustentável os recursos oceânicos.

4.4.2 Principais desenvolvimentos científicos nos últimos dez anos

Entre os vários desenvolvimentos científicos e assuntos que maior relevo tiveram na última década, com interesse estratégico para Portugal, destaca-se a governança dos espaços marítimos, nomeadamente do Atlântico. A nível internacional, verificou-se a ‘corrida ao oceano’ e novas relações económicas mundiais, a discussão de novas questões de soberania e de segurança marítima, as questões relativas ao aprofundamento do direito internacional do mar e direito marítimo – com delimitação de fronteiras marítimas relacionadas com os trabalhos relativos à extensão da plataforma continental no contexto da CNUDM. Num outro nível, mas igualmente relevante, colocam-se as questões relativas ao estabelecimento da proteção e a exploração sustentável do Oceano como uma prioridade, promovendo desenvolvimento económico assente num uso mais eficiente dos recursos e uma economia mais competitiva e sustentável, geradora de crescimento e de emprego, e capaz de assegurar a coesão social e territorial. O ordenamento e planeamento espacial são fundamentais neste aspeto, com Portugal a ser pioneiro no ordenamento do espaço marítimo com influência em cerca de 10% do Atlântico e marcado por uma abordagem ecossistémica da gestão desse espaço. Muito tem sido feito em Portugal neste âmbito da governança dos espaços marítimos (são exemplo a LBPOGEMN, a ENM, a ENGIZC, entre outros).

No âmbito da gestão e conservação do oceano, o impacto das atividades humanas no estado dos oceanos através, por exemplo, da poluição por microplásticos ou por outros contaminantes como o mercúrio, e sua transferência para o Homem através das cadeias alimentares marinhas com impactos na saúde humana, estão entre os assuntos que mais tem envolvido a sociedade na gestão e preservação do oceano. Destacam-se neste contexto os programas nacionais relacionados com o lixo marinho, gestão de resíduos nos portos ou eficiência energética dos navios. Ao nível do planeamento espacial, verificou-se o início do estudo dos serviços dos ecossistemas e a criação de AMPs em Portugal, medida indicada na DQEM ou no âmbito da Convenção para a Biodiversidade das Nações Unidas.

Na economia do mar, destaque-se a definição de metodologias e estudo de modelos de organização e estruturação das atividades económicas, e recolha e tratamento de informação estatística.

Em Portugal, os projetos dedicados à literacia do Oceano têm sido promovidos por universidades públicas,

institutos politécnicos, centros de investigação, museus e aquários, ONG's, entidades dos ministérios da Ciência e do Mar, sem contudo haver uma ação concertada nem uma estratégia comum a médio-longo prazo.

4.4.3 As questões chave para uma agenda de investigação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 4.4.1, indicam-se em baixo um conjunto de ações chave relevantes para os implementar.

Governança do mar:

- Desenvolver investigação em modelos e sistemas de governação transfronteiriça dos espaços marítimos do Atlântico, incluindo geopolítica do Atlântico e que promova a discussão de novas questões de soberania, cooperação e interdependência internacional e de segurança marítima;
- Desenvolver investigação em direito internacional do mar e direito marítimo, incluindo os trabalhos relativos à extensão da plataforma continental no contexto da CNUDM, e as questões relativas à interpenetração e mútua influência dos sistemas jurídicos internacional, europeu e nacional, bem como outros temas relacionados com o direito administrativo e o ambiental, tendo em conta os princípios ambientais (precaução, avaliação ambiental estratégica, avaliação de impacto ambiental/riscos, poluidor-pagador, responsabilidade e recuperação);
- Analisar os impactos económicos, ambientais, sociais e políticos ou jurídicos dos sistemas de governança e novos modelos - capacidades e instituições – de governança para a sustentabilidade oceânica e costeira;
- Aplicar metodologias de investigação que assegurem a participação adequada e efetiva de diversas comunidades costeiras na gestão e governança oceânica e costeira.

Gestão e conservação do oceano:

- Medir e mitigar os impactos ambientais, sociais e culturais dos processos de dinâmica sedimentar costeira e erosão costeira;
- Definir e sistematizar a recolha de indicadores de bom estado ambiental, caracterizar estados de referência, proteger espécies e habitats;
- Medir e mitigar os impactos ambientais da poluição marinha;
- Medir, monitorizar e mitigar impactos ambientais, sociais e culturais, incluindo benefícios e riscos, das atividades humanas nos oceanos;
- Medir, monitorizar e mitigar os impactos ambientais, sociais e culturais do uso dos serviços dos ecossistemas e, das áreas marinhas protegidas;
- Avaliar socioeconomicamente a aplicação do planeamento e ordenamento espacial e a gestão de conflitos de usos⁹.

⁹ Questão: trata-se de uma questão de investigação ou uma questão de política de mar?

Economia do mar:

- Desenvolver modelos de exploração sustentável de recursos marinhos e desenvolvimento da economia;
- Desenvolver a socioeconomia das pescas;
- Avaliar os impactos sociais e culturais dos modelos de organização e exploração de recursos nas comunidades costeiras – quais as estruturas estratégicas de tomada de decisão necessárias para estabelecer um equilíbrio social e ecologicamente sustentável entre a exploração de recursos /atividades económicas e os ecossistemas marinhos.
- Avaliar os impactos sociais e económicos da atividade portuária.

História e cultura marítima:

- Aprofundar o conhecimento da história marítima de Portugal, promovendo a leitura de padrões de comportamento nacional, o relacionamento com oceano e com outras sociedades;
- Compreender modelos históricos de relacionamento político, diplomático, estratégico e económico;
- Identificar elementos chave de cultura imaterial mas também materializada no património histórico e cultural existente;
- Avaliar os impactos históricos e sociais da maritimidade nas comunidades costeiras e litorais.

Capacitação e educação:

- Intensificar a educação científica sobre os oceanos, numa abordagem técnica, científica e multidisciplinar, seguindo uma visão integrada e integradora em todos os níveis de educação;
- Estruturar e implementar um programa educacional intencional e adequado, para inclusão do oceano no currículo do ensino obrigatório e superior, neste caso em educação marinha, bem como cursos de formação de professores no âmbito da literacia do Oceano e formação profissional e universitária em áreas da inovação/tecnologia/empreendedorismo/direito/gestão especificamente ligadas ao sector do Mar. Estes programas devem ser claramente multidisciplinares, focados nas áreas estratégicas de desenvolvimento de uma presença marítima de Portugal no contexto global e devem ser desenvolvidos em estreita colaboração entre os ministérios com a tutela da educação, ciência e mar;
- Investigar e promover a capacitação em profissões emergentes ligadas ao mar;
- Promover a capacitação em profissões ligadas às engenharias e tecnologias de conceção e construção de equipamento marítimo e oceânico;
- Incentivar o desenvolvimento de projetos de investigação na área da didática / educação para a criação de ferramentas de avaliação da implementação e impacto de projetos educativos na área do Oceano e a criação de ferramentas de análise de alteração de atitudes e comportamentos e de conhecimento nos jovens antes e após implementação de ações concertadas no âmbito da melhoria da literacia do oceano.

4.5. Fatores críticos para o desenvolvimento futuro nos quatro subtemas identificados

Para o sucesso de uma agenda de investigação no Mar destacam-se alguns fatores críticos ao seu desenvolvimento.

Infraestruturas

O estudo, exploração e gestão do Oceano requer um conjunto de estruturas e equipamentos adequados à magnitude das escalas espaciais e temporais de muitos dos seus processos. Importa tornar Portugal um país operacional em termos de infraestruturas. A inexistência ou insuficiência das mesmas é contrária ao progresso desejado, pois não permite que existam polos integradores das equipas multidisciplinares essenciais a uma gestão adequada dos oceanos e zonas costeiras, assim como de locais de interface entre os especialistas e a população em geral. Particularmente relevantes serão os meios para a investigação em mar aberto, desde a superfície até ao fundo (como por exemplo navios de investigação, boias ou AUVs). Por outro lado, o acesso a instalações para a integração e teste de sistemas e veículos robóticos marinhos por equipas multidisciplinares, ou o acesso a zonas piloto no mar aberto, é essencial para desenvolvimento de protótipos, por exemplo no âmbito das energias renováveis ou da aquacultura. A existência de infraestruturas laboratoriais que permitam estudar o efeito das ondas em veículos e plataformas flutuantes é também indispensável ao desenvolvimento de protótipos de energias renováveis e de aquacultura em mar aberto e ao planeamento de complexas operações marítimas.

Recursos humanos

A formação de recursos humanos científicos e, em particular, técnicos é vital para, a compreensão do oceano e para o desenvolvimento de novas tecnologias de observação e exploração sustentável do oceano. Saliente-se a necessidade de formação multidisciplinar, atendendo à multiplicidade de vetores nas ciências e tecnologias do mar. Refira-se que a situação atual de precariedade de grande parte destes recursos humanos, bem como o envelhecimento dos quadros existentes, pode tornar-se, a curto e médio prazo, num fator crítico ao desenvolvimento, identificando-se a necessidade de criação de um estatuto adequado aos especialistas desta área. Salienta-se, ainda, a insuficiência de recursos humanos ligados à I&I no mar, e em particular ligados à divulgação de ciência e educação sobre o mar.

Financiamento

Seria útil proceder a uma alteração do paradigma no financiamento e funcionamento da área do Mar em Portugal. Seria importante definir para o financiamento uma área disciplinar principal das ciências do mar, promovendo multi- e interdisciplinaridade. No que diz respeito à investigação oceânica, por todas as suas características, são necessários programas de longo prazo, para uma década, que integrem equipas nacionais e promovam uma maior colaboração a nível nacional e presença internacional. É necessária a criação de laboratórios, consórcios, redes ou programas plurianuais que promovam essa integração com instrumentos próprios. Particularmente interessante será o investimento público com base em programas dedicados.

Multidisciplinariedade / Redes

É premente fomentar, no seio da comunidade científica nacional, a partilha de conhecimento, dados e equipamentos, tendencialmente com acesso em condições equivalentes, bem como a colaboração pluridisciplinar, interdisciplinar e intersectorial (academia, institutos, indústria, PMEs ONGs) e a promoção de uma KIC (*Knowledge and Innovation Community*) para o Mar, com vista ao desenvolvimento do conhecimento e de soluções comuns no que respeita à exploração dos recursos, compatibilizando a exploração com a minimização dos impactos associados. Um aspeto relacionado importante tem a ver com a promoção do acesso aberto aos dados.

Internacionalização

Portugal tem feito parte de consórcios científicos e de consórcios que determinam as políticas

internacionais de envolvimento da sociedade na economia e gestão dos oceanos. Este tem sido um fator determinante para acompanhar o estado-da-arte nos diferentes tópicos e metodologias. É fundamental estabelecer e aprofundar colaborações/parcerias científicas com instituições estrangeiras possuidoras de grande experiência e meios (técnico-científicos e financeiros) para a investigação particularmente do mar profundo, assegurando a presença em redes internacionais e grandes programas, especialmente aqueles que determinam a investigação no Atlântico. É ainda fundamental que Portugal continue a participar, e estenda a sua participação, nas infraestruturas europeias de investigação relacionadas com o oceano.

Setor privado

Muito embora se tenha verificado uma aproximação entre as instituições académicas e o tecido empresarial na área do mar através, sobretudo, de incubadoras de empresas, *start-ups* e associações empresariais, há ainda um potencial inexplorado nestas parcerias. É importante promover a transferência de tecnologia e conhecimento entre a academia e a indústria, continuar a potenciar a criação de PMEs que, em parceria com as Universidades, laboratórios de estado e demais instituições do sistema científico nacional, desenvolvam soluções inovadoras e potenciem a criação de empregos na economia do Mar.

Sociedade civil

Dado que a literacia do oceano é uma componente fundamental para sensibilizar a população sobre a importância do mar e sobre os impactos da sociedade no mesmo assim como para criar uma cultura no consumidor nacional de abertura ao consumo de novos produtos (novas espécies piscícolas e aquícolas na dieta humana), constitui-se como fator crítico a ausência de financiamentos próprios e específicos para a literacia do oceano, assim como de formação de professores e a fraca cooperação/interação entre a área da educação e da investigação e sector empresarial. Constata-se uma ausência de projetos de investigação em literacia do oceano e de uma estratégia nacional de educação/literacia do oceano.

Capítulo 5 – Perspetivas de Inovação Social e Tecnológica

A economia do mar, e a inovação a ela associada, está ainda numa fase de arranque, mas existe a convicção de que deverá tornar-se a médio prazo uma parte significativa da economia global, através da intensificação da produção de alimento, de compostos bioativos, de energia e de minerais raros. O desenvolvimento da inovação na economia do mar requer recursos, conhecimento e tecnologia. Os recursos são variáveis, mas de algum modo proporcionais à extensão do território marítimo e por conseguinte Portugal é um dos países que mais poderá beneficiar das oportunidades de desenvolvimento na economia do mar. As vantagens que Portugal terá neste processo dependem do conhecimento científico e do domínio das tecnologias. O investimento atempado nestes dois campos trará vantagem a Portugal na exploração dos seus recursos, e poderá proporcionar às instituições portuguesas capacidade para prestar serviços à escala global, fomentando empregos, criação de novas empresas, comercialização do conhecimento científico nacional e a captação de investimento estrangeiro no sector do mar.

As secções seguintes detalham os 4 subtemas identificados como prioritários para a inovação social e/ou tecnológica na economia do mar nos próximos anos (**Tecnologias para a observação e o estudo integrado do oceano; Tecnologias para a exploração dos recursos vivos marinhos; Energias Marinhas; e Tecnologias de suporte ao uso e gestão do Oceano**). No fim apresentam-se os fatores críticos para a implementação das questões-chave identificadas neste capítulo.

5.1 Tecnologias para a observação e o estudo integrado do oceano

A implementação de sistemas de observação e de previsão no oceano cria oportunidades para os agentes económicos. A inovação nas tecnologias de apoio à observação e ao estudo integrado do oceano podem, assim, contribuir para a promover a economia do mar.

5.1.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

O desenvolvimento de produtos e serviços para a observação e o estudo integrado do oceano, que suportem a economia do mar e a segurança marítima é o principal desafio que a comunidade de inovação nacional enfrentará nos próximos anos, com prioridade para:

- **Recolha de dados:** Otimizar e desenvolver novas tecnologias para recolha de dados abrangentes em termos espaciais e em termos de parâmetros, a custos reduzidos e fazê-los chegar em tempo útil ao utilizador, como por exemplo sensores, que possam ser colocados em satélites, em estações fixas ou em plataformas móveis.
- **Modelação operacional:** Apostar em tecnologias que promovam a validação dos modelos e a criação serviços de previsão fiáveis e adaptados à necessidade dos utilizadores.
- **Plataformas informáticas de gestão de dados:** Apostar em tecnologias que permitam a disponibilização em plataformas informáticas de dados recolhidos e de resultados de modelos que facilitem o acesso às condições do momento, a condições futuras e a condições passadas, possibilitado o seu uso por quem está no mar, por quem está a planear operações e por quem recolheu dados e precisa de outros dados para os interpretar ou completar.

5.1.2 Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos

Na última década o progresso na observação do oceano através de sensores e sua integração em modelos operacionais foi enorme. A observação do oceano por satélite teve grande impulso. Foram lançados novos satélites, equipados com sensores com maior resolução (como por exemplo os Sentinel) e assistiu-se ao aparecimento de novas empresas e de novos serviços. A comunidade oceanográfica portuguesa participou deste movimento e tem acesso à informação obtida à escala global e regional.

O recurso a dados de satélite – da NASA e da ESA - é transversal à generalidade das equipas envolvidas em estudos oceanográficos, com especial relevo para as equipas envolvidas na modelação da circulação (recurso a imagens de temperatura) e para as equipas envolvidas no estudo da produção primária, que recorre regularmente, para sua quantificação a imagens de temperatura e cor do oceano como *proxy* do afloramento costeiro, ou seja de nutrientes e consequente produção primária, recorrendo ao suporte de dados *in situ* para validação destas quantificações derivadas de dados de satélites. A já boa qualidade destes produtos deverá melhorar ainda mais com os dados de alta resolução obtidos com os novos satélites Sentinel.

Em Portugal, a modelação operacional em modo de previsão de parâmetros físicos (correntes, temperatura e salinidade) teve grande desenvolvimento, com contributos científicos e tecnológicos importantes para o estado da arte global ao nível do desenvolvimento de modelos e da produção de resultados à escala regional e à escala local. Portugal tem também contributos importantes no desenvolvimento de plataformas para publicação e utilização dos resultados para o desenvolvimento de modelos operacionais biogeoquímicos, mas a sua utilização requer a implementação de um programa de validação sistemática dos resultados.

A monitorização dos recursos pesqueiros mediante a realização de campanhas oceanográficas e hidrográficas (batimetria, correntes e marés) utilizando navios e sistemas de radares é levada a cabo pelos Laboratórios de Estado, detentores da principal infraestrutura de monitorização. Os dados são normalmente públicos, devendo a facilidade de acesso aumentar com a entrada em funcionamento da plataforma SNIMAR.

5.1.3 Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Os desafios e objetivos elencados na secção 5.1.1 permitiram identificar as seguintes oportunidades:

Recolha de dados:

- Continuar a desenvolver um sistema de observação combinando deteção remota e *in situ*, para caracterização do estado do mar e da produtividade oceânica, incluindo tempestades e florescimento de microalgas nocivas, que põem em causa infraestruturas em mar aberto ou os recursos explorados, saúde pública e o turismo.

Modelação operacional:

- Melhorar os sistemas de previsão existentes e desenvolver a prestação de serviços de previsão de eventos naturais (à escala nacional e internacional) para suporte às atividades no mar e em especial à exploração de recursos marinhos.

Plataformas informáticas de gestão de dados:

- Desenvolver plataformas informáticas que uniformizem o acesso a dados e a resultados de modelos, facilitando a sua visualização e avaliação e o seu uso para a geração de novos produtos e serviços.

5.2. Tecnologias para a exploração responsável dos recursos vivos marinhos

A extensão do mar português cria um vasto potencial de recursos marinhos, incluindo biodiversidade, que é preciso conhecer para poder explorar responsabilmente. A utilização destes biorrecursos poderá catalisar o desenvolvimento alargado de novos sectores económicos através do uso da biotecnologia, com impacto em diferentes indústrias e valor acrescentado elevado, promovendo a modernização, abertura de novos mercados e a dinamização da economia, com impacto muito para além dos mais tradicionais.

A nível mundial temos vindo a assistir a uma crescente substituição dos produtos da pesca (captura) por produtos de aquacultura (produção), como consequência do aumento da população e da redução dos mananciais pesqueiros. O desenvolvimento de soluções inovadoras e alternativas para aquacultura em terra (*in land*) mais sustentável e o movimento para o mar aberto, com desenvolvimento de tecnologias inovadoras nos domínios da robótica marinha e da geração de energia, aproveitando também os desenvolvimentos da indústria do petróleo, são alternativas às soluções atuais, cuja capacidade de produção é baixa.

5.2.1 - Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Neste subtema foram identificadas duas grandes áreas de atuação: sustentabilidade e modernização da aquacultura; recursos genéticos e produtos de elevado valor acrescentado, agrupadas em 6 grandes desafios e prioridades. A aposta nestas grandes prioridades permitirá colocar Portugal na linha da frente fortalecendo a sua imagem e posição como líder em biotecnologias marinhas e tecnologia aquática, fomentando empregos, criação de novas empresas, comercialização do conhecimento científico nacional a captação de investimento estrangeiro no sector.

- **Segurança alimentar, rastreabilidade/certificação de origem dos produtos da pesca e da aquacultura:** (a) Rastrear, documentar e certificar produtos de origem marinha em águas nacionais, contribuindo para o posicionamento de liderança Portuguesa no sector ao nível internacional, para valorizar social e economicamente os produtos e serviços de mar nacionais e contribuir simultaneamente para um aumento da segurança alimentar associada a estes produtos.
- **Novas formas de cultura e produção, novas dietas, novos produtos alimentares e valorização de coprodutos:** (a) Aumentar o nível de automação das unidades de aquacultura, nomeadamente a monitorização em tempo real e remotamente do desempenho de equipamentos dos sistemas de suporte de vida, de parâmetros físico-químicos da água e parâmetros biológicos dos organismos em cultivo, através de soluções já existentes, para prevenção de potenciais falhas catastróficas que coloquem em causa o funcionamento das unidades de produção, incluindo surtos de doença; (b) Promover uma produção aquícola sustentável (exemplo, aquacultura multi-trófica integrada) que promova uma utilização integral dos nutrientes fornecidos ao sistema produtivo em operação e a incorporação de todos os coprodutos gerados em cadeias bem estabelecidas (exemplo, farinhas) e/ou emergentes (exemplo, cosmética, nutracêutica, medicina), contribuindo para um aumento da viabilidade económica da atividade; (c) Promover a utilização de novos ingredientes na formulação de

rações aquícolas de modo a evitar a dependência da farinha de peixe e do óleo de peixe será vital para poder assegurar uma maior previsibilidade do preço do alimento formulado para os organismos em cultivo. (d) Implementar, à semelhança do que já vem acontecendo com os produtos da pesca, formas inovadoras de apresentação dos produtos aquícolas que lhes agreguem valor (ex. conservas de produtos aquícolas de origem biológica/produção orgânica); (e) Repensar a valorização dos recursos pesqueiros na sua totalidade, tendo em conta a limitação atual das quotas de pesca, a geração de quantidades significativas de subprodutos nas unidades industriais de processamento de peixe (cuja valorização, numa lógica de biorrefinaria e economia circular, está associada à biotecnologia azul abordada mais em baixo) e a enorme relevância económica e social destes setores a nível nacional.

- **Aquacultura em mar aberto e sistemas de recirculação:** Aplicar tecnologia que colmate a pouca experiência existente em Portugal nas áreas da aquacultura em mar aberto ou em sistemas de recirculação, as duas únicas formas que a aquacultura tem para crescer em Portugal. No primeiro caso, a resistência e a segurança das instalações e o manejo da produção são fatores determinantes para o risco do investimento, e no segundo, o controlo da qualidade da água recirculada e da água descarregada no meio recetor, bem como as condições de temperatura, são aspetos essenciais respetivamente para a qualidade sanitária, o sucesso da instalação e o seu impacto sobre o meio recetor.
- **Biotecnologia azul:** (a) Otimizar e desenvolver novas tecnologias *in vitro* e *in loco* que potenciem a eventual comercialização de compostos bioativos marinhos com aplicações nas indústrias farmacêutica, nutracêutica e cosmeceutica e bem assim produção de biocombustíveis renováveis; (b) Construir biobancos centralizados de coleções marinhas por tipologias quemo-taxonomias, geográficas, ou qualquer outro critério adequado, o que facilitará não só a gestão do seu acesso e cumprimento de disposições legais em vigor, como também a sua prospecção e edeterminação de bioactividade, constituindo um ativo nacional muito forte para potenciar o desenvolvimento de uma economia azul sustentável e sustentada; (c) Fomentar o desenvolvimento pré-comercial dos compostos bioativos já identificados e atualmente disponíveis nas coleções nacionais, através do investimento em tecnologias de processamento e separação de metabolitos, desenvolvimento de estudos *proof of concept* e processos de *scale up* para volumes pré e industriais.
- **Desafios tecnológicos e legais para mapeamento, exploração e valorização da biodiversidade (*hot spots*)¹⁰:** Desenvolver a tecnologia e os aspetos legais, que regulem o mapeamento, a exploração comercial e a valorização da biodiversidade dos fundos marinhos, incluindo pesquisa de compostos bioativos e especialização no desenvolvimento de produtos de valor acrescentado para indústrias globais nas áreas alimentar, agrícola, farmacêutica e saúde, cosmética, e biomateriais, entre outras, pode conter os primórdios de uma nova atividade económica diferenciadora e relevante no contexto internacional.

5.2.2 Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos

Nos últimos 10 anos a ciência, e a tecnologia em particular, no campo da exploração de recursos vivos marinhos, evoluiu bastante no sentido da otimização, automatização, rastreabilidade e capacidade tecnológica a profundidades cada vez maiores. A aquacultura, pescas e aplicações da biotecnologia marinha são os principais componentes da temática da utilização dos recursos vivos marinhos.

Apesar de, em Portugal, o sector da aquacultura não ter acompanhado o crescimento verificado a nível

¹⁰ Nota do grupo de peritos: deverá estar mencionada a ideia de que qualquer tecnologia, metodologia a ação serão feitas dentro dos padrões mais levados de proteção ambiental.

mundial, mantendo-se os níveis de produção há mais de 10 anos apesar dos apoios públicos ao investimento e ao desenvolvimento técnico e científico das instituições de investigação, houve progressos no que respeita à segurança alimentar e à origem dos recursos e produtos. Foram já desenvolvidos, e validados, métodos de espetrometria de massa para determinação de assinaturas geoquímicas e bioquímicas de organismos marinhos, de microbiologia molecular, e de identificação de códigos moleculares de ADN (*DNA barcoding*), únicos para cada espécie, que permitem certificar a origem dos produtos, frescos ou já processados, e expor situações de fraude, que visem a comercialização de espécies de menor valor de mercado em substituição de outros com maior valor.

No que se refere às novas formas de cultura e produção; novas dietas; novos produtos alimentares e valorização de subprodutos existem desenvolvimentos tecnológicos relevantes que deverão ser considerados. A utilização de estratégias de produção multitrófica integrada e utilização de modelos de balanço de massa, permitiram uma utilização mais eficiente e cada vez mais integral dos nutrientes fornecidos às espécies em cultivo nos sistemas produtivos (sob a forma de rações). O esforço crescente de validação da utilização de ingredientes alternativos à farinha e óleo de peixe, tem permitido a substituição parcial destes ingredientes clássicos por outros mais sustentáveis tendo por base as macroalgas e mais recentemente a farinha de insetos. Tem sido possível assegurar a utilização de novas espécies aquícolas (autóctones ou não) destinadas quer ao consumo humano, quer a outro tipo de aplicações de elevado valor (ex. isco vivo, rações de acabamento *premium*, cosmética). A valorização dos produtos marinhos tem sido igualmente conseguida através da sua apresentação sob formas inovadoras ao consumidor (ex. conserva e/ou desidratado), conotada com uma imagem de bem-estar e saúde (ex. sal verde produzido a partir de plantas halófitas).

O conhecimento gerado noutros setores da economia do mar, com ênfase para a exploração petrolífera em mar aberto, tem contribuído de forma determinante para o desenvolvimento de soluções técnicas do ponto de vista da engenharia e da utilização de novos materiais com propriedades anti corrosão, que permitem explorar o potencial aquícola em mar aberto, há muito antecipado para Portugal. Este manancial de conhecimento disponível permite que se possam projetar estas estruturas aquícolas não apenas para as condições atuais do mar Português, como também, e sobretudo, em cenários evolutivos futuros considerando, por exemplo, as condições ambientais previstas para as próximas décadas. Relativamente aos sistemas de recirculação, o contributo da revolução 4.0 no setor das bioindústrias tem sido determinante, pois tem vindo a permitir uma intensificação crescente da produção associada a uma diminuição do uso de água e dos gastos energéticos inerentes a este tipo de operações. O grau de automação já existente, ao nível do processo produtivo e da sua monitorização em sistemas de recirculação, permite diminuir de forma significativa a ocorrência de potenciais falhanços catastróficos fortemente associados ao erro humano. Deste modo, é já possível antecipar e corrigir de forma cada vez mais fiável os potenciais desvios que possam afetar de forma negativa a produção das espécies em cultivo.

Os inúmeros desenvolvimentos da biotecnologia marinha incluem a diversidade de amostras utilizadas como substrato, mas também as mais diversas aplicações que se tem dado aos produtos naturais marinhos. Além disso, muito se tem desenvolvido em sistemas de rastreio de bioatividade para vários alvos e aplicações. No entanto, é ainda baixa a eficiência das tecnologias de produção e processamento para obtenção do bioativo em média e larga escala, dadas as poucas infraestruturas disponíveis na Europa e baixo conhecimento prático das especificidades de cada sector de aplicação final, o que tem afectado o desenvolvimento da cadeia de valor. Em 2010 houve ainda a adoção do Protocolo de Nagoya e da CBD alargada a vários países Europeus, Portugal incluído, que regula o acesso a recursos genéticos e a partilha justa e equitativa dos benefícios que advêm da sua utilização. Por outro lado, houve ainda muito investimento na bioprospecção que gerou uma panóplia de coleções marinhas existentes e dispersas pelo país. Em suma, o sector da biotecnologia tem aumentado de forma lenta, mas constante nos últimos 10 anos, tendo o seu desenvolvimento começado a acelerar nos últimos 3 anos, em parte pelo enorme

estímulo Europeu a este sector, mas mais recentemente também pela aposta política nacional no mesmo e um estímulo grande ao empreendedorismo em geral. Hoje temos inovação nacional azul quer seja em novos agentes anti-incrustantes (*anti-fouling*) para a indústria naval e infraestruturas oceânicas, assim como novos materiais e têxteis derivados de subprodutos marinhos, ou ainda novos compostos bioativos marinhos para as indústrias alimentares, agrícolas, cosméticas, farmacêuticas ou biomédicas. No entanto, o número de empresas âncora em território nacional é praticamente nulo, e o número de novas *startups* azuis muito incipiente (< 30 no total) e limitado, quer por falta de incentivos nacionais dedicados ao empreendedorismo científico e sectorial, quer por falta de formação dedicada e especializada em empreendedorismo e inovação para estes cientistas.

No que se refere à biosfera profunda, nos últimos anos muito se tem investido em sistemas de exploração e robótica submarina até 6000 m de profundidade (como o ROV LUSO e outros) e têm também decorrido, a nível internacional, o mapeamento de 35 locais foco (*hotspots*) de biodiversidade atuais com tentativas de cartografia geofísicoquímica dos locais de interesse, mas esta catalogação está longe de estar terminada com muito ainda por descobrir e catalogar.

5.2.3 Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 5.2.1, indicam-se em baixo um conjunto de oportunidades e aplicações relevantes para os implementar.

Segurança alimentar, rastreabilidade/certificação de origem dos produtos da pesca e da aquacultura:

- Criar Propriedade Intelectual (PI) e comercializar tecnologias/*softwares* de monitorização e expansão geográfica para outros mercados.
- Criar PI e comercializar serviços de rastreabilidade, fornecer selo de DOC e serviços associados, através das metodologias de espetrometria de massa, microbiologia molecular e de identificação de códigos moleculares de DNA.
- Operacionalizar sistemas de alerta precoce de microalgas nocivas que permitam minimizar riscos dos investimentos privados em aquacultura.

Novas formas de cultura e produção, novas dietas, novos produtos alimentares e valorização de subprodutos:

- Promover a crescente automação das unidades de aquacultura, otimizando os processos produtivos e diminuindo o erro associado ao operador através das soluções de automação, de monitorização e decisão em tempo real.
- Criar IP e comercialização de tecnologias/*softwares* de automação, de monitorização e decisão.
- Otimizar custos associados à administração de alimento para a produção aquícola e diversificação da oferta de produtos da aquacultura para consumo humano e outras aplicações de valor acrescentado, nomeadamente com a formulação de co-produtos e apresentação sob forma inovadora.
- Desenvolver novos substratos e fórmulas alimentares, probióticos e prebióticos marinhos, e inclusão de algas na alimentação animal e humana.

Aquacultura em mar aberto e sistemas de recirculação:

- Desenvolver e aplicar novas tecnologias nas maternidades, pré-engorda e engorda para as novas espécies em aquacultura em mar aberto e em sistemas de recirculação;
- Adaptar as embarcações de apoio e as instalações portuárias à aquacultura em mar aberto. Considerar em particular a operação das embarcações na interface com as estruturas de aquacultura em condições de mar agitado.
- Aplicar materiais e tecnologias de construção resistentes à corrosão devido ao ambiente exposto em mar aberto e que se adequem às condições climáticas atuais e previstas para as próximas décadas.
- Aplicar novos modelos económicos que combinem a produção no sistema de recirculação em terra com engorda em mar aberto, principalmente para peixes de grande porte (corvina, lírio e atum), de forma a permitir um crescimento mais rápido dos juvenis, o encurtamento do período de crescimento no mar (potencialmente duplicando a produção dos locais marinhos existentes), redes de maior malhagem e maior resistência às condições de mar.

Biotecnologia azul:

- Criar uma Central/Banco de coleções marinhas nacionais (inventariado, políticas de acesso, gestão de banco central).
- Criar infraestrutura de base, e partilhada, para desenvolvimento de processos e produção de bioativos em média e larga escala (fermentadores, bioreatores, entre outros, e respetivas unidades de pós-processamento com tecnologias de separação, e deteção de compostos bioativos).
- Promover novas plataformas para rastreio de bioatividade e PI associada em aplicações com maior relevância nos mercados atuais (novos compostos bioativos para as indústrias alimentar, cosmética, saúde e farmacêutica, bioengenharia e medicina regenerativa, têxtil, papel, agrícola ou construção civil/naval, entre outros).
- Caracterizar e melhorar vias metabólicas em microalgas e afins, associadas à produção de metabolitos de elevado valor acrescentado – para eventual utilização como agentes antimicrobianos, antibióticos, antioxidantes e antitumorais.
- Estimular a inovação e o *proof of concept* em desenvolvimento pré-comercial de Produtos Naturais Marinhos (PNM) para novos mercados e nichos.
- Fomentar o desenvolvimento do conceito de biorefinaria, em média e larga escala, adaptando-o a uma vasta gama de outros mercados (alimentar, bebidas, veterinário, industrial/*pest control*, etc.) e comercializar produtos e serviços associados.
- Caracterizar e melhorar vias metabólicas em microalgas e afins, na base da formação de lípidos (para eventual produção de biodiesel) e de hidrogénio (para eventual produção de bio-hidrogénio) sob a égide dos combustíveis renováveis.
- Consolidar o centro de atividade nacional em biotecnologia azul e com riqueza de biodiversidade com potencial de mercado, levando a mais pedidos de licenças de exploração e recolhas.

Desafios tecnológicos e legais para mapeamento, exploração e valorização da biodiversidade (hot spots):

- Criar PI e comercializar/rentabilizar novos equipamentos desenvolvidos para o mapeamento, exploração e valorização da biodiversidade.
- Prestar serviços de rastreio de bioatividade em biomoléculas produzidas por organismos marinhos presentes noutros focos de biodiversidade internacionais.
- Desenvolver serviços associados ao fornecimento de mapas e dados biológicos, geológicos, físicos e químicos.
- Atribuir licenças para recolha de amostras e exploração sustentável de biorecursos nas águas e subsolo nacionais.

5.3 Energias marinhas

Neste subtema foram identificadas as energias renováveis oceânicas. O setor renovável em mar aberto agrega uma diversificada quantidade de recursos, tais como ondas, correntes de marés, vento, gradiente de salinidade e OTEC (Conversão de energia térmica do oceano), onde cada tecnologia possui as suas próprias necessidades e requisitos especiais de acordo com o seu TRL (Nível de Preparação de Tecnologia) e especificações tecnológicas. Em todo o sector, há uma enorme pressão para reduzir os custos de operação e manutenção, de forma a torná-lo mais atrativo quando comparado com outras tecnologias de produção de energia tradicionais. A Europa coloca-se como o maior investidor no setor de energia renovável mundial em que, para garantir o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, necessita que este investimento seja reforçado durante a próxima década.

5.3.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

O objetivo nacional¹¹ será consolidar a posição de Portugal como líder na área de energias renováveis em mar aberto, fomentando o desenvolvimento e teste de novas tecnologias, a criação de novas empresas e captação de investimento estrangeiro. O desafio passa por adequar estas energias à realidade nacional:

Sistemas de produção de energias renováveis marinhas adequadas para as características do litoral

Português: (a) Desenvolver e demonstrar plataformas inovadoras de produção de energia oceânica apropriadas para a exploração na costa Portuguesa. Para que estas plataformas sejam economicamente viáveis é necessário recorrer, por exemplo, a novos materiais, configurações e sistema de amarrações, adaptados às características físicas da margem atlântica portuguesa, que diminuam o custo médio de energia; (b) Desenvolver um sistema de energia oceânica pré-comercial entre 2023 e 2028 e atingir a

¹¹ Questão: inicialmente esta dimensão equacionava a exploração responsável de recursos não renováveis – manter ou não? Não tendo sido desenvolvidos a maioria dos textos necessários para esta componente, optou-se por retirá-la desta secção. No entanto, na secção 5.3.3. tinham sido elencados as seguintes oportunidades e aplicações relativamente à robótica submarina: (i) Desenvolver sistemas de controlo e supervisão que aumentem a autonomia dos sistemas de monitorização oceânica. (ii) Desenvolver sistemas de monitorização autónomos para águas profundas que sejam capazes de trabalhar em rede com outros sistemas de monitorização que estão incluídos num sistema de agregação e tratamento de informação (Big-data). (iii) Criar ambientes virtuais para a simulação, planeamento e operação de sistemas monitorização e exploração oceânica (Digital Twins). (iv) Desenvolver novas ferramentas/sensores para acoplar a plataformas de apoio/monitorização de operações em mar aberto. (v) Desenvolver sistemas tecnológicos para o estudo e exploração de recursos não vivos, incluindo plataformas submarinas autónomas equipadas com sensores para mapeamento de habitats marinhos e do subsolo marinho, bem como para avaliação do impacto no ambiente causado pelas possíveis atividades de exploração.

maturidade comercial, com atividade significativa em 2030; (c) Para o caso particular dos sistemas eólicos em mar aberto é necessário desenvolver plataformas inovadoras apropriadas para a sua utilização na plataforma continental Portuguesa, nomeadamente, o desenvolvimento de plataformas que sejam economicamente viáveis para a operação em águas profundas e que diminuam o custo médio de energia. Todos os sistemas apresentados acima terão de ser suportados por sistemas de apoio a testes ao protótipo, que pode ser integrado com outras áreas tecnológicas (e.g. aquacultura, pescas e monitorização ambiental), de forma a permitir a simulação das condições nominais de operação e a monitorização do desempenho do protótipo e das condições de teste.

5.3.2 Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos

Portugal tem um enorme potencial na exploração dos recursos de energia oceânica e conquistou a sua posição como líder mundial no setor de energia renovável marinha. Esta é uma consequência do esforço nacional e do investimento aplicado neste setor nos últimos 17 anos, onde a eletricidade produzida a partir de fontes renováveis aumentou de 3%, em 2000, para 27%, em 2012. Este aumento foi impulsionado principalmente pela penetração do eólico em terra no setor de energia renovável, juntamente com alguns sistemas de protótipos de energia de ondas e eólico em mar aberto. Portugal esteve na vanguarda do setor renovável marinho. Com a construção na ilha do Pico em 1999 do primeiro protótipo experimental de energia das ondas, de tipo de coluna de água oscilante com potência eléctrica instalada de 400 kW, abriu-se a porta para testar dispositivos de energia de ondas em outros territórios nacionais.

Atualmente, Portugal tem uma posição de destaque nas atividades de I&D em energia das ondas. Instituições nacionais públicas e privadas ocupam posições de liderança na Europa, estando entre as entidades mais significativas da Europa em termos da participação e liderança de projetos de I&D europeus (em Portugal houve o envolvimento de 43 projetos de I&D europeus, 24 nacionais e 4 projetos de teste de protótipos no mar).

5.3.3 Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Para implementar o desafio identificado na secção 5.3.1, indicam-se em baixo um conjunto de oportunidades e aplicações.

Sistemas de produção de energias renováveis marinhas adequadas para as características do litoral Português:

- Desenvolver sistemas de energia renovável marinhas para o fornecimento de energia eléctrica (podendo estar associada a outros sectores da economia do mar, como por exemplo, a aquacultura em mar aberto, sistemas de monitorização de zonas remotas, mineração, petróleo e gás);
- Desenvolver, construir, testar e demonstrar a viabilidade económica de novas plataformas eólicas flutuantes para águas profundas.

5.4 Tecnologias de suporte ao uso e gestão do Oceano

Muito embora o uso e gestão do Oceano abarque um conjunto alargado de temáticas, destacam-se nesta agenda três áreas de inovação e tecnologia: (a) a literacia do oceano e educação para o mar, (b) poluição marinha e (c) o transporte marítimo e construção naval.

A literacia do oceano e a educação para o mar são dois fatores essenciais para aproximar a sociedade ao meio marinho e às atividades marítimas, potenciando o desenvolvimento das profissões ligadas ao mar. Reconciliar os jovens com estas profissões, mostrar como podem ser gratificantes e altamente qualificadas é um desafio a ultrapassar para o desenvolvimento das ciências do mar e da economia azul. É certamente desejável mais consciência da cidadania numa nação marítima e ribeirinha.

A poluição do mar nas suas variadas formas, visível como no caso dos plásticos (micro e nano) ou invisível (produtos de higiene pessoal, fármacos e nanopartículas), impacta o ecossistema e pode ter efeitos nocivos na saúde humana. Para além de ser importante minimizar, importa perceber os impactos das pressões provenientes de terra e geradas no mar – incluindo a navegação - e sensibilizar os agentes geradores dessas pressões e a opinião pública para os impactos, de forma a mudar hábitos e a promover novas tecnologias e novas soluções.

5.4.1 Desafios e objetivos para Portugal até 2030

Os principais desafios de inovação e tecnologia nas áreas apresentadas são definidos de seguida.

- **Literacia do Oceano e educação para o Mar:** (a) Apostar na relação da sociedade com o oceano, desenvolvendo tecnologias da informação, de baixos custos e frequentes atualizações, que facilitem o aumento da literacia do oceano. (b) Inovar na forma como o país promove ações de sensibilização e de relacionamento dos jovens com o mar, a iniciar desde os primeiros anos de escolaridade, tendo em vista a formação adequada de todos os níveis de profissionais marítimos.
- **Poluição marinha:** (a) Inovar e desenvolver tecnologias para monitorizar e simular a trajetória e destino e os efeitos biológicos dos contaminantes emergentes incluindo o lixo marinho, nomeadamente plásticos, microplásticos e nanoplásticos, produtos de higiene pessoal, fármacos e nanopartículas, desde a sua origem, e o seu impacto sobre o ecossistema; detetar *hotspots* e avaliar a viabilidade de limpar os oceanos dessa poluição, desenvolvendo novas soluções e materiais a partir destes resíduos. (b) Implementar sistemas de monitorização da navegação e de avaliação do impacto da poluição atmosférica e de origem terrestre. (c) Desenvolver os sistemas de prevenção e mitigação do impacto desta poluição e de acidentes graves de poluição (e.g. de derrames).
- **Transporte marítimo e construção naval:** (a) Avaliar a sustentabilidade das atuais soluções tecnológicas para o transporte marítimo e promover o desenvolvimento de navios alternativos, menos poluentes, mais eficientes energeticamente, mais seguros e de maior resiliência a acidentes. (b) Promover um aumento da segurança marítima através da monitorização e controle ativo do tráfego na área portuguesa. (c) Promover soluções avançadas de manutenção condicionada e de exploração do tratamento de grandes volumes de dados (*big data*), incluindo uma maior interação entre os navios e os centros em terra. (d) Promover soluções em que o transporte marítimo de curta distância ofereça soluções menos poluentes e de maior eficiência energética do que o transporte rodoviário. (e) Promover soluções de transporte marítimo de passageiros que fomente o turismo nas zonas ribeirinhas. (f) Promover o desenvolvimento de conceitos inovadores para a náutica de recreio e de alta competição.

5.4.2 Principais desenvolvimentos tecnológicos nos últimos dez anos¹²

Portugal foi o primeiro país europeu a adotar um programa de literacia do oceano, em 2011. A Ciência Viva

¹² Nota: Falta introduzir texto relativo aos desenvolvimentos na “poluição marinha” e “transporte marítimo”.

liderou esse processo, que envolveu instituições científicas que trabalham na área das ciências do mar. Na sequência desse trabalho colaborativo, foi produzida uma matriz de apoio aos professores do Pré-Escolar, Básico e Secundário, onde estão identificadas as disciplinas e temas onde é possível abordar os princípios da literacia do oceano. Estes programas são suportados por documentos, apresentações presenciais e meios audiovisuais convencionais.

O relatório “Gestão do currículo: Ensino Experimental das Ciências — Relatório 2015”, publicado em 2017 pela Inspeção-Geral da Educação e da Ciência, refere a necessidade de mais trabalho pedagógico de base laboratorial, experimental e de campo e a capacitação de mais professores nesta área. O projeto europeu H2020 *Sea Change* identificou as mesmas lacunas, com o agravamento, no caso das ciências marinhas, da falta de oportunidades para saídas de mar e visitas de estudo. Apesar de tudo é significativo o número de escolas e professores que participam em projetos e iniciativas de promoção da literacia do oceano, mas a maioria dos programas educativos está centrada na biologia marinha, existindo um grande défice na área da oceanografia e de tecnologias marinhas como a robótica ou a construção naval. Os professores com conhecimentos tecnológicos estão pouco despertados para o meio marinho e os que participam em projetos de ciências do mar não têm em geral conhecimentos que lhes permitam abordar a tecnologia marinha com os seus alunos. É de esperar que a situação melhore porque a maioria das instituições científicas portuguesas e ONG que atuam na área do mar desenvolve projetos de extensão junto de escolas e do público em geral e colabora com a Ciência Viva e/ou com o programa educativo da DGPM do Ministério do Mar.

5.4.3 Oportunidades e aplicações para uma agenda de inovação

Tendo em conta os desafios e objetivos elencados na secção 5.4.1, indicam-se em baixo um conjunto de oportunidades e aplicações relevantes para os implementar.

Literacia do Oceano e educação para o Mar:

- Produzir documentos audiovisuais baseados em realidade virtual e em realidade aumentada, capazes de fornecer a explicação científica das observações do oceano, de permitir a realização de experiências virtuais ou de realizar jogos pedagógicos.
- Criar escolas marítimas no ensino básico e secundário e/ou incluir nas áreas de projeto o encontro dos alunos com as atividades marítimas em geral, mostrando aos adolescentes que o mar existe e pode ser a base de uma opção profissional credível.
- Continuar a garantir e promover o acesso a uma formação superior nas Ciências e Tecnologias do Mar.
- Inovar mar em disciplinas existentes, como por exemplo marinharia prática, modelismo naval, introdução à navegação através de cadeira de geografia, meteorologia, rudimentos de construção naval, entre outros.

Poluição marinha:

- Promover a criação de estações de monitorização da poluição atmosférica nas rotas ao longo da costa Ocidental e Algarvia, em colaboração com as autoridades portuárias e criar modelos de simulação da dispersão desta poluição.

- Avaliar o impacto da poluição de origem terrestre ao longo da costa Portuguesa e o seu impacto nos recursos biológicos.
- Promover a ligação da monitorização do tráfego marítimo com modelos de previsão da probabilidade de colisões e encalhe de navios, difundindo um alerta para os serviços de combate à poluição marinha.
- Identificar os processos de geração de lixo marinho, a sua trajetória e destino final no oceano e o seu impacto sobre os ecossistemas, e consequente desenvolvimento de estratégias de mitigação.
- Avaliar as possibilidades técnicas de recolha do lixo marinho, seu tratamento adequado, e potencial para a valorização, nomeadamente através do aumento das quantidades e tipos de plásticos reciclados e da inovação na produção de materiais para novos usos, na ótica da economia circular.

Transporte marítimo e construção naval:

- Desenvolver tecnologia para responder às necessidades impostas pela legislação e pelas convenções subscritas por Portugal (e.g. Convenção MARPOL).
- Desenvolver tecnologia para a construção de navios inovadores, incluindo os de controlo remoto e de tripulação reduzida.
- Promover conhecimentos avançados de eficiência energética e hidrodinâmica dos navios.
- Desenvolver tecnologia para melhorar a eficiência operacional dos navios
- Desenvolver tecnologia e soluções estruturais para aumentar a resistência de navios a colisões e encalhes.
- Desenvolver conceitos inovadores de embarcações de recreio e competição náutica.

5.5 Fatores críticos para o desenvolvimento futuro nas quatro dimensões identificadas

Os fatores críticos para o desenvolvimento com sucesso de uma agenda de inovação no Mar podem ser agrupados em três grandes temas: Instalações Piloto de teste e demonstração, disponibilidade de recursos humanos e necessidades financeiras.

Instalações piloto para teste e demonstração

A exploração comercial dos produtos da Inovação e por vezes a própria criação de mercado requerem a criação de protótipos e de programas de demonstração. Com efeito, a qualidade da investigação demonstra-se essencialmente através da publicação, mas a qualidade da inovação prova-se sobretudo pela demonstração e implementação em contexto pré-comercial.

Os protótipos devem ser instalados em zonas piloto (e.g. para aquacultura em mar aberto ou extração de energias marinhas) as quais devem ser objeto de monitorização intensa e de modelação operacional que deve gerar previsões que serão validadas com dados de monitorização e ajudará a extrapolar os resultados para outros ambientes, condição essencial para a sua comercialização.

As instalações piloto devem ainda ser acompanhadas por:

- Melhoria da capacidade de disseminação de resultados de I&D&I para aumento de visibilidade e credibilidade;
- Aumento da capacidade de gestão de dados;
- Acesso a dados e a modelos de monitorização de escala regional;
- Apoio ao desenvolvimento de sistemas 4.0 mais acessíveis financeiramente aos utilizadores.
- *Em específico para a aquacultura*
 - Validação de modelos de fluxos de massa para otimização de processos produtivos e maximização da retenção dos nutrientes fornecidos sob a forma de rações;
 - Validação do ciclo de vida associado aos modelos de produção em mar aberto e recirculados em terra;
 - Validação da cadeia de valor para produtos de aquacultura.
 - Validação da capacidade de sobrevivência das estruturas flutuantes de aquacultura em tempestades representativas da costa portuguesa.
 - Validação da capacidade de operação dos navios de apoio às instalações de mar aberto, nomeadamente da sua interação com as infraestruturas flutuantes.
- *Em específico para os recursos genéticos*
 - Implementação do Protocolo de Nagoya (sobre o acesso a recursos genéticos e a partilha justa e equitativa dos benefícios que advêm da sua utilização) a nível nacional e criação de *front office* único para licenciamento de amostragem e obtenção de amostras assim como de comercialização, e definição de condições de acesso e partilha de material genético.
 - Criação de banco nacional de colecções marinhas com catalogação adequada e acesso agilizado;
 - Desenvolvimento de infraestruturas nacionais (e até europeias), partilhadas e que podem prestar serviços comerciais, para rastreio, desenvolvimento de processos e produção de compostos bioativos em média e larga escala, com as respectivas unidades de pós-processamento.
- *Em específico para os recursos energéticos*
 - Desenvolvimento/reequipamento de laboratórios para a realização de testes à escala de forma a validar protótipos com baixo nível de TRL (ex. tanque de ondas e correntes).

Recursos humanos

Uma cultura de inovação implica a formação de recursos humanos com preparação técnica, científica e empresarial, através da cooperação entre universidades, institutos e empresas, para facilitar a adaptação dos *curricula* à realidade de um mercado em evolução muito rápida, onde o empreendedorismo tem

grandes oportunidades. No campo da literacia do Oceano, importa potenciar as competências de comunicação dos investigadores junto de professores e educadores das áreas mais viradas para tecnologias marinhas, para através destes chegar aos jovens e desenvolver vocações para a Ciências e Tecnologias do Mar.

É fundamental estimular a mobilização de equipas interdisciplinares para soluções de inovação, numa base colaborativa, que potencie a aceleração do desenvolvimento de cada disciplina através da exploração das interfaces com outras disciplinas. Também a promoção da cooperação entre sectores tradicionais e emergentes, e entre a academia e a indústria, tem um potencial de alavancar a economia do mar através da incorporação do conhecimento científico no desenvolvimento tecnológico.

Financiamento

O financiamento dos custos de proteção da PI e dos custos de transferência de tecnologia entre universidades e institutos e empresas, estimulando o desenvolvimento de investigação aplicada direcionada para o mercado, deve ser estimulado através do desenvolvimento de protótipos e de instalações piloto (referido acima) e da criação de institutos de interface entre instituições de investigação e empresas, que deverão gerir produtos pré-comerciais. Alguns destes financiamentos devem ser de longo prazo (na ordem da década), como sejam os sistemas de observação e modelação do Oceano.

Acrónimos

ADN – Ácido Desoxirribonucleico

AMP – Área Marinha Protegida

ASVs - Autonomous Surface Vehicle

AUVs - Autonomous Underwater Vehicle

BLUEMED – Iniciativa de investigação e inovação para promover a economia azul na bacia do Mediterrâneo através da cooperação

CBD - Convenção sobre a Diversidade Biológica

CNUDM - Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar

COSMO - Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental

CSM – Conta Satélite do Mar

DGPM – Direção-Geral de Política do Mar

DOC – Denominação de origem controlada

DQA - Diretiva-Quadro da Água

DQEM - Diretiva-Quadro Estratégia Marinha

EBSAS – Ecologic Biologic Significant Areas

EEA - Espaço Económico Europeu

EMBRC – European Marine Biological Research Centre

EMSO - European Multidisciplinary Seafloor and water-column Observatory

ENGIZC - Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira

ENM – Estratégia Nacional para o Mar

ENM – Estratégia Nacional para o Mar 2013-2017

GES - Good environmental status

GLOBEC - Global Ocean Ecosystem Dynamics

HAB - Harmful algal bloom

I&D – Investigação e Desenvolvimento

I&D&I – Investigação, Desenvolvimento e Inovação

I&I - Investigação e Inovação

IGBP - International Geosphere-Biosphere Programme

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission

IODP - International Ocean Discovery Program (2013-2023)

IODP - International Ocean Drilling Program (2003-2013)

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.

LBPOGEMN – Lei de Bases da Política de Ordenamento e Gestão do Espaço Marítimo Nacional

Litoral XXI - Plano de Ação para o Litoral

LO – Literacia do Oceano

MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios

MCTES – Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior

MSG - Satélite geostacionário Europeu Meteosat de Segunda Geração

NEAMTWS - Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration (dos Estados Unidos da América)

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU (ODS 13 - Ação Climática; ODS 14 - Proteger a Vida Marinha).

ONG – Organização Não Governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

OSPAR - Convenção de Oslo e Paris para a Proteção do Meio Marinho no Atlântico Nordeste

PAGES - Past Global Changes (projeto)

PI – Propriedade Intelectual

PIB - Produto Interno Bruto

PME - Pequena e Média Empresa

PNM – Produtos Naturais Marinhos

POC - Programas da Orla Costeira

POEM – Plano de Ordenamento do Espaço Marítimo

Protocolo de Nagóia - Protocolo sobre o acesso a recursos genéticos e a partilha justa e equitativa dos

benefícios que advêm da sua utilização

REACH - Registo, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas

ROV – Remotely Operated Vehicle

SNCT – Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia

SNIMAR - Sistema Nacional de Informação do Mar

SNMB - Sistema Nacional de Monitorização de Moluscos Bivalves

TRL - *Technology readiness levels*

UE - União Europeia

VAB - Valor Acrescentado Bruto



FUNDAÇÃO PARA A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA

AV. D CARLOS I, 126, 1249-074 LISBOA, PORTUGAL
T. [+351] 213 924 300

WWW.FCT.PT