

POSITION PAPER

O OCEANO COMO ESTRATÉGICA NACIONAL:

DA CAMPANHA À PERMANÊNCIA: OPERAR, PRODUZIR E PROTEGER NO MAR

Resultado da Iniciativa Bottom-Up AI² promovida pelo INESC TEC

Autores: Diana Viegas; Carlos Pinho; Rita Lopes; Rui Azevedo; Vasco Teles

30 de setembro de 2026

Enquadramento

Este *position paper* apresenta um contributo do INESC TEC para a iniciativa *bottom-up*, no âmbito da Avaliação Estratégica para a definição das prioridades nacionais de investigação e inovação (AI²). Reconhece a visão e os objetivos do exercício e destina-se a contribuir para a definição dos domínios estratégicos nacionais, reunindo contributos em torno de ciência e tecnologias oceânicas para operação persistente no Mar, transversal ao Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação.

Sumário Executivo

Portugal deve assumir as ciências e tecnologias do oceano como área estratégica nacional, com ação simultânea em investigação, infraestruturas, pessoas e mercado. Atualmente, **Portugal dispõe de uma das maiores áreas marítimas sob jurisdição da União Europeia¹ mas a economia azul vale apenas 4,3% do VAB nacional e 3,6% do emprego em 2023 e 2022 respetivamente.**² A distância entre geografia e economia é a medida da oportunidade, uma vez que **oceano é simultaneamente espaço de soberania, infraestrutura natural de resposta a desafios societais e mercado tecnológico emergente.** A missão deve ser dotar o país de capacidade científica, tecnológica e operacional para observar, compreender, valorizar e proteger o oceano de forma contínua, articulando investigação, infraestruturas, pessoas, dados e mercado.

Esta capacidade não serve um único setor, mas é transversal aos sectores maduros bem como aos emergentes: aos transportes e à logística portuária (*shipping*), à indústria da construção naval, à pesca, à exploração de recursos não vivos, à aquacultura, à energia *offshore*, à observação ambiental, à proteção de infraestruturas críticas, e à investigação científica. Esta capacidade constitui a **base tecnológica para transformar o oceano português num verdadeiro espaço vivo de qualificação, demonstração de competências tecnológicas para o mar e de valorização dessas mesmas capacidades.**

¹ OECD (2025), *Improving Policy Coherence for Portugal's Ocean Economy – A Strategic Plan for Natural Resources, Safety and Maritime Services*, OECD Publishing, Paris.

² INE, Conta Satélite do Mar 2020/2023

O crescimento global da economia do oceano concentrou-se, nas últimas décadas, na região Ásia-Pacífico e passou ao lado da Europa, por desinvestimento em conhecimento e tecnologia e não por falta de recursos³. Os mercados emergentes relacionados com a economia do mar ainda não têm posições distribuídas e Portugal pode ainda ter uma vantagem competitiva se houver investimento estratégico. Há uma capacidade que serve todos esses mercados, sejam consolidados ou emergentes: operar de forma persistente no mar, com sistemas autónomos residentes. Este é o núcleo comum à energia *offshore*, à aquacultura, à observação ambiental e à proteção de infraestruturas críticas, mas também à logística e à forma como se faz e fará a construção naval no futuro. O bloqueio não está na ciência, mas na qualificação das soluções em ambiente real e na escassez de “engenheiros do mar” tal como referido no relatório da OCDE³. O desafio que se coloca é o reconhecimento como uma prioridade nacional, com um programa dedicado e articulado nas quatro dimensões (investigação, infraestruturas, pessoas e mercado).

Mensagem-chave

A proposta consubstancia-se na construção de uma capacidade, em concreto a de operar no Mar de forma permanente. Portugal tem a jurisdição, tem as infraestruturas de ensaio e tem ciência do mar reconhecida internacionalmente; falta-lhe engenharia à escala, pessoas em número suficiente e procura que converta uma coisa na outra. As quatro frentes propostas, que a seguir se detalham, — investigação, infraestruturas, formação e mercado — só produzem resultado em conjunto, e é dessa combinação, mais do que de qualquer uma delas isoladamente, que se considera essencial na estruturação da AI². A decisão de fundo enuncia-se de forma simples, mas estruturante: **se o Mar continua a ser para Portugal uma circunstância geográfica, ou se passa a ser verdadeiramente uma capacidade.**

1. A área e a sua ambição

Com uma posição geoestratégica ímpar, Portugal é o maior Estado costeiro da União Europeia (EU) em extensão marítima sob a sua jurisdição. A Zona Económica Exclusiva (ZEE) ronda os 1,7 milhões de km² e a proposta de extensão da plataforma continental em apreciação nas Nações Unidas colocará, se reconhecida, cerca de 3,88 milhões de km² de fundo marinho sob direitos de soberania nacional para efeitos de exploração de recursos¹. Apesar da escala da nossa ZEE, ela representa apenas 4,3% do valor acrescentado bruto (VAB) nacional², e é neste desencontro entre a dimensão de área e a dimensão económica que reside a questão estratégica a resolver deste domínio. Uma grande jurisdição marítima não constitui apenas uma oportunidade económica, tem implicações de soberania, traz consigo a responsabilidade de observar, compreender, proteger, operar e desafia-nos a exercer a nossa capacidade tecnológica sobre esse espaço. Dadas características demográficas e económicas do país, esta questão não se resolve por decreto nem pela publicação de uma estratégia, uma vez que o obstáculo é físico e infraestrutural antes de ser económico: instalar e manter energia *offshore*, produzir alimento, monitorizar

³ OECD (2025), *The Ocean Economy to 2050*, OECD Publishing, Paris.

ecossistemas ou vigiar infraestruturas submarinas, garantir transportes marítimos e portos sustentáveis depende, tudo, de manter presença continuada num ambiente hostil — que ao dia de hoje se consegue à custa de meios tripulados dispendiosos, arriscados e intermitentes. É a mesma limitação que trava o mar produtivo e o mar protegido, e por isso os dois objetivos não estão em oposição, mas dependem um do outro: um mar que se explora sem se conseguir observar em permanência é um mar que não se consegue proteger, e um mar que não se consegue proteger acabará por não se poder explorar.

A dificuldade tecnológica do oceano decorre de três condições estruturais: vastidão, profundidade e severidade ambiental. Na prática, estas três condições traduzem-se, por exemplo: i) na necessidade de sistemas capazes de operar durante longos períodos sem apoio humano ou navio de suporte, ii) em comunicar e navegar em profundidade sem GPS ou comunicações convencionais, e iii) em manter sensores, estruturas e sistemas de energia funcionais em ambiente hostil, corrosivo, sujeito ao biofouling, à pressão e à agitação marítima.

1.1. Proposição e ambição

Propõe-se que Portugal construa a capacidade de operar de forma permanente no oceano e a use para ocupar posição nos mercados que dela dependem. É uma aposta nacional porque o país reúne, ao mesmo tempo, um ambiente de qualificação exigente, uma localização geoestratégica e um potencial de crescimento da economia azul associado tanto à expansão de atividades marítimas tradicionais como ao desenvolvimento de novos setores, nomeadamente as energias renováveis *offshore*, a aquicultura e os serviços marítimos¹.

A ambição a dez anos consiste, precisamente, em ultrapassar esse obstáculo. Até 2036, Portugal deverá ter transitado da operação oceânica baseada em campanhas para uma presença tecnológica permanente: uma rede distribuída de **infraestruturas oceânicas residentes e persistentes** com sistemas autónomos permanentes e plataformas de observação e intervenção, operadas a partir de terra, suportadas por comunicações persistentes e multi-ambiente (água - ar), com autonomia energética, capacidade de decisão embebida e suportada por gémeos digitais, sem exposição de pessoas aos ambientes hostis do mar.

Essa capacidade não é um fim em si — é sim, o que torna economicamente viável aquilo que hoje não é, e por isso deverá traduzir-se num tecido empresarial nacional capaz de fornecer soluções de operação e manutenção às energias *offshore* e serviços de inspeção e proteção de infraestruturas submarinas, entre outras atividades que hoje são maioritariamente importadas. Deverá igualmente sustentar um sistema nacional de observação com dados abertos e interoperáveis, capaz de suportar decisões de licenciamento e ordenamento, e de tornar mensurável, o impacto ambiental das atividades no mar — que é o que impede, hoje, que a proteção seja verificável em vez de declarada.

Há duas condições fundamentais para que se atinjam os resultados ambicionados. A primeira é o ambiente onde a tecnologia se qualifica: o Atlântico (Norte) deverá ser reconhecido como um laboratório

vivo de referência europeia para as tecnologias oceânicas, oferecendo um percurso integrado e previsível de qualificação tecnológica, do laboratório e das infraestruturas de ensaio controlado ao porto e ao mar aberto. Para isso, não basta dispor de zonas e infraestruturas de teste: é necessário assegurar a sua contínua operacionalidade, condições de acesso conhecidas e acessíveis, processos de autorização previsíveis e serviços técnicos e logísticos adequados ao apoio ao desenvolvimento e demonstração. A vantagem nacional não está em afirmar que possui um dos oceanos mais severos da Europa, mas em conseguir explorar as condições adversas da profundidade e da agitação próximas à costa, assim como os portos, as infraestruturas experimentais e o acesso ao mar aberto como um espaço de aperfeiçoamento acessível. Um percurso que permita apoiar o contínuo aumento de maturidade e complexidade; nascendo em laboratório, ensaiado num tanque/bacia oceânica, testado num porto e, por fim, demonstrado em mar aberto. Reunindo as condições para o desenvolvimento/aperfeiçoamento tecnológico e *de-risking*, deverá ser possível obter resultados com desempenhos mensuráveis e suficientemente robustos para competir nos mercados internacionais. A segunda condição são as pessoas, sem as quais as infraestruturas não geram o valor para que foram criadas, nem a indústria encontra as competências de que necessita: engenheiros e técnicos especializados para o mar, com uma oferta formativa dimensionada em função da procura previsível de competências e não apenas da capacidade instalada do sistema académico.

Para que a trajetória seja verificável, e não apenas declarada, **propõem-se marcos intermédios** em 2030: 1-2 sistemas autónomos em operação continuada superior a 6 meses, para avaliação de monitorização de impacto ambiental em mar profundo; 1 a 2 sistemas autónomos em operação persistente para inspeção de infraestruturas críticas subaquáticas; o primeiro contrato comercial de operação e manutenção de eólica flutuante executado por consórcio nacional, em Portugal ou noutro mercado Europeu; 20 doutorados por ano em ciências e tecnologias do oceano domínio e 30 engenheiros de sistemas e técnicos especializados formados por ano; uma rede nacional de qualificação em mar real com operador identificado e condições de acesso e preços publicados até 2029, recebendo pelo menos 2 campanhas anuais de clientes externos ao sistema científico, 20% das quais internacionais; participação nacional ativa nos comités de normalização relevantes (IEC TC 114, ISO/TC 8); e um sistema de observação em operação com variáveis oceânicas essenciais publicadas em acesso aberto e integradas nos sistemas europeus (EMODnet, Copernicus Marine).

1.2. Contributo para domínio estratégico

O mar é um domínio por si só e não um ambiente no qual se aplicam capacidades transversais já reconhecidas, nomeadamente robótica, inteligência artificial, sensores, etc. O oceano não é um contexto de aplicação, é um regime físico que impõe ciência própria. Debaixo de água não há GPS nem rádio, a comunicação é acústica e de largura de banda ínfima, a energia não se repõe facilmente, os materiais corroem e as superfícies colonizam-se biologicamente em semanas. **Nenhum destes problemas se**

resolve pela simples transposição de soluções terrestres, e é a sua conjugação que define uma área de conhecimento distinta.

A dimensão da jurisdição marítima portuguesa não tem paralelo na UE, o que torna esta capacidade relevante tanto para a prosperidade (energia *offshore*, alimento, recursos, serviços, soberania e segurança), como para a resiliência, num contexto em que a segurança e resiliência dos cabos submarinos e de outras infraestruturas marítimas críticas assumiram uma importância estratégica na Europa e no mundo⁴, sendo Portugal um dos principais pontos de amarração de cabos submarinos que ligam a Europa às Américas e a África. Acresce ainda que a economia global do oceano duplicou em 25 anos, mas mais de três quartos desse crescimento ocorreu na Ásia-Pacífico, com a Europa a crescer mais devagar por razões que a OCDE atribui à produtividade estagnada e à lentidão da digitalização⁵. O potencial de crescimento existe; o que falta à Europa, e a Portugal, é a tecnologia para o capturar: é essa tecnologia que este domínio se propõe construir e aplicar.

A aposta está alinhada com a Estratégia Nacional para o Mar 2021–2030 e com o Pacto Europeu para o Oceano, adotado em 2025, cuja iniciativa de observação OceanEye, lançada em 2026 e prevista para estar plenamente operacional em 2030, assenta precisamente em plataformas autónomas e em sistemas de dados integrados⁵. O horizonte europeu coincide com os marcos aqui propostos: em 2030, Portugal poderá ser um dos nós atlânticos desse sistema ou apenas fornecedor de dados a sistemas operados por terceiros.

No que diz respeito à capacidade instalada, Portugal detém hoje o *continuum* de infraestruturas que permite levar um sistema do tanque ao mar aberto ligado à rede elétrica, e equipas com produção científica reconhecida internacionalmente em energia *offshore*, robótica marinha e observação oceânica, atestados pelas publicações científicas, volume financiamento europeu captado nestas áreas e participação em iniciativas europeias de relevância na área, nomeadamente ERIC/ESFRI. Dois sinais externos confirmam-no: a seleção do INESC TEC.OCEAN como Centro de Excelência do programa Teaming for Excellence do Horizonte Europa, com a SINTEF Ocean como parceiro avançado, a APDL e o Fórum Oceano, e um investimento superior a 30 M€ entre 2025 e 2030⁶; e a realização em Portugal do REPMUS, exercício organizado pela Marinha, pela FEUP e pelo CMRE da NATO que, em 2026, reuniu 36 marinhas e mais de 300 sistemas não tripulados⁷. Mas essas competências estão distribuídas por várias instituições,

⁴ European Commission and High Representative of the Union for Foreign Affairs and Security Policy, *Joint Communication to the European Parliament and the Council – EU Action Plan on Cable Security*, JOIN(2025) 9 final, Brussels, 21 February 2025.

<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/joint-communication-strengthen-security-and-resilience-submarine-cables>

⁵ Comissão Europeia, The European Ocean Pact, COM(2025) 281 final; Comissão Europeia, «EU launches OceanEye and calls for global alliance on ocean observation», Maritime Forum, 16 de março de 2026 (https://maritime-forum.ec.europa.eu/news/eu-launches-oceaneye-and-calls-global-alliance-ocean-observation-2026-03-16_en).

⁶ INESC TEC.OCEAN – Centre of Excellence in Ocean Research and Engineering, Horizonte Europa, HORIZON-WIDERA-2023-ACCESS-01-01 (Teaming for Excellence), contrato n.º 101136903, 2025–2030; (<https://inesctecoccean.pt/>; <https://cordis.europa.eu/project/id/101136903>).

⁷ Exercício REPMUS 2026, Troia e Sesimbra, 31 de agosto a 25 de setembro de 2026, organizado pela Marinha Portuguesa, pela FEUP e pelo NATO CMRE. (<https://www.marinha.pt/pt/media-center/Noticias/Paginas/repmus-2026-portugal-volta-a-receber-o-maior-exercicio-de-experimentacao-robotica-e-de-veiculos-nao-tripulados-do-mundo.aspx>)

com articulação insuficiente e sem uma cadeia industrial que as absorva. **Há massa crítica e ativos relevantes, mas ainda não há uma capacidade nacional articulada e com escala. É uma trajetória credível, não uma consolidação adquirida.**

A razão pela qual essa massa crítica ainda não se traduziu numa capacidade nacional consolidada é identificável e resulta de duas falhas principais. A primeira é de **mercado**: entre o protótipo validado em laboratório e um sistema demonstrado e qualificado para operar por meses em mar real existe uma fase de elevado custo e risco, com ciclos de teste longos e benefícios que frequentemente ultrapassam a entidade que suporta o investimento, aproveitando todo o sector. O incentivo privado para financiar isoladamente esta fase é, por isso, limitado e arriscado, sobretudo antes de existir uma procura comercial suficientemente previsível.

A segunda é de **coordenação**: as capacidades de investigação, as infraestruturas de teste e demonstração, a formação, os instrumentos de financiamento, os processos administrativos e a procura pública e privada são ainda articuladas de forma insuficiente. A OCDE identificou, igualmente, para Portugal lacunas na articulação das políticas públicas do mar e recomendou reforçar a capacidade analítica, modernizar os sistemas digitais, agilizar os processos administrativos e fortalecer os recursos humanos especializados¹.

A experiência histórica demonstra ainda que a liderança científica e tecnológica não emerge apenas da excelência de investigadores ou empresas isoladamente. Necessita de instituições, de infraestruturas, de regras/metodologias, de formação e da procura, atuando de forma coerente, continuada e integrada. No oceano, onde os ciclos de qualificação são longos e os custos de experimentação elevados, essa arquitetura é particularmente crítica.

Nesta fase, e porque a ambição deste domínio é grande, a médio-prazo a estratégia deverá passar por concentrar esforços na operação persistente e nas suas aplicações. Não se propõe apoiar a economia do mar, que é vasta e heterogénea, mas sim desenvolver uma capacidade fundamental, como é **a operação de forma persistente em ambiente oceânico** — que é o denominador comum de vários mercados, sem se confundir com nenhum deles. A escolha faz-se ao nível da capacidade e não do setor, o que permite decidir com precisão: financia-se a autonomia energética e de decisão nos sistemas submersos, a comunicação e navegação sem GPS nem rádio, a integridade dos materiais e estruturas em ambiente corrosivo, a interpretação automática de dados oceânicos, etc. Ficam de fora a construção naval tradicional em série, o fabrico de grandes componentes e a exploração de recursos minerais e hidrocarbonetos — não por juízo sobre o seu mérito, mas porque nenhuma delas depende da capacidade que aqui se propõe construir, nem contribui diretamente para a consolidar.

Tem havido diversas iniciativas e projetos onde o financiamento tem sido modestamente assegurado para consolidar este domínio. No entanto, todos estes instrumentos têm sido atribuídos por concurso a iniciativas individuais e com termo definido o que **não permite um crescimento sustentado do domínio**, não por falta de capacidade das equipas, mas por não existir um financiamento de base para um domínio

onde se quer criar competitividade à escala global. Contudo, nenhum dos instrumentos, por si, garante que a infraestrutura construída continue operacional após a execução do investimento, que as equipas formadas se fixem ou que a formação avançada seja dimensionada pela procura industrial, em vez da oferta académica. A vantagem de reconhecer este domínio como prioridade nacional está, portanto, em dois pontos que hoje nenhum instrumento assegura: continuidade além do horizonte de cada programa, e decisão articulada entre investigação, infraestruturas, pessoas e procura, que atualmente são determinadas em circuitos separados e sem referência mútua. Sem essa articulação, o desfecho previsível não é a ausência de resultados, mas o seu desperdício — infraestruturas subutilizadas depois de construídas e pessoas formadas que emigram para onde há procura.

1.3. Definição e fronteiras

A área do Oceano compreende a ciência, a engenharia e as tecnologias que tornam possível observar, operar, produzir e proteger no oceano: sistemas robóticos autónomos e a sua autonomia energética e decisória, sensorização e instrumentação marinha, navegação e comunicação em meio onde não há GPS nem rádio, estruturas, materiais e amarrações para ambiente marinho, e a modelação e os gémeos digitais que permitem operar tudo isto a partir de terra. O que os une não é o tema, é o regime físico: são tecnologias cujo desenho é determinado pelo facto de operarem submersas, longe, sem manutenção próxima e num meio que corrói, colmata e absorve sinal.

A fronteira deste domínio não é temática, mas funcional: integra as tecnologias necessárias para operar no oceano de forma persistente, autónoma e verificável. Inclui também o ciclo tecnológico dos dados oceânicos (aquisição, validação, curadoria, interoperabilidade, modelação e apoio à decisão) sempre que esse ciclo seja parte integrante da operação tecnológica no mar.

A área do oceano engloba, no âmbito das ciências do mar, a biologia e a biotecnologia marinhas, a ecologia, a avaliação de recursos marinhos e a modelação climática, que constituem comunidades com agendas específicas, nas quais, a relação é de fornecimento e não de sobreposição: a abordagem neste documento sobre oceano produz os instrumentos, as plataformas e os dados de que precisam, e delas recebe as perguntas que orientam o desenvolvimento tecnológico. A regra de fronteira que daí decorre aplica-se a qualquer caso ambíguo: quando o objeto da investigação é o sistema de engenharia que opera no mar, pertence aqui; quando é o organismo, o recurso, o serviço ou a política que esse sistema serve, pertence ao vizinho. Uma campanha de amostragem de biodiversidade em fundo profundo é ciência marinha; o veículo autónomo que a executa sem navio de apoio é deste domínio.

A mesma regra articula este domínio com os demais propostos nesta iniciativa, e a articulação é de especialização e não de concorrência. Com as tecnologias digitais críticas, não se reivindicam os métodos de robótica, inteligência artificial ou comunicações, que são transversais, mas os problemas que só existem quando o sistema decide sozinho durante meses, sem ligação, sem GPS, com energia finita e sem possibilidade de resgate. Com a transição energética, as metas de capacidade e a integração em rede articulam-se com as estruturas flutuantes, as amarrações e a operação e a manutenção em mar aberto.

Com a resiliência e a segurança, a avaliação de ameaças e a resposta institucional articulam-se com a capacidade de observar e detetar em ambiente submarino. E o mesmo padrão é válido para a aquacultura, a navegação autónoma e a descarbonização portuária: o propósito é partilhado, a capacidade de executar no mar é o que aqui se constrói. O que torna esta articulação possível sem sobreposição é que o meio impõe ciência própria — a corrosão galvânica de estruturas em água salgada, a colmatção biológica de superfícies e sensores, a fadiga sob carga cíclica de ondulação ou a propagação acústica em coluna de água estratificada não são casos particulares de disciplinas terrestres, mas corpos de conhecimento com métodos, ensaios e soluções que não existem fora do mar. Ficam, ainda assim, expressamente fora do perímetro deste domínio a construção naval tradicional em série, o fabrico de grandes componentes, a mineração de mar profundo e a exploração de hidrocarbonetos.

Quanto às tecnologias críticas mobilizadas, são, em larga medida, as que a UE já identificou como estratégicas: robótica e sistemas autónomos, inteligência artificial embarcada, sensores e fotónica, comunicações acústicas e óticas, materiais avançados, conversão e armazenamento de energia, gémeos digitais, cibersegurança de sistemas ciberfísicos distribuídos, nenhuma das quais é exclusiva do mar. O que é exclusivo é a **sua integração sob restrições que nenhum outro ambiente impõe simultaneamente. É essa integração, e não cada tecnologia isoladamente, que constitui a capacidade que aqui se propõe construir.**

2. Prioridades e desafios a dez anos

As prioridades propostas partilham um núcleo comum: todas respondem à impossibilidade de manter presença continuada no oceano, e é por isso que constituem um programa e não uma lista.

São cinco as prioridades principais identificadas — i) a autonomia e a operação persistente; ii) a perceção, comunicação e navegação em meio subaquático; iii) as estruturas, materiais e integridade para a permanência no mar; iv) os sistemas de energia *offshore* e alimentação dos sistemas oceânicos persistentes; e v) a observação, dados, modelos e gémeos digitais. As capacidades que delas resultam servem vários sectores de aplicação, desde a energia *offshore* e a produção de alimentos no mar até à observação ambiental e à proteção das infraestruturas submarinas de que as sociedades modernas dependem, entre outros.

Nenhuma destas prioridades é exclusivamente aplicada. Todas encerram questões científicas ainda em aberto e exigem investigação fundamental, mas o desafio não termina aí. A dificuldade está em assegurar o *continuum* entre produção de conhecimento, o desenvolvimento e integração tecnológica, a demonstração e qualificação em condições reais e, finalmente, a adoção por utilizadores públicos e privados. É precisamente ao longo desta cadeia que hoje se perde parte do valor gerado, seja por falta de continuidade no financiamento adequado às diferentes fases, infraestruturas de demonstração funcionais e acessíveis, competências de integração, procura previsível, capacidade de absorção ou condições regulatórias.

2.1. Ponto de partida de Portugal

Portugal apresenta, atualmente, um desequilíbrio entre o que sabe sobre o mar e o que sabe construir para operar nele e o valorizar. As “ciências do mar” nacionais estão consolidadas e reconhecidas internacionalmente: existe produção científica de qualidade em biologia e biotecnologia marinha, ecologia, oceanografia e avaliação de recursos, distribuída por laboratórios do Estado, centros de investigação associados a universidades no litoral norte, centro, sul e nas regiões autónomas, e por estruturas de articulação entre ciência, indústria e política pública criadas na última década⁸. Existe uma capacidade real, com massa crítica, e é dela que vêm as perguntas que orientam o desenvolvimento tecnológico.

Existe igualmente capacidade operacional de aplicação. Entidades da administração pública realizam levantamentos hidrográficos e oceanográficos sistemáticos, operam redes de monitorização e mantêm serviços públicos que dependem de tecnologia do mar em funcionamento contínuo. Essa capacidade é sólida, mas é de utilização, e não de desenvolvimento: aplica a instrumentação comercialmente existente, maioritariamente adquirida no exterior, em vez de conceber nova e de apoiar a inovação nacional. Do ponto de vista deste domínio, representa uma procura qualificada — exigente, informada e com problemas reais — e não oferta tecnológica.

Uma das principais fragilidades portuguesa não está na ausência de conhecimento, mas na descontinuidade entre conhecimento, tecnologia qualificada e implementação. Existem competências reconhecidas internacionalmente em robótica marinha, acústica submarina, sensorização, energia *offshore* e sistemas autónomos, mas permanecem concentradas num número reduzido de organizações e insuficientemente ligadas a mecanismos de demonstração, integração e adoção capazes de levar os resultados até ao mercado. A consequência é estrutural e explica boa parte do diagnóstico: não é por falta de conhecimento que Portugal não tem cadeia industrial no mar, é porque o sistema que produz esse conhecimento não está desenhado para criar, testar, demonstrar, investir e explorar com escala.

As peças existem e são identificáveis. O TEC4SEA⁹ disponibiliza meios de teste e validação para tecnologias marinhas, e a Rede Hub Azul¹⁰, criada na Componente Mar do Plano de Recuperação e Resiliência, reforça por sete polos — de Leixões e Ílhavo a Peniche, Oeiras e Olhão — capacidades de investigação, prototipagem e apoio empresarial, incluindo tanques para ensaio de robótica submarina e instrumentação oceanográfica, e integra uma escola dedicada à formação técnica superior para o setor.

⁸ Entre as instituições do sistema nacional com atividade regular no domínio contam-se o IPMA, o Instituto Hidrográfico, o CIIMAR, o CCMAR, o CoLAB B2E, o INESC TEC, o ISR-Lisboa/IST, o CINTAL, o +ATLANTIC CoLAB, Sustemare e unidades de investigação de várias instituições de ensino superior entre as quais o ISEP e as universidades de Aveiro, do Porto, de Lisboa, do Algarve, dos Açores e da Madeira.

⁹ TEC4SEA (<https://tec4sea.com/>)

¹⁰ Hub Azul — Rede de Infraestruturas para a Economia Azul, investimento TC-C10-i01, Plano de Recuperação e Resiliência (<https://hubazul.pt/>)

Em Leixões, uma bacia oceânica em ambiente portuário¹¹, a maior da Península Ibérica, permite ensaiar à escala em condições controladas de agitação e profundidade — o degrau que liga o laboratório ao mar aberto e que até aqui obrigava a recorrer a instalações estrangeiras. Para ensaio em mar aberto, o ordenamento do espaço marítimo afeta duas áreas a projetos não comerciais de investigação e demonstração em energias renováveis *offshore*: i) na Aguçadoura, onde já foram demonstradas tecnologias de eólica flutuante e de energia das ondas com ligação à rede elétrica nacional e onde se instala um laboratório de energia *offshore*, e ii) uma Zona Livre Tecnológica ao largo de Viana do Castelo¹². A Marinha opera ainda a Zona Livre Tecnológica Infante D. Henrique, a partir de Troia, para ensaio operacional de sistemas não tripulados¹³. Do lado da observação, o Instituto Hidrográfico mantém o sistema MONIZEE, com boias, marégrafos e radares costeiros no continente e nas regiões autónomas¹⁴, e o EMSO-PT coordena a participação nacional no observatório europeu de fundo marinho, com o nó da Margem Ibérica liderado pelo IPMA e o nó dos Açores gerido por uma instituição estrangeira — o que ilustra a distância entre ter o recurso no território e ter a capacidade de o operar¹⁵.

O contraste faz-se com a infraestrutura, que é o ponto objetivamente forte do ponto de partida. **Portugal dispõe hoje de um *continuum* de capacidade de testes que poucos países reúnem:** infraestrutura nacional de investigação dedicada a tecnologias marinhas, uma bacia oceânica de grande dimensão em ambiente portuário, um local de testes em mar aberto ligado à rede elétrica nacional onde já foram demonstradas tecnologias de eólica flutuante e de energia das ondas, um laboratório de energia *offshore* em instalação, e um navio de investigação capaz de operar em ambiente oceânico. Esta capacidade infraestruturas do país permite, em princípio, levar um sistema do tanque ao mar real sem sair do país — capacidade que as regiões atlânticas europeias possuem em grau excecional sem estarem plenamente integradas nas cadeias de valor do setor.

As lacunas são identificáveis nas seguintes dimensões:

- A **infraestrutura** nacional instalada foi financiada como investimento e não como operação, pelo que a capacidade existe fisicamente e permanece subutilizada.
- A **procura** permanece insuficientemente estruturada e previsível. Não existe procura pública estruturada em tecnologias do mar, e a procura privada depende de leilões de eólica *offshore* cujo calendário tem vindo a ser adiado.

¹¹ <https://hubazul.pt/leixoes-i/>

¹² DGEG / Plano de Situação do Ordenamento do Espaço Marítimo; Plano de Afetação para as Energias Renováveis *Offshore*, RCM n.º 19/2025, de 7 de fevereiro; Decreto-Lei n.º 5/2008, de 8 de janeiro.

¹³ Zona Livre Tecnológica Infante D. Henrique, Centro de Experimentação Operacional da Marinha. Port n.º 189/2022, de 25 de julho

¹⁴ Instituto Hidrográfico, sistema MONIZEE. (<https://www.hidrografico.pt/atividade/monizee-sistema-de-monitorizacao-e-previsao-operacional-da-zee-portuguesa/>)

¹⁵ EMSO-PT, Roteiro Nacional de Infraestruturas de Investigação (<https://emso-pt.pt/>); EMSO-ERIC (<https://emso.eu/observatories/>).

- Faltam **competências de integração** — não investigadores, que o país forma, mas engenheiros de sistemas capazes de levar um protótipo à operação qualificada, perfil que o mercado nacional não retém.
- O **licenciamento** de atividades no mar continua a ser barreira reconhecida, com prazos e sobreposição de competências que desencorajam a demonstração; os enquadramentos regulatórios experimentais em desenvolvimento a nível regional são, nesse contexto, o contra-exemplo útil do que uma abordagem diferente permite.

O desafio deixou, por isso, de ser apenas construir ativos para passar a transformá-los numa infraestrutura nacional integrada, permanentemente operacional, capaz de criar valor, com acesso previsível e capacidade para prestar serviços de qualificação a clientes científicos e industriais. **As parcerias internacionais e as parcerias científicas ancoradas com indústria permanente tornam-se fulcrais para o desenvolvimento da infraestrutura nacional integrada.**

2.2. Posições portuguesas a avaliar

A posição portuguesa neste domínio decorre de uma circunstância física que não é transferível. Ao largo da costa portuguesa, a profundidade aumenta rapidamente a poucas milhas de terra, a ondulação é energética durante grande parte do ano e a exposição oceânica é aberta. Não é o mar mais severo da Europa, e nada se ganha em afirmá-lo, mas é um dos poucos lugares onde profundidade, agitação e proximidade à terra coexistem — o que permite ensaiar em condições reais sem o custo e a logística de uma campanha em mar afastado. Sobre esta circunstância podem construir-se três posições distintas, e convém tratá-las separadamente porque exigem decisões diferentes.

A primeira, e a mais próxima de ser abordada no imediato, é a de **posicionamento onde a tecnologia oceânica europeia se qualifica**. Portugal reúne o encadeamento de infraestruturas que leva um sistema do tanque ao mar real sem mudar de país, e fá-lo com ligação à rede elétrica e em condições que abrangem desde água abrigada até mar aberto. A posição não é a de produzir a tecnologia de terceiros, mas a de prestar o serviço que a torna certificável: ensaio, demonstração, medição, qualificação. É uma posição de serviço, com procura europeia existente, que depende menos de investimento adicional do que de financiamento de operação e de reconhecimento externo — e é a que melhor aproveita ativos já pagos.

A segunda **posição é a de desenvolvimento e integração de tecnologias para operação persistente no oceano**, sobretudo em robótica marinha, acústica submarina e sistemas autónomos, e autonomia energética. Portugal dispõe aqui de competências científicas e tecnológicas com histórico relevante. Existe também uma necessidade operacional crescente em diferentes mercados oceânicos, embora a procura e os modelos de aquisição permaneçam ainda pouco maduros. É uma posição com elevado potencial de criação de valor, mas também de maior risco: transformar competências dispersas em

soluções qualificadas e sustentáveis exige integração de sistemas, ciclos longos de demonstração, capacidade de industrialização e parceiros capazes de levar essas soluções ao mercado.

A terceira é a de **prestação de serviços à energia offshore flutuante, ou outros mercados de estruturas marítimas flutuantes**, em particular na instalação, inspeção e manutenção. É a única das três com comprador identificável e calendário datável, e assenta em tecido empresarial que já existe: empresas de metalomecânica e construção metálica, de operações marítimas e mergulho, de náutica, de instrumentação e de serviços de engenharia, que hoje trabalham noutros segmentos e cujos desafios são reconhecidamente os mesmos — falta de conhecimento estruturado sobre o comportamento de sistemas em ambiente oceânico, ausência de referências de qualificação e dificuldade em aceder a cadeias de fornecimento internacionais já constituídas. É uma posição de conversão mais do que de criação, o que a torna a mais rápida e também a mais dependente de fatores externos, já que o calendário dos leilões de eólica offshore não é controlado pelo país.

Há, por fim, uma posição que convém declarar não estratégica. Portugal não tem, nem deve procurar ter, condições para se estabelecer como fornecedor em série de grandes componentes ou de plataformas completas: a escala industrial, os custos de fator e as cadeias de fornecimento estão consolidados noutras geografias, e disputá-los consumiria recursos sem probabilidade razoável de retorno. Reconhecê-lo não enfraquece as três posições anteriores — é o que as torna credíveis, porque delimita uma aposta em vez de enunciar uma aspiração.

2.3. Rota até à escala

A rota até ao utilizador é diferente para cada uma das três posições, e a diferença está menos na tecnologia do que em quem paga e quando.

A **qualificação de sistemas em mar real** é a única com procura já existente. Os compradores são identificáveis e ativos: promotores de projetos offshore que precisam de validar tecnologia antes de a implantar, fabricantes de equipamento que necessitam de dados de desempenho em condições reais, sociedades certificadoras que exigem ensaio documentado, e programas europeus de acesso transnacional a infraestruturas de investigação. A adoção pode ocorrer de imediato, porque os ativos existem e a procura não depende de decisões nacionais. O que falta para escalar para além do primeiro caso não é investimento, é permanência: as infraestruturas foram financiadas como investimento e a sua operação continuada não tem fonte assegurada, o que impede a oferta de serviço com disponibilidade garantida e preço estável — condição sem a qual nenhum cliente industrial planeia. Um instrumento de financiamento plurianual de operação, distinto do financiamento de construção, resolveria a maior parte do problema.

Os **serviços à energia offshore flutuante** têm comprador claro e calendário incerto. A eólica offshore é o setor de crescimento mais rápido da economia azul europeia, com o valor acrescentado bruto a aumentar

42% num único ano,¹⁶ o que torna a janela de entrada real e transitória. Os utilizadores finais são os consórcios que venham a desenvolver parques em águas portuguesas e as suas cadeias de fornecimento, bem como as autoridades portuárias enquanto bases de operação e montagem. A rota está, porém, suspensa por circunstância externa ao domínio: o calendário dos leilões de energia eólica *offshore* em Portugal encontra-se sem definição, e a procura interna que dele dependeria não é, neste momento, planeável. Isto tem uma consequência estratégica que importa assumir. Se a construção desta capacidade ficar dependente do mercado nacional, o país perderá a janela, porque os parques europeus serão construídos com cadeias de fornecimento já constituídas noutras geografias e a entrada tardia far-se-á em condições muito piores. A rota alternativa passa por qualificar empresas portuguesas em projetos fora de portas, em articulação com regiões que têm calendário definido, de modo a que a capacidade exista quando o mercado interno abrir. É mais lenta e menos confortável, mas é a única que não depende de uma decisão que não controlamos.

A **tecnologia para operação persistente** é a de adoção mais lenta e a de maior alcance. Os compradores são operadores de infraestrutura *offshore*, proprietários e operadores de cabos submarinos, autoridades marítimas e ambientais com obrigações de monitorização, e produtores em aquacultura oceânica. Nenhum deles adota tecnologia não qualificada, e nenhum tem hoje processo de aquisição desenhado para sistemas autónomos residentes — o que significa que a barreira não é apenas de maturidade técnica, mas de inexistência de mercado formado. É precisamente aqui que a procura pública tem o papel que só ela pode ter: ao adquirir capacidade de monitorização ou de inspeção como serviço, em vez de adquirir equipamento, uma entidade pública cria o primeiro cliente, gera as referências operacionais que os clientes privados exigem e permite que a certificação se construa sobre casos reais. Sem esse primeiro mercado, esta prioridade permanece investigação — e o próprio critério enunciado por esta iniciativa obriga a dizê-lo.

Neste contexto, **a procura pública não deve ser entendida como subsídio à tecnologia, mas como aquisição antecipada de capacidades de interesse público** (observação ambiental, inspeção de infraestruturas, monitorização de áreas protegidas, segurança e resiliência marítima).

Atravessa as três rotas um obstáculo comum: a passagem do primeiro caso ao segundo. O primeiro cliente aceita risco e ausência de referências; o segundo exige normas, histórico documentado e capacidade de repetição. A construção dessa camada — participação nos organismos onde as normas para tecnologias oceânicas se definem, acumulação de dados de qualificação partilháveis, e presença nas cadeias de fornecimento europeias já constituídas — é lenta, pouco visível e não tem financiador natural. É, por isso mesmo, onde a ação pública produz o efeito mais duradouro.

2.4. Seleção e decisões estratégicas

¹⁶ Comissão Europeia, Direção-Geral dos Assuntos Marítimos e das Pescas / Centro Comum de Investigação (2025), *The EU Blue Economy Report 2025*, Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo.

Portugal deve **liderar** na operação persistente no oceano — autonomia de longa duração, perceção e comunicação em meio subaquático, navegação sem referência externa. É a prioridade onde a competência de origem é mais profunda, com produção científica reconhecida e histórico longo, e é também aquela cujo valor se distribui por todos os restantes mercados oceânicos. Liderar significa aqui aceitar horizontes de maturação longos e financiar investigação fundamental que não tem comprador imediato, o que só a ação pública pode fazer.

Deve **construir capacidade própria** em estruturas, materiais e integridade em mar aberto. É a lacuna mais evidente do ponto de partida nacional e a mais próxima da indústria, o que significa que não construí-la torna as outras prioridades economicamente estéréis: sem capacidade de projetar, qualificar e manter o que permanece no mar, a tecnologia de operação persistente não encontra onde se instalar. Construir de raiz é lento, e por isso esta é a prioridade onde a aprendizagem com quem já a tem — em particular a experiência norueguesa em indústria oceânica — tem valor que o investimento sozinho não substitui.

Deve **operar e internacionalizar** a capacidade de qualificação em mar real. A infraestrutura existe, está paga e é subutilizada; o ganho não vem de construir mais, mas de a tornar acessível, operada com disponibilidade garantida e aberta a empresas, centros de investigação e promotores que não dispõem de meios próprios. É a decisão de menor custo e efeito mais imediato de todas as que este documento propõe.

Deve **assegurar, através de cooperação europeia**, os sistemas de energia *offshore*, cujo desenvolvimento depende de calendários e escalas de investimento que Portugal não controla (mantendo, porém, capacidade própria na integração em rede, na operação e manutenção e na monitorização de parques flutuantes, onde o país tem historial desde os primeiros ensaios no testsite da Aguçadoura), e a articulação das infraestruturas de observação, que só produzem valor quando integradas nos sistemas europeus de dados oceânicos, incluindo a iniciativa OceanEye e o Gémeo Digital Europeu do Oceano. Aqui, porém, é necessária uma distinção que tem sido tratada com ligeireza: uma coisa é a interoperabilidade, os padrões e a partilha, que devem ser europeus e abertos; outra é a capacidade de alojar, processar e modelar os dados do oceano sob jurisdição nacional, que deve ser nacional. Um país que não consiga tratar os dados do seu próprio mar depende de terceiros para o compreender, e essa dependência tem consequências que vão da negociação internacional à decisão de licenciamento.

Portugal tem hoje capacidade instalada para acolher volumes significativos de dados oceânicos (incluindo o supercomputador Deucalion, da rede EuroHPC) e para construir sobre eles gémeos digitais que representem simultaneamente o ambiente e os ativos que nele operam — e essa capacidade deve ser tratada como ativo estratégico, não como serviço subcontratável.

Deve, por fim, **não competir** no fabrico em série de componentes e plataformas (de estruturas *offshore*, construção naval, etc.), onde a escala industrial e as cadeias de fornecimento estão consolidadas noutras geografias. Ficaram igualmente de fora prioridades que poderiam parecer naturais: a mineração de mar profundo, por combinação de incerteza ambiental com ausência de enquadramento internacional

estabilizado; a construção naval de série, por exigir custos de fator que o país não reúne; a biotecnologia marinha, que pertence às ciências do mar segundo a regra de fronteira adotada, apesar do reconhecimento científico nacional; e a dessalinização, cuja dificuldade é de engenharia de processo e não oceânica. Nenhuma destas exclusões é um juízo sobre o mérito das áreas. São o que torna a aposta credível, porque uma estratégia que não exclui nada não selecionou.

3. Valor acrescentado e contributo para o país e autonomia após cinco anos

O valor acrescentado do oceano manifesta-se em três planos que se sustentam mutuamente. No plano do conhecimento, produz ciência em questões que não têm resposta estabelecida — decisão autónoma em horizontes longos sem comunicação, propagação acústica em coluna estratificada, degradação de materiais em ambiente marinho, assimilação de dados oceânicos esparsos — e fá-lo em articulação com as ciências do mar, a quem fornece a instrumentação de que dependem. No plano da **inovação**, converte essa ciência em tecnologia qualificada em condições reais, que é o passo em que o sistema nacional tem falhado e onde a infraestrutura instalada permite agora avançar. E no plano da **sustentabilidade**, torna mensurável aquilo que hoje se declara: sem observação continuada e sem métodos de quantificação de impacto, a proteção do oceano assenta em pressupostos e não em evidência. A mesma capacidade que permite utilizar economicamente o oceano é também a que permite protegê-lo. Monitorização persistente, dados validados e modelos preditivos tornam o impacto ambiental observável e mensurável, permitindo substituir decisões baseadas em pressupostos por decisões baseadas em evidência.

Os contributos para o país têm expressão territorial marcada, porque a economia do mar se organiza onde há costa, porto e profundidade. O domínio distribui-se naturalmente pelo litoral e pelas regiões autónomas, e cria nesses territórios emprego qualificado que hoje não existe — engenheiros de sistemas, técnicos de operação de infraestrutura marítima, especialistas em dados oceânicos — em regiões cuja alternativa económica é frequentemente sazonal ou de baixo valor acrescentado. A Região Norte ilustra o modelo: a articulação entre uma bacia oceânica em ambiente portuário, um sítio de ensaio em mar aberto ligado à rede elétrica, um laboratório de energia *offshore* e as autoridades regionais e portuárias constitui um encadeamento onde investigação, demonstração e atividade empresarial partilham o mesmo território. O mesmo padrão é replicável noutras geografias costeiras, com especializações distintas.

Quanto à autonomia, importa ser claro sobre o que significa neste domínio. Não é deixar de receber financiamento público — nenhuma infraestrutura de investigação no mundo opera sem ele — mas mudar a sua natureza, passando de subsídio atribuído por concurso a projetos individuais para pagamento por serviço prestado e contrato com procura identificada. Uma infraestrutura de ensaio que fatura qualificação a promotores industriais, um grupo que presta serviços de monitorização a autoridades públicas ou um consórcio que executa operação e manutenção para operadores de parques *offshore* continuam a movimentar recursos de origem parcialmente pública, mas fazem-no com previsibilidade e sem dependerem do próximo aviso de concurso. Ao fim de cinco anos, a trajetória visada é de convergência para uma repartição equilibrada entre financiamento nacional competitivo, financiamento

européu e receita de contratos com indústria e entidades públicas, com esta última componente a crescer de forma sustentada.

Valor acrescentado e contributos para o país e autonomia após cinco anos	Tipologias de financiamento	Condições para a transição
Conhecimento científico. Investigação fundamental em autonomia de longa duração, comunicações submarinas, integridade de materiais em meio marinho e assimilação de dados oceânicos; formação avançada de doutorados e engenheiros de sistemas.	Financiamento nacional competitivo (FCT); Horizonte Europa; programas de formação avançada.	Continuidade plurianual que permita ciclos de investigação longos; fixação de investigadores através de carreiras previsíveis.
Inovação e transferência de tecnologia. Qualificação de tecnologia em mar real; criação e crescimento de empresas de base tecnológica; entrada de empresas existentes em cadeias de valor oceânicas.	Fundos estruturais e Portugal 2030; instrumentos de I&D e inovação empresarial; capital privado e instrumentos de coinvestimento para demonstração, industrialização e scale-up.	Financiamento de operação, e não apenas de construção, das infraestruturas de ensaio; acesso a referências de qualificação reconhecidas internacionalmente.
Desenvolvimento territorial e emprego qualificado. Emprego especializado em regiões costeiras e autónomas; densificação de ecossistemas regionais em torno de portos e infraestruturas de ensaio.	Programas regionais; cooperação interregional europeia; investimento das autoridades portuárias.	Articulação entre estratégias regionais de especialização inteligente e a estratégia nacional para o domínio; enquadramentos regulatórios experimentais a nível regional.
Sustentabilidade e decisão pública informada. Observação continuada do oceano; métodos de quantificação de impacto ambiental e de serviços de ecossistema; suporte a licenciamento e ordenamento do espaço marítimo.	Orçamento do Estado através de organismos com competência marítima; programas europeus de observação e dados.	Procura pública estruturada que adquira monitorização como serviço; capacidade nacional de alojamento e tratamento dos dados. (A autonomia tecnológica oceânica inclui soberania sobre o ciclo completo dos dados. Portugal deve poder adquirir, validar, alojar, processar, modelar e utilizar os dados do espaço marítimo sob sua jurisdição, mantendo simultaneamente interoperabilidade com os sistemas europeus e internacionais.)
Autonomia e soberania. Capacidade nacional de operar, observar e proteger o espaço marítimo sob jurisdição portuguesa sem dependência tecnológica de terceiros.	Procura pública de entidades com responsabilidades marítimas; programas europeus de segurança e resiliência em orientação civil.	Reconhecimento da capacidade tecnológica oceânica como interesse estratégico nacional; articulação entre entidades civis com competências no mar.

3.1. Riscos e salvaguardas

O risco dominante desta aposta é que **as necessidades operacionais identificadas não se convertam em procura efetiva**, previsível e com capacidade de absorção, e convém dizê-lo antes dos restantes porque este risco pode inviabilizar a trajetória mesmo que a capacidade científica e tecnológica se desenvolva como previsto. O domínio pode formar pessoas, produzir ciência e qualificar tecnologia e, ainda assim, falhar se as soluções resultantes não forem adotadas por utilizadores públicos e privados. O sinal observável é direto e pode ser mensurável: a taxa de utilização das infraestruturas de ensaio por clientes externos ao sistema científico, o número de contratos com entidades públicas ou privadas para prestação de serviços tecnológicos no mar, e a proporção de receita das equipas proveniente de procura e não de concursos. A salvaguarda é a que já se propôs — procura pública estruturada e qualificação de empresas em mercados externos, sem esperar pela abertura do mercado interno. Em 2029, a evidência que justificaria reforçar seria a existência de contratos recorrentes com procura não científica; a que

obrigaria a redirecionar seria a manutenção das infraestruturas com utilização predominantemente interna, caso em que o esforço deveria deslocar-se da capacidade tecnológica para a criação de mercado.

Segue-se o risco de **amplitude excessiva**. Um domínio definido por um ambiente, e não por um setor, tende a absorver tudo o que acontece nesse ambiente, e a delimitação proposta neste documento só se mantém se for exercida em cada decisão de financiamento. O sinal é a dispersão da carteira de projetos por temas sem relação com a operação persistente, e a salvaguarda é a aplicação sistemática da regra de fronteira estabelecida. Em 2032, se a concentração nas cinco prioridades não for verificável nos projetos efetivamente executados, o domínio terá funcionado como rótulo e não como escolha.

O risco de **duplicação** decorre da natureza transversal das tecnologias envolvidas. Robótica, inteligência artificial, sensores e materiais são reivindicados por outros domínios com legitimidade, e a sobreposição desperdiça recursos e enfraquece ambos os lados. O sinal observável é o financiamento paralelo de trabalho equivalente em domínios distintos, e a salvaguarda é a coordenação explícita entre iniciativas, com regras de fronteira recíprocas e não apenas declaradas de um lado. Em 2029, a existência de projetos concorrentes com objeto substancialmente idêntico justificaria uma revisão das fronteiras, não do domínio.

Há também o risco de **obsolescência e desalinhamento**. As agendas europeias mudam, as prioridades de financiamento deslocam-se, e um domínio construído sobre pressupostos de 2026 pode encontrar-se em 2032 a responder a perguntas que deixaram de se colocar. O sinal é a divergência entre as prioridades nacionais e as dos programas europeus e das infraestruturas internacionais em que o país participa. A salvaguarda é a presença ativa nas redes onde essas agendas se formam, que é também a razão pela qual a cooperação europeia foi atribuída como forma a duas das prioridades.

A **captura por interesses instalados** é risco menos evidente neste domínio do que noutros, precisamente por não existir ainda uma indústria constituída com posições a defender. Torna-se, porém, provável à medida que a aposta produza resultados. O sinal é a concentração persistente do financiamento nos mesmos beneficiários sem crescimento correspondente de novos atores, e a salvaguarda é o acesso aberto às infraestruturas e a avaliação por resultados verificáveis e não por trajetória institucional.