



Investimento PRR C21-I07.02:

“Estudos Técnicos para o Potencial Energético Offshore”

Projeto LNEG EOLOS.Mar

Relatório Síntese

Agosto 2026



Ficha Técnica

Identificação: Projeto PRR EOLOS.Mar

Entidade Financiadora: PRR Investimento PRR C21-I07.02: "Estudos Técnicos para o Potencial Energético Offshore"

Beneficiário: LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.

Equipa:

Coordenação: Ana Estanqueiro

Co-coordenação: Teresa Simões

Campanhas Experimentais: António Couto (Responsável Técnico)

Simulações e Mapeamentos: Paula Costa

Energia das Ondas: Paulo Justino

Agradecimentos

O LNEG expressa o seu agradecimento às instituições e aos centros de investigação que contribuíram para o sucesso deste projeto: Instituto Hidrográfico; Águas do Norte (Grupo Águas de Portugal); Câmara Municipal da Figueira da Foz e Centro de Investigação de Correntes Marítimas, Movimento de Areias e Alterações Climáticas (CI.CMAC); Câmara Municipal de Mafra; Direção-Geral dos Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM); Direção-Geral da Autoridade Marítima (DGAM); Administração dos Portos do Douro, Leixões e Viana do Castelo (APDL); Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM); Capitanias de Porto de V. Castelo, Figueira da Foz, Aveiro, Cascais, Douro e Leixões; e Business Factory da Ericeira.

Sumário Executivo

O projeto **EOLOS.Mar**, desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG) no âmbito do investimento PRR **RP-C21-i07.02 – Estudos Técnicos para o Potencial Energético Offshore**, constituiu uma iniciativa estruturante para apoiar o desenvolvimento da energia eólica *offshore* em Portugal. Ancorado nos objetivos nacionais do PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima, o projeto teve como principal objetivo realizar a caracterização experimental dos recursos energéticos marinhos em 4 áreas prioritárias da costa continental portuguesa, áreas essas definidas no Plano de Afetação para as Energias Renováveis Offshore (PAER, versão 2023) produzindo, assim, informação técnico-científica indispensável ao planeamento e à futura instalação de centros eletroprodutores offshore.

A abordagem adotada assentou na realização de campanhas experimentais concebidas segundo as melhores práticas internacionais para avaliação do recurso eólico offshore, seguindo recomendações da International Energy Agency (IEA Wind TCP), da Offshore Wind Accelerator (OWA) e das normas internacionais da International Electrotechnical Commission (IEC). Para minimizar as incertezas inerentes à caracterização do vento sobre o mar, foi implementada uma estratégia integrada de monitorização baseada na operação simultânea de sistemas LiDAR (*Light Detection and Ranging*) flutuantes, coadjuvados por sistemas LiDAR costeiros de referência e por mastros meteorológicos e anemométricos convencionais, permitindo combinar as vantagens das tecnologias de deteção remota com medições de referência de elevada fiabilidade.

As campanhas experimentais abrangeram quatro áreas marítimas representativas das zonas definidas na versão inicial do PAER, totalizando cerca de 2452 km² de área monitorizada ao largo da costa continental portuguesa. A seleção das localizações, da instrumentação e da duração das campanhas foi cuidadosamente planeada para assegurar a obtenção de dados representativos do recurso eólico offshore e, simultaneamente, caracterizar parâmetros oceanográficos relevantes para o desenvolvimento, operação e manutenção de futuras centrais eólicas, incluindo ondulação, correntes marítimas e variáveis meteorológicas complementares.

O projeto envolveu a instalação e operação de quatro sistemas LiDAR flutuantes, dois sistemas LiDAR costeiros e duas estações meteorológicas de referência, constituindo uma infraestrutura experimental sem precedentes em Portugal, para caracterização integrada do ambiente offshore. Os sistemas permitiram monitorizar perfis verticais do vento até altitudes compatíveis com os rotores das atuais turbinas eólicas de grande potência, bem como recolher informação sobre temperatura, humidade, pressão atmosférica, estado do mar e correntes marítimas, disponibilizando um conjunto alargado de variáveis essenciais à avaliação técnica e económica de futuras centrais renováveis *offshore*.

A conceção das campanhas privilegiou igualmente a robustez e a qualidade dos dados produzidos. Para além da seleção de equipamentos com elevado grau de maturidade tecnológica e comprovado desempenho internacional, foram adotados procedimentos de validação, redundância e controlo de qualidade compatíveis com as recomendações atualmente seguidas pela indústria eólica *offshore*. Esta abordagem permitirá, numa fase posterior, complementar os resultados obtidos através de estudos de correlação temporal (*Measure-Correlate-Predict* – MCP) aumentando a representatividade climatológica

das campanhas experimentais e reduzindo, ainda mais, a incerteza associada à estimativa do recurso eólico.

Os resultados obtidos demonstram a robustez das campanhas experimentais realizadas e a capacidade do projeto para produzir informação experimental de elevada qualidade sobre o potencial energético offshore nacional. Foram obtidos perfis verticais do vento, distribuições estatísticas, rosas dos ventos, variações temporais e caracterização das condições atmosféricas e oceanográficas para todas as áreas monitorizadas, permitindo descrever, de forma consistente, o comportamento dos recursos renováveis nas diferentes regiões estudadas. Paralelamente, foi possível caracterizar o estado do mar através da monitorização da ondulação e das correntes marítimas ao longo de toda a coluna de água, informação igualmente relevante para o dimensionamento estrutural, operação e manutenção de futuras infraestruturas *offshore*.

Para além da componente experimental, o projeto produziu um conjunto de ativos permanentes de elevado interesse estratégico. Destaca-se a criação de uma base de dados pública destinada ao armazenamento e disponibilização dos dados recolhidos, bem como o desenvolvimento do *website* do projeto, concebido para assegurar a divulgação transparente das atividades desenvolvidas e facilitar o acesso da comunidade científica, das entidades públicas e dos agentes económicos à informação produzida. Complementarmente, será desenvolvido o mapeamento do recurso eólico por áreas do PAER, constituindo um instrumento de apoio ao planeamento energético e à avaliação preliminar de futuros projetos.

A execução do projeto foi acompanhada por diversas iniciativas de divulgação e comunicação pública dirigidas às comunidades locais e aos diferentes utilizadores do espaço marítimo, promovendo o conhecimento das campanhas experimentais e reforçando a transparência do processo de recolha de informação. A apresentação pública dos principais resultados, realizada no âmbito do evento "Economia Azul e Energia Oceânica", constituiu um marco relevante na divulgação institucional do projeto e no reconhecimento do seu contributo para a estratégia nacional de desenvolvimento das energias renováveis offshore.

Em síntese, o projeto EOLOS.Mar representa um passo decisivo na consolidação da base científica e técnica necessária ao desenvolvimento da energia eólica *offshore* em Portugal. Para além do cumprimento dos objetivos contratualmente estabelecidos no âmbito do PRR, o projeto disponibiliza informação experimental de elevada qualidade, obtida segundo metodologias reconhecidas internacionalmente, contribuindo para reduzir a incerteza associada ao desenvolvimento de futuros projetos e reforçando a capacidade nacional de planeamento e decisão nesta área estratégica. Simultaneamente, os dados produzidos apresentam potencial de utilização em múltiplos domínios ligados ao conhecimento e gestão do espaço marítimo, constituindo um legado científico e tecnológico que continuará a apoiar a investigação, a administração pública e os diferentes agentes económicos envolvidos na economia do mar.

Índice

Sumário Executivo.....	2
Índice.....	4
1. Contextualização e Objetivos	5
2. Plano de Trabalho: Abordagem e Conceção das Campanhas	6
2.1. Atividades-chave e cronograma do projeto	7
3. Campanhas Experimentais: Termos de referência e especificação dos sistemas de medida	12
3.1. Tipologia de Equipamentos a Instalar	14
3.1.1. Sistemas LiDARs Flutuantes (FLS).....	15
3.1.2. LiDARs Costeiros Fixos	18
3.1.3. Mastros meteorológicos e anemométricos costeiros	19
3.2. Informação a obter nas campanhas.....	20
3.3. Síntese dos parâmetros monitorizados.....	21
4. Resultados das Campanhas Experimentais	24
4.1. Localização e descrição das estações instaladas	24
4.1.1. Sistemas LiDARs flutuantes	26
4.1.2. Sistemas LiDAR fixos costeiros	28
4.1.3. Mastros anemométricos costeiros.....	29
4.2. Recurso Eólico Offshore e Costeiro	31
4.2.1. Recurso Offshore	31
4.2.2. Recurso Costeiro	35
4.3. Recurso das Ondas e Correntes	39
5. Dados e Informação Gerados pelo Projeto	48
5.1. Website do projeto.....	48
5.2. Base de Dados dos Recursos Energéticos Offshore	51
5.3. Atlas do recurso eólico por área PAER	53
6. Síntese	56
7. Referências	57

1. Contextualização e Objetivos

A criação do grupo de trabalho através do **Despacho interministerial nº 11404/2022**, de 23 de setembro [1] identificou zonas da costa continental portuguesa com indicadores adequados ao desenvolvimento de iniciativas de aproveitamento de recursos renováveis marinhos [2], e levou à definição do **Plano de Afetação para o desenvolvimento de Energias Renováveis offshore (PAER)** [3], objeto de posterior consulta pública e aprovação através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2025 de 7 de fevereiro [4].

Nesse contexto, foi definida a ação **“RP-C21-i05 “Estudos técnicos para potencial energético offshore”**, financiada pelo **Plano de Recuperação e Resiliência (PRR)**, para a realização de estudos técnicos conducentes à caracterização do potencial eólico offshore em regiões contidas no PAER [5]. Esta ação foi posteriormente reprogramada no seio da iniciativa RePOWER.EU e subdividida em duas vertentes técnico-científicas, uma dedicada à caracterização dos fundos marinhos (**RP-C21-i07-01**) e atribuída ao IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, e outra à **caracterização energética dos recursos renováveis na Costa continental portuguesa (RP-C21-i07-02)** da qual o LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia é o beneficiário.

Contratualmente, as atividades no âmbito desta ação desenvolveram-se em quatro áreas de intervenção definidas no PAER, com uma extensão mínima de 2000 km² – e estavam obrigadas a uma duração mínima de 12 meses consecutivos, no que respeita à operação de sistemas LiDAR - *light detection and ranging flutuantes* [6]. Importa referir que as áreas de intervenção previstas na ação PRR, correspondem às definidas na versão provisória do PAER, uma vez que o início desta ação antecedeu a aprovação da versão final desse Plano.

A abordagem do LNEG ao investimento **RP-C21-i07-02**, baseada na longa experiência deste Laboratório de Estado, bem como nos resultados do recente projeto POSEUR OffshorePlan [7], definiu como principais objetivos [8]:

- Obter dados experimentais conducentes à caracterização: i) energética do recurso eólico; ii) da sua disponibilidade e distribuição espacial nas áreas a explorar; e iii) das suas propriedades estatísticas com impacto no desempenho técnico e económico de turbinas e centrais eólicas offshore;
- Obter dados experimentais relevantes para o desenvolvimento de futuros projetos, no que se refere à operação e manutenção de turbinas e centrais eólicas offshore;
- Caracterizar o estado do mar, *e.g.*, ondulação, temperatura, correntes superficiais e outros parâmetros com impacto na operação, manutenção e disponibilidade de turbinas e centrais eólicas;
- Caracterizar outros recursos energéticos marinhos, *e.g.*, ondas e correntes, nos casos em que os equipamentos e custos o permitissem;
- Sempre que técnica e financeiramente viável, caracterizar parâmetros relevantes para futuros usos sinérgicos das áreas em estudo, *e.g.*, aquacultura, pescas, náutica de recreio, investigação marinha, ou outros afins.

Os estudos desenvolvidos para a caracterização de áreas (ou subáreas) onde se pretende vir a instalar estruturas para o aproveitamento energética de energias renováveis *offshore*, foram adaptados às especificidades de cada área em estudo, *e.g.*, profundidade e morfologia do fundo, distância à costa e outros considerados relevantes.

Com vista à divulgação e acesso público aos dados gerados pelo projeto, foi criado um website (<https://eolosmar.lneg.pt>) onde se disponibiliza e será atualizada informação detalhada sobre as atividades desenvolvidas.

2. Plano de Trabalho: Abordagem e Conceção das Campanhas

Esta secção apresenta os conceitos subjacentes ao desenho das campanhas experimentais conducentes à caracterização do recurso energético do escoamento atmosférico em ambiente marinho, e os requisitos mínimos considerados, tendo por base a utilização de **sistemas LiDAR** flutuantes - usualmente identificados pela sigla “FLS” - *Floating LiDAR Systems* - apoiados simultaneamente em estações meteorológicas usando anemometria convencional e sistemas LiDAR fixos costeiros [5], **segundo as normas e recomendações internacionais** (*e.g.*, IEA – *International Energy Agency*, OWA - *Offshore Wind Accelerator* e IEC - *International Electrotechnical Commission*) praticadas no sector eólico *offshore* [9-13].

De acordo com as recomendações da Agência Internacional de Energia [9] e de outras referências relevantes do sector, como é exemplo a publicação do *Offshore Wind Accelerator* – OWA [10-12] um elemento importante para aumentar a confiabilidade nos dados de sistemas LiDAR flutuantes passa pela “calibração de local”, *i.e.*, a validação dos dados de vento com a informação obtida num mastro meteorológico fixo (na costa) em conformidade com as normas IEC (*e.g.*, 61400-12-1 [13]^[4] ou, alternativamente, a comparação com outra fonte de referência igualmente fiável (por exemplo, um LiDAR fixo) com incerteza de medição semelhante aos sistemas flutuantes, e que esteja instalado de acordo com as boas práticas no setor eólico [8-16].

Neste sentido, para além dos sistemas LiDAR flutuantes (FLS) já referidos e instalados nas regiões definidas pelo PAER [17] *per se* necessários e suficientes para a determinação das condições de longo termo do escoamento atmosférico sobre o mar, foi decidido que fossem igualmente instalados, de forma complementar e para assegurar uma avaliação do perfil de intensidade de turbulência com precisão tão elevada quanto possível, os seguintes equipamentos:

- Dois LiDAR costeiros de feixe vertical (LC) na zona costeira Norte e Centro (ao largo das zonas de Viana e Figueira) ;
- Duas estações meteorológicas convencionais (100m de altura, se possível) equipadas segundo as recomendações IEC 61400-12-* [13-16] na região costeira Centro-Norte (uma nas zonas A/B e outra na zona C/D do PAER).

2.1. Atividades-chave e cronograma do projeto

O projeto foi estruturado em 4 atividades-chave [8], cada uma com as suas necessárias sub-tarefas. A atividade 1 prendeu-se com a monitorização e registo de dados de recursos *offshore* durante um período de 12 meses nas áreas selecionadas do PAER provisório; a segunda e terceira são atividades acessórias, seguindo as recomendações e boas práticas internacionais do sector e a quarta atividade refere-se ao controlo de qualidade e pós-processamento de toda a informação recolhida, bem como aos seus armazenamento e consulta.

- **ACTIVIDADE 1: Obtenção de dados de recursos renováveis marinhos a partir de boias FLS**

Esta atividade compreendeu:

- i) a identificação de soluções tecnológicas;
- ii) a identificação de possíveis fornecedores de equipamentos e prestadores de serviços;
- iii) o lançamento de um concurso internacional para a seleção do fornecedor, e também;
- iv) a obtenção das licenças necessárias, incluindo TUPEM - Título de Utilização Privativa do Espaço Marítimo [18].

Os trabalhos desta atividade iniciaram-se em Janeiro de 2024 com a pesquisa de mercado e em 5 de Agosto desse ano foi formalmente aberto o concurso internacional para seleção do fornecedor destes serviços, que foram contratados à empresa **Eolos Floating Lidar Solutions, S.L.** em 19 de Novembro de 2024. Após um interregno de 3 meses, por razões jurídico-administrativas, o LNEG solicitou a emissão de TUPEM para os 4 locais de instalação das bóias, licença essa que foi concedida em 23 de Maio de 2025.

De realçar que o licenciamento da instalação das estações flutuantes ficou, contratualmente, a cargo do LNEG, em detrimento da(s) empresa(s) subcontratadas para a prestação de serviços, numa tentativa de facilitar/acelerar os processos, face à sua eventual condução por privados, pressuposto que não se veio a concretizar na íntegra, por não existirem, na legislação aplicável, exceções aos prazos aplicáveis para iniciativas de interesse público, como a presente ação.

A instalação dos sistemas flutuantes teve início a 20 de Junho e concluiu-se com sucesso no dia 28 de Junho de 2025.

- **ACTIVIDADE 2: Obtenção de dados de recurso eólico com sistemas LiDAR costeiros**

Nesta atividade, e por forma a cumprir as recomendações e boas práticas do sector anteriormente referidas, especificaram-se os dados a monitorizar por duas estações costeiras – uma ao largo da estação FLS de Viana do Castelo/Leixões e outra ao largo da Figueira da Foz/Ericeira e selecionou-se um prestador de serviços para esse efeito. A maior dificuldade com que o LNEG se deparou nesta atividade esteve associada à identificação/contratação de locais na costa suficientemente expostos e adequados à monitorização do recurso eólico.

Após uma longa pesquisa, foi possível concluir com sucesso essa fase dos trabalhos, com a valiosa colaboração da “Águas do Norte”, empresa do Grupo Águas de Portugal, em Viana do Castelo; e do “Centro de Investigação de Correntes Marítimas, Movimento de Areias e Alterações Climáticas” na Figueira da Foz,

entidades que disponibilizaram os seus terrenos costeiros para se alocarem os equipamentos de medida durante as campanhas experimentais.

A contratação de um prestador de serviços - fora do espaço da União Europeia - introduziu dificuldades adicionais ao início da atividade, processo que só foi possível concretizar em Outubro de 2025. Por razões logísticas associadas à alteração dos mecanismos de importação de equipamentos provenientes do exterior do espaço comunitário europeu no final de 2025 e as condições meteorológicas, a instalação dos dois sistemas ocorreu somente nos dias 24 e 26 de fevereiro de 2026.

- **ACTIVIDADE 3: Obtenção de dados de recurso eólico com anemometria convencional em locais costeiros**

A utilização de sensores remotos como LiDAR reveste-se dos maiores cuidados [17-20], pois embora permita obter dados da velocidade horizontal e direção do vento (ou mesmo, de componentes 3D) a alturas muito superiores às permitidas pelos equipamentos tradicionais (mastros anemométricos ou meteorológicos) - contribuindo, assim, para a forte redução de custos das campanhas experimentais, sobretudo em meio marinho - os dados que fornecem não apresentam a mesma consistência (em termos de fiabilidade e disponibilidade) do que os dados obtidos com as soluções tecnológicas convencionais, *i.e.*, a anemometria de copos [21-23]. Esta limitação pode refletir-se, mais tarde, em penalizações na avaliação dos riscos associados aos projetos, na fase de financiamento e *due diligence* dos projetos, nas situações em que campanhas experimentais com FLS não são acompanhadas por abordagens *Measure-correlate-prediction* (MCP), com dados obtidos em zonas costeiras, quer com sistemas LiDAR fixos, quer, e sobretudo, com sistemas tradicionais de anemometria de copos.

Seguindo as recomendações internacionais anteriormente indicadas e as boas práticas do sector [24-28], o LNEG incluiu uma atividade de medição costeira das características do vento com anemometria convencional, o que se traduziu pela instalação de um mastro de 100 m na região norte, ao largo de Viana do Castelo e um mastro de 20 m, na Ilha Berlenga.

Inicialmente, estava prevista a instalação de um segundo mastro de 100 m ao largo da Figueira da Foz, a qual não foi possível concretizar, por motivos alheios ao LNEG, e associados a limitações logísticas de última hora, por parte do fornecedor pré-selecionado.

- **ACTIVIDADE 4: Processamento, controlo de qualidade e disponibilização dos dados**

Esta atividade refere-se ao processamento, controlo de qualidade dos dados e cálculos dos parâmetros estatísticos ilustrativos do potencial energético renovável na Costa Portuguesa, com particular incidência, no recurso eólico offshore. Adicionalmente, os dados obtidos em todas as estações serão objeto de estudos MCP, a realizar pelo LNEG com o objetivo de recuperar falhas de registo e de aumentar a fiabilidade de parâmetros relevantes para a operação de equipamentos eólicos, *e.g.*, a intensidade de turbulência monitorizada com sistemas LiDARs sobre o mar.

Para o pré-processamento e controlo de qualidade dos dados, o LNEG recorreu à subcontratação do Instituto Hidrográfico, Laboratório do Estado com larga experiência na caracterização de grandezas físicas do Mar, ao qual o LNEG prestou apoio na especificação da componente eólica. Os estudos de MCP, de

correlação e aumento de representatividade temporal dos dados monitorizados para o recurso eólico, bem como os seus mapeamentos, corrigidos para “um ano típico de vento” com base em dados costeiros de longo termo serão efetuados pelo LNEG, em data posterior à do presente relatório, estando previsto que tal ocorra até ao final de 2026.

Finalmente, foi subcontratada uma empresa do sector informático para construção de uma base de dados, onde estão alocados e publicamente disponíveis, todos os dados monitorizados e registados na presente ação PRR.

- ***Iniciativas de divulgação pública das Campanhas Experimentais***

Por recomendação das instituições ligadas ao Mar, no início das campanhas experimentais, tiveram lugar quatro sessões públicas de apresentação do projeto EOLOS.Mar, com especial enfoque nas campanhas experimentais *offshore*. Estas sessões tiveram como principal objetivo esclarecer as comunidades locais, especialmente as que se dedicam a atividades no mar – pesca profissional ou recreativa, navegação de recreio, entre outras – sobre o tipo de equipamento a instalar, o seu modo de operação, bem como, informar da sua localização e duração das campanhas.

Estas sessões tiveram lugar no dia 17 de junho na Figueira da Foz, 20 de junho na Ericeira, e 11 de julho em Viana do Castelo e Leixões.

Todas as sessões tiveram a participação de representantes das equipas do LNEG, da empresa prestadora de serviços referentes à atividade 1 (*Eolos Floating Lidar Solutions*) e do Instituto Hidrográfico, e contaram com a presença dos Capitães de Porto responsáveis pelas áreas marítimas em estudo neste projeto.

No dia 29 de julho, o LNEG participou no evento “Economia Azul e Energia Oceânica”, organizado pela Secretaria de Estado da Energia. A sessão contou com a presença do Secretário de Estado Adjunto e da Energia e constituiu o momento escolhido pela tutela para a apresentação pública dos resultados do projeto. No evento, o LNEG realizou uma apresentação onde foram divulgados os principais resultados e o respetivo enquadramento dos mesmos na estratégia nacional de transição energética.

Além do *website* desenvolvido para o projeto contendo toda a informação relevante sobre as campanhas experimentais, atividades do projeto e seus resultados, foram elaboradas e publicadas diversas notícias relacionadas com o projeto, acessíveis no separador “Divulgação” do website.

- ***Cronograma Previsional***

As Figuras 2.1 a 2.4 apresentam o cronograma previsional do projeto para as diferentes atividades, sintetizando a distribuição temporal das principais atividades, marcos e dependências identificadas na fase de projeto.

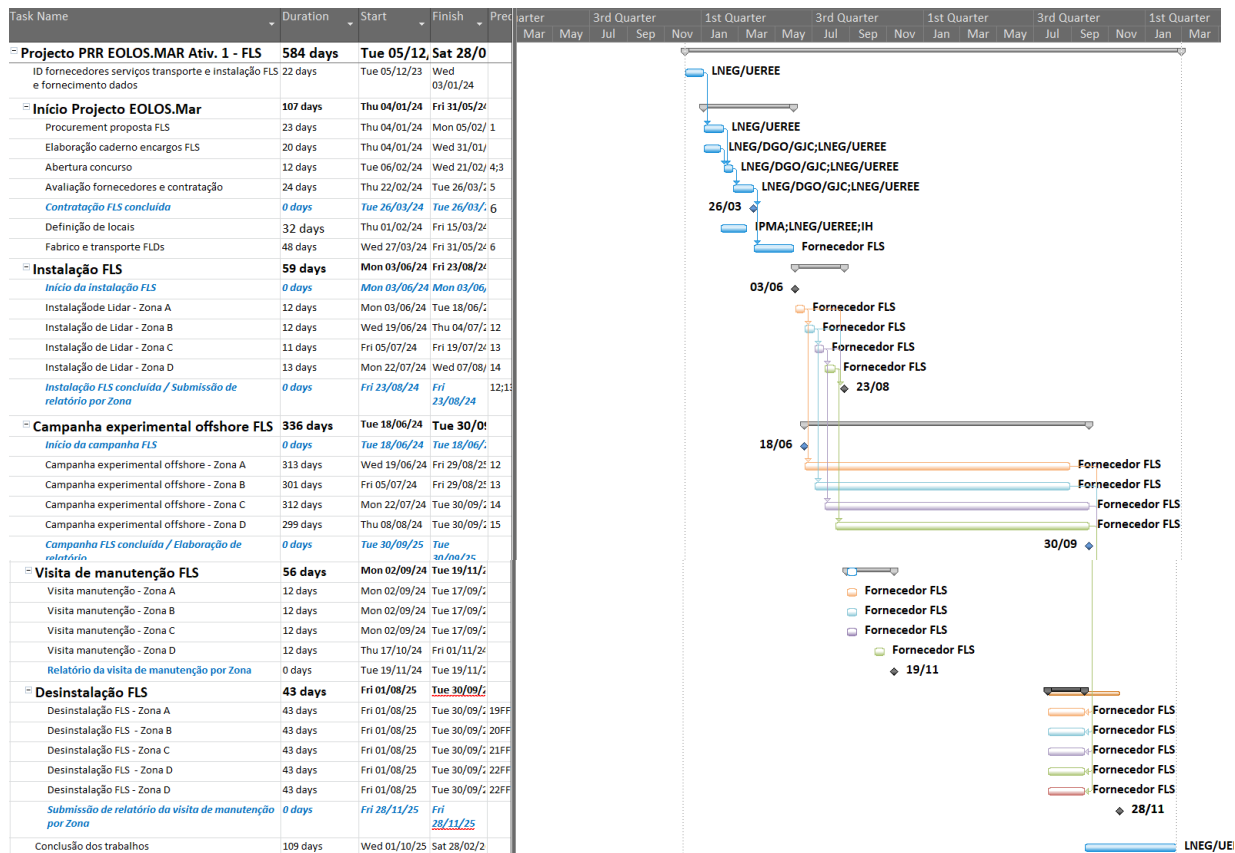


Figura 2.1. Cronograma previsional da atividade 1.

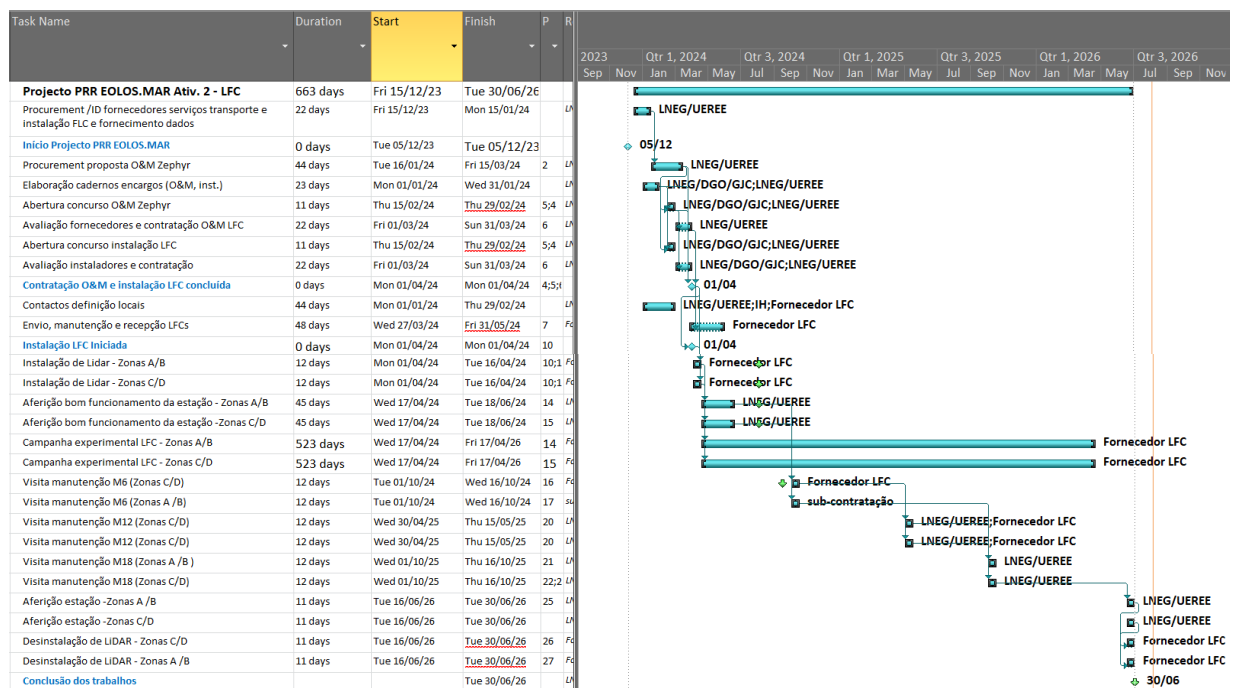


Figura 2.2. Cronograma previsional da atividade 2.

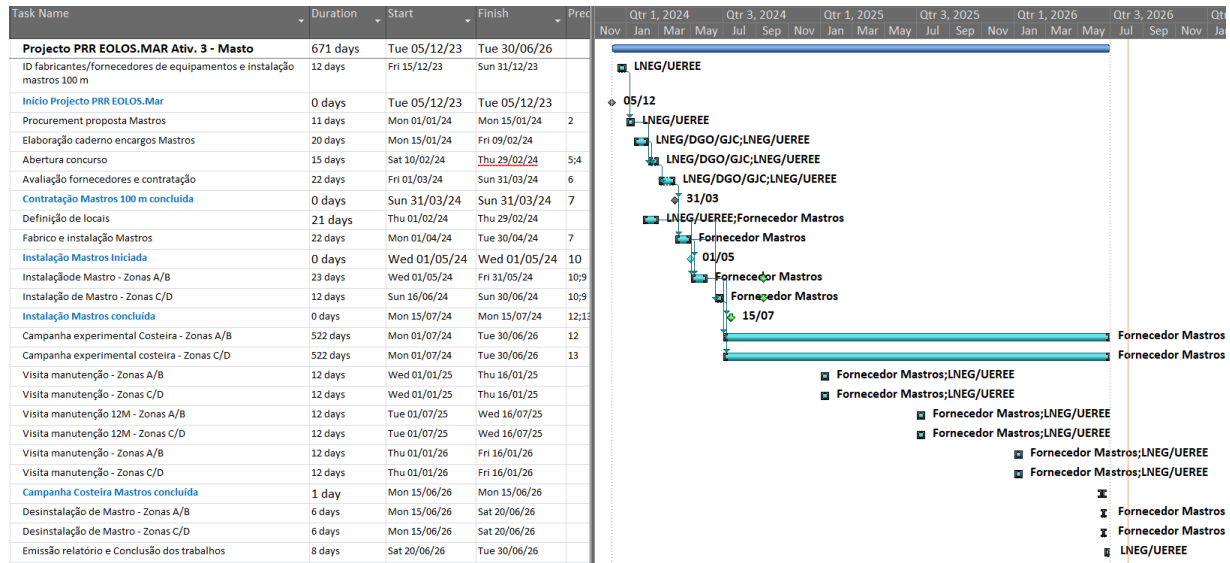


Figura 2.3. Cronograma previsional da atividade 3.

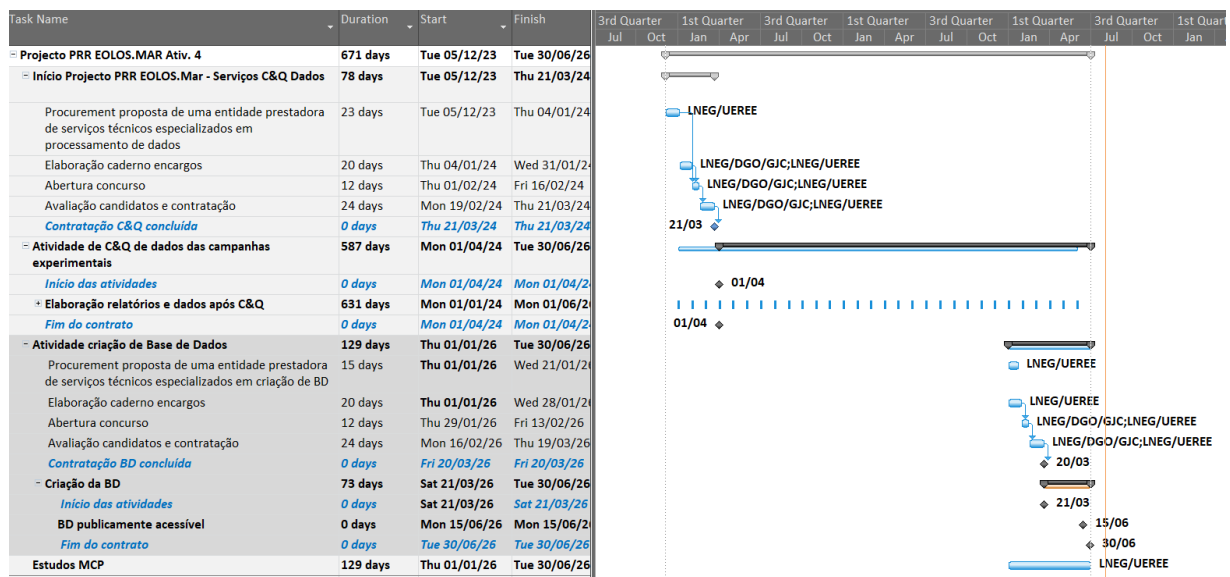


Figura 2.4. Cronograma previsional da atividade 4.

3. Campanhas Experimentais: Termos de referência e especificação dos sistemas de medida

Neste projeto, pretendeu-se caracterizar o potencial dos recursos energéticos marinhos, com especial incidência no recurso eólico *offshore*, numa área de mar com a dimensão mínima de 2000 km² ao largo da costa portuguesa, nas zonas definidas pelo Plano de Afetação para as Energias Renováveis Offshore (PAER) na sua versão provisória, *i.e.*, anteriormente à consulta pública e sua aprovação pela RCM nº 19/2025 em fevereiro de 2025, conforme globalmente definido na Proposta de Investimento “**RP-C21-i07.02 “Estudos técnicos para potencial energético offshore”**”.

Na realização de campanhas experimentais para o estudo do potencial eólico *offshore* – principal objetivo deste projeto - a especificação e seleção dos equipamentos a instalar reveste-se da maior importância, quer no que respeita à monitorização dos parâmetros selecionados, quer na configuração das estruturas de suporte e apoio, bem como na articulação entre campanhas no mar – com duração mínima de 12 meses - com medições costeiras de longo termo recorrendo a sistemas LiDAR fixos e/ou anemometria de copos. De igual forma, a localização dos sistemas de medição e a duração das campanhas experimentais foram cuidadosamente planeadas por forma a minimizar incertezas nas estimativas de produção energética das centrais eólicas *offshore*, que futuramente se venham a planear e instalar.

O domínio possível para a localização das áreas de intervenção das campanhas experimentais é representado pelas zonas identificadas na Figura 3.1, tendo sido selecionadas as 4 áreas representadas na Figura 3.2, que permitem a caracterização dos recursos renováveis ao largo da costa continental Portuguesa, a norte do Cabo da Roca, totalizando 2452 km².

Foi excluída a área ao largo de Sines, por esta se revestir de desafios adicionais à futura exploração do recurso eólico *offshore*, essencialmente devido à elevada batimetria da zona e, também, ao menor recurso energético preliminarmente identificado na região quando do projeto POSEUR OffshorePlan [7], condições que, conjuntamente, relegam esta área para uma fase posterior do desenvolvimento de centrais eólicas *offshore* em Portugal.

As campanhas experimentais de medição do vento contemplam uma duração contratual de 12 meses, seguindo as recomendações internacionais (mínimas) do sector eólico. Era intenção do projeto, se técnica e financeiramente possível, estender temporalmente as campanhas até uma duração de 24 meses, pelo menos num dos locais, o que não se revelou possível, devido aos prazos rigorosos de execução dos investimentos PRR.

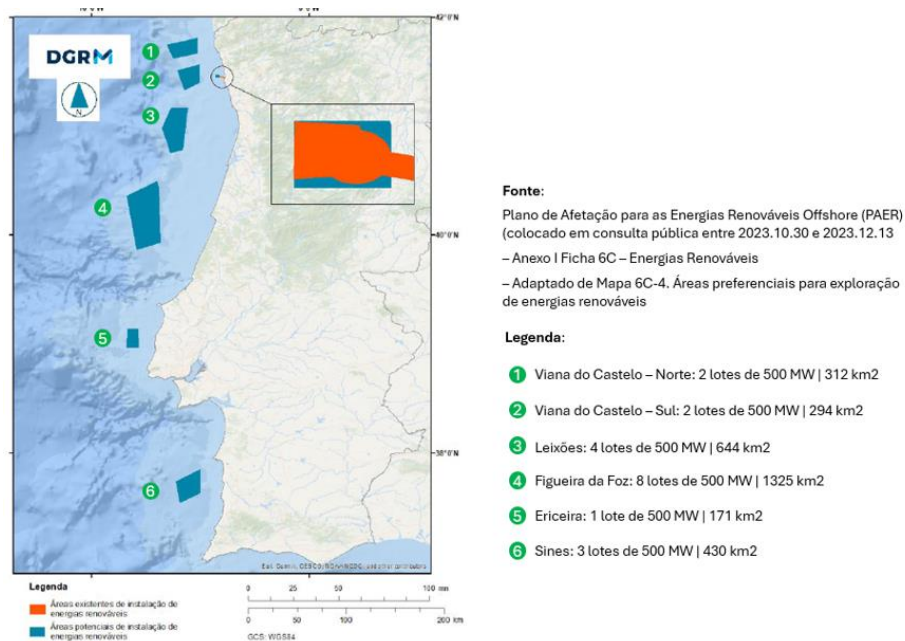


Figura 3.1. Áreas de desenvolvimento de Projetos Eólicos Offshore mapeadas no PAER [3].

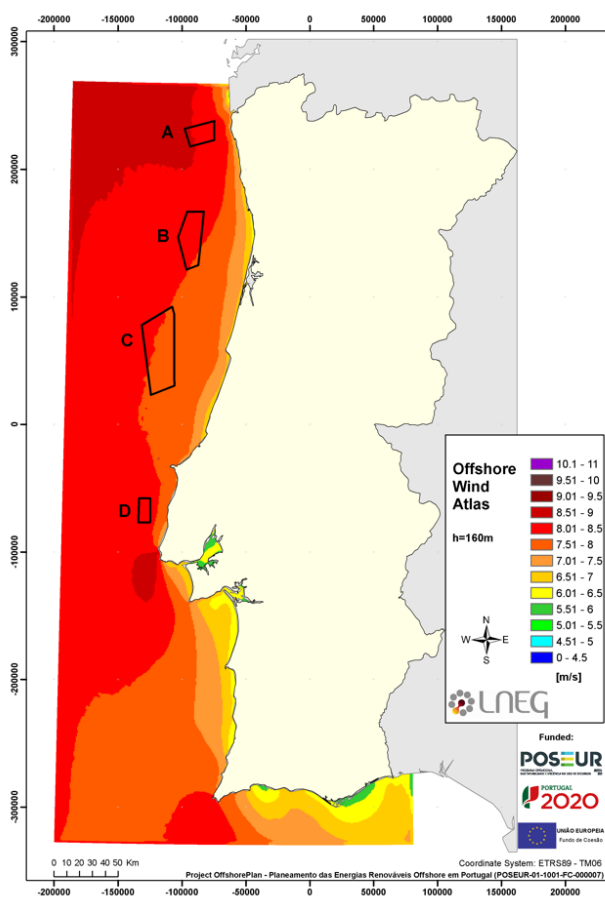


Figura 3.2. Áreas caracterizadas pela ação RP-C21-i07-02, sobrepostas ao Atlas de Vento Offshore de Portugal obtido no projeto POSEUR/P2020 OffshorePlan totalizando 2452 km². [6, 7, 8]

3.1. Tipologia de Equipamentos a Instalar

O desenvolvimento de qualquer campanha experimental pressupõe a seleção adequada do equipamento a instalar, a determinação cuidada da localização dos equipamentos e a definição da sua duração, tudo isto dentro da margem financeira do projeto, numa perspetiva de otimização do binómio “fiabilidade dos resultados *versus* redução dos custos”. Esta seleção é especialmente relevante em campanhas experimentais de caracterização do recurso eólico *offshore*, em virtude da (ainda) reduzida maturidade dos sistemas FLS (LiDAR flutuantes) e da agressividade do meio marinho no que respeita à sobrevivência do equipamento de medida.

Em termos gerais, os sensores LiDARs, são transdutores de deteção remota que emitem um feixe cónico de luz (laser) para o ar, e a velocidade e direção do vento são calculadas com base no desvio Doppler da luz refletida pelas partículas em suspensão na atmosfera (normalmente designadas por aerossóis) abrangidas pelo laser [19].

O OWA – *Offshore Wind Accelerator* [10] preparou e publicou recomendações para acelerar a progressão para mercado destes equipamentos, e aumentar a sua fiabilidade. O OWA classifica os FLS em três níveis de maturidade: Grau 1- *Baseline*; Grau 2 - Pré-comercial; e Grau 3 – Comercial, estando estes graus hierarquizados mediante os testes experimentais e os indicadores de fiabilidade obtidos em campanhas experimentais anteriormente realizadas, por equipamentos e configurações iguais ou tecnicamente equiparáveis.

Uma vez que, para equipamentos com um estado de maturidade inferior a “grau 2” (ou pré-comercial) [10, 12], seria necessário efetuar uma campanha de testes de validação da tecnologia - o que as prolongaria entre 3 - 6 meses, sem aumentar, necessariamente, a fiabilidade de obtenção dos dados - nas campanhas em causa, procurou-se evitar tal situação, sempre que possível. Assim, salvaguardando a sua disponibilidade no mercado, privilegiaram-se soluções com grau de maturidade “3” (ou “grau comercial”), *i.e.*, nas quais **“...um conjunto significativo de provas operacionais e verificações foi acumulado numa série de condições ambientais, levando a uma boa compreensão de quaisquer sensibilidades ao desempenho ambiental, aumentando assim a certeza no desempenho do FLS. Além disso, o sistema LiDAR flutuante (grau 3) tem demonstrado consistentemente um desempenho de confiabilidade significativamente mais exigente e [mais elevada] disponibilidade de dados”** [10].

Atualmente, e face à relação custo/benefício que apresentam, estes são os equipamentos mais utilizados na realização de campanhas de caracterização do potencial eólico *offshore*, quer para sistemas fixos, quer para flutuantes, o que é inteiramente justificado pelo custo de mastros meteorológicos no mar (entre 10 e 20 milhões de euros, com custos de operação e manutenção - O&M - anuais na ordem de 10% do investimento). Acresce que a tecnologia LiDAR permite caracterizar o recurso eólico em várias alturas, desde os 10 metros acima do nível médio da água do mar até às altitudes máximas atingidas pelas pás das turbinas de maiores dimensões.

Esta tecnologia, embora relativamente recente – as primeiras utilizações para avaliação do recurso eólico *offshore* ocorreram entre 2000 e 2005 [20, 21] – tem sido objeto de investigação e profundos melhoramentos ao nível das suas precisão e fiabilidade, sobretudo no que respeita à sua acentuada

dependência das condições da atmosfera [22, 23]. Tal deve-se, em grande medida, na constituição de uma *Task* (projeto de I&D) no seio da IEA Wind TCP em 2012 que, na tradição desta instituição no que respeita à publicação de *Recommended Practices*, conduziu à edição das orientações mais usadas no sector eólico *offshore* [9] e seguidas de perto neste projeto.

Apesar dos cuidados recomendados no planeamento de campanhas de avaliação do recurso eólico *offshore*, pode afirmar-se que a medição do vento no mar, especialmente quando se pretendem desenvolver centrais eólicas de tecnologia flutuante, constitui o melhor exemplo de utilização de tecnologia LiDAR, num contexto em que o seu uso representa uma mais-valia incontestável. A realização de campanhas experimentais de medição com este tipo de tecnologia, quando bem planeadas e devidamente implementadas, envolvendo um conjunto diversificado de técnicas de medição, contribui para a redução da incerteza associada à futura estimativa energética de uma turbina ou central eólica [22, 23] e, assim, dos riscos dos investimentos.

3.1.1. Sistemas LiDARs Flutuantes (FLS)

No projeto EOLOS.Mar, foram usados sensores LiDAR instalados em boias/barcaças flutuantes (Sistemas LiDAR Flutuantes - FLS), nos quais foram integrados, igualmente, outros equipamentos que permitem caracterizar, não só a velocidade e direção do vento, mas também parâmetros atmosféricos (*e.g.*, temperatura do ar, humidade, pressão) e marinhos, tais como, a ondulação, correntes marítimas, a temperatura e outros parâmetros considerados de relevância para este tipo de projetos.

Seguindo as boas práticas do sector, e independentemente do nível de maturidade ou aceitação da tecnologia, a duração da campanha de monitorização de dados e as taxas de disponibilidade alcançadas são sempre parâmetros fundamentais no sucesso de campanhas experimentais. As campanhas com sensores remotos, como os sistemas LiDAR, devem abranger um período semelhante ao realizado com estações meteorológicas (ou anemométricas) convencionais e ambas devem também ter em conta a disponibilidade de dados de referência adequados a longo prazo, para utilização em análises do tipo MCP – “Measure-Correlate-Predict”, *i.e.*, pelo menos 12 meses, o que se potencia com a instalação de LiDARs verticais fixos e mastros anemométricos [9, 10].

Em especial, deve ter-se cuidado com as circunstâncias, caso existam, em que condições operacionais ou oceânicas específicas possam reduzir a disponibilidade e/ou a fiabilidade dos dados e, por conseguinte, resultar em erros ou incertezas sistemáticas. É também importante implantar sistemas de alimentação energética (e armazenamento) suficientes e um programa de O&M apropriado, de modo que se possa esperar que as taxas de cobertura de dados sejam elevadas e assegurem todos os níveis de medida desejáveis. É ainda muito importante que o equipamento e as fontes de alimentação sejam tais que o FLS possa operar por longos períodos sem interrupção em ambientes hostis, como representam os locais de instalação de centrais eólicas *offshore*, assegurando a total autonomia do sistema.

Na Tabela 3.1 apresentam-se as especificações mínimas gerais do Sistema LiDAR Flutuante (a instalar em boia/barcaça flutuante).

Tabela 3.1. Especificações técnicas mínimas do Sistema LiDAR Flutuante [6]

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
<i>Gama de alturas de medição</i>	10 a 400m
<i>Número de níveis programáveis</i>	> 5
<i>Ângulo do cone de varredura (intervalo mínimo)</i>	5° a 30°
<i>Taxa de amostragem de dados</i>	>40 Hz
<i>Período médio para desempenho energético</i>	Mínimo =1minuto
<i>Período médio para análise dinâmica</i>	Mínimo =1s
<i>Gama de velocidades do vento</i>	1 to 50 m/s
<i>Gama de temperaturas</i>	-20 to +50 °C
<i>Precisão da velocidade do vento</i>	<0.5%
<i>Precisão da direção do vento</i>	<1°
<i>Capacidade local de armazenamento de dados</i>	> 6 meses sem acesso à estação
<i>Software de aquisição de dados flexível</i>	Acesso dados compatível com SO Windows
<i>Classificação IP</i>	>IP67
<i>Consumo de energia</i>	Qualquer, apoiada em sistema autónomo de alimentação com base em fontes de energia renováveis (FERs)
<i>Tensão de alimentação</i>	12, 24 VDC ou outra compatível com sistema autónomo isolado
<i>Autonomia</i>	Sistema totalmente autónomo
<i>Comunicação</i>	LAN & GSM/GPRS/3G/4G/Radio

Na Tabela 3.2 apresentam-se as especificações técnicas mínimas da unidade FLS para ondas e correntes. O grau de maturidade é também tido em consideração, de forma a garantir uma maior fiabilidade do sistema, tal como referido anteriormente, privilegiando-se soluções de tipo comercial (grau de maturidade 3). É de referir que, embora privilegiando equipamentos de grau 3, não restringiram as opções a este grau, em virtude da reduzida oferta de FLS em mercado, quando se iniciou o processo de consulta pública.

Finalmente, e dado o custo substancial da instalação de plataformas *offshore*, foi considerada, seguindo as recomendações do OWA “a forma como a redundância de dados poderá ser alcançada através da instalação de anemometria convencional, de um segundo dispositivo remoto ou de qualquer outro cenário que possa ser adequado tendo em conta as condições específicas do local prevalecente no local do projeto offshore em questão” [11].

Tabela 3.2. Especificações técnicas mínimas da unidade FLS: ondas e correntes [6].

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Valor mínimo para a altura máxima medida para as ondas	20 m
Valor máximo para a resolução da elevação da superfície livre das ondas	0.01 m
Precisão para a elevação da superfície livre	<+/- 0.1m ou +/-2% do valor medido
Período mínimo e máximo para as ondas medidas	2s a 30s ou outro intervalo que compreenda este
Valor máximo para a resolução do período das ondas	0.15 s
Precisão para o período	<= +/- 2% do valor medido
Intervalo para a direção das ondas, resolução mínima e erro na medição	0° a 359°, resolução inferior a 2°, erro na direção <= 3.5°
Duração mínima das séries temporais	Os registos temporais devem ser obtidos para períodos com uma duração mínima de 20 minutos, com um espaçamento de, no máximo, 1 hora em situações de agitação normal e de 30 minutos para situações de tempestade
Frequência de funcionamento do perfilador de correntes	<= 300 kHz
Gama do perfil	>= 150 m
Precisão para a velocidade	±1% da velocidade medida ±0.5cm/s
Gama de velocidades medidas	±4 m/s
Ângulo do feixe	< 25°
Sensores padrão	Temperatura, Inclinação, Bússola

Corrosão e durabilidade

Devido às condições que habitualmente se verificam no meio marinho, foi requerido que os equipamentos instalados cumprissem um conjunto de especificações de acordo com normas internacionais, por forma a garantir a sua maior durabilidade e robustez. Supõe-se que o lidar flutuante irá operar na zona normativa de "Splash":

Splash zone: A parte da construção que está alternadamente acima e abaixo da linha de água devido à maré e ondulação é denominada de "splash zone". Aqui as tensões de corrosão são ainda maiores – taxas de corrosão de 200-500 µm. Outros fatores nesta área que necessitam de ser tidos em conta, são a radiação UV do sol, a erosão provocada pela água, possíveis detritos e, em alguns casos, a formação de gelo.

Neste sentido, exigiu-se que os materiais/sistemas de revestimento dos equipamentos instalados cumprem o especificado nas seguintes normas [29, 30]:

- NORSOK M501 de 2022;
- ISO 12944-9 de 2018.

Outros aspetos considerados na seleção e avaliação dos equipamentos

O tipo de dispositivo LiDAR utilizado no FLS deve ter sido sujeito a vários ensaios de teste em terra, e os resultados ter sido adequadamente documentados/validados antes da sua instalação. Estes ensaios em terra devem ter sido realizados de acordo com as orientações da norma IEC 61400-12-1 e as práticas recomendadas pela Agência internacional de Energia (IEA Wind TCP) para operações terrestres. Os resultados destes testes devem estar disponíveis para consulta e, sempre que possível, aferidos por um organismo independente.

Considerou-se ainda necessário que, nos casos em que a alimentação do LiDAR fosse baseada em sistemas de energias renováveis, fosse garantido um sistema de armazenamento que permitisse a operação na ausência de recurso energético correspondente aos sistemas instalados. O sistema deve conseguir manter-se em operação sem necessidade de manutenção do(s) sistema(s) de fornecimento de energia durante, pelo menos, 6 meses consecutivos.

Adicionalmente, o sistema de armazenamento de dados garantiu a capacidade necessária de retenção de dados, prevendo inacessibilidades de transmissão e o sistema de comunicação garantiu redundância de vias de comunicação - *e.g.*, satélite e comunicações móveis 3G, sempre que possível.

Exigiu-se ainda que a plataforma flutuante onde o LiDAR e o restante equipamento foi instalado obedecesse às recomendações de boas práticas no setor eólico já mencionadas [24-28], bem como, sempre que disponíveis, às normas internacionais IEC, *e.g.*, [31]. No caso dos sistemas de amarração, requereu-se que estivessem em conformidade com a norma internacional IEC 62600-10 [31], e as recomendações DNV-OS-E301 e DNV-OS-E303 [33, 34].

3.1.2. LiDARs Costeiros Fixos

Como anteriormente mencionado, as campanhas experimentais com recurso a FLS foram complementadas com a operação de dois LiDARs de feixe vertical fixos (LC), instalados em locais na costa.

As localizações e configurações destes equipamentos seguiram as boas práticas do setor eólico de *calibração de local*, preconizadas nas normas internacionais IEC61400-12-1, quer no que respeita aos requisitos exigidos, quer no que respeita às regras de localização das unidades de medida, com exceção das separações máximas entre estações, necessariamente excedidas para campanhas offshore. As características mínimas consideradas para estes equipamentos apresentam-se na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Especificações dos equipamentos LC a instalar [6].

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Gama de alturas de medição	10 a 199m
Número de alturas programáveis	Mínimo 8
Taxa de amostragem de dados	>40-Hz
Período médio para desempenho energético	Mínimo 10 minutos
Gama de velocidades do vento	1 a 49m/s
Precisão da velocidade do vento	<0.5% ou 0.1 m/s do valor medido
Gama de Temperatura de operação	-25 a +50 °C
Gama de direção	0° a 359°
Precisão da direção do vento	<2.5°
Anemometria pontual (velocidade horizontal)	Mínimo: 1 transdutor de velocidade, com ou sem componentes móveis
Anemometria pontual (direção da velocidade horizontal)	Mínimo: 1 transdutor de direção com ou sem componentes móveis
Outra informação meteorológica	Mínimo: Sensores para medição da pressão atmosférica, temperatura do ar e humidade relativa
Capacidade local de armazenamento de dados	>3 meses sem acesso físico ao LiDAR
Classificação IP	IP67
Consumo de energia	< 85 W (qualquer sustentada pelo sistema autónomo)
Alimentação	Qualquer, preferencialmente com autonomia total
Comunicação	LAN; MODBUS; WiFi; Global SIM; Sat Comms

3.1.3. Mastros meteorológicos e anemométricos costeiros

Tal como recomendado pela IEA Wind e OWA1, este projeto recorreu a mastros meteorológicos/anemométricos de referência, os quais foram instalados nas regiões costeiras de interesse e que, de forma global, seguiram as indicações da norma internacional IEC61400-12-1, de “calibração de local” [15] em especial no que respeita ao tipo de equipamento de medição e registo a instalar, número de sensores de sensores e alturas de medição, e simultaneidade de monitorização com os FLS em operação na região.

¹ e também à documentação de trabalho, ainda em versão *Committee Draft for Vote (CDV)* à data de elaboração dos documentos técnicos do projeto em desenvolvimento no seio do TC88 da IEC, que deu origem à norma/technical specification IEC 61400-50-4 TS - Wind Energy Generation Systems – Part 50-4: Use of floating lidar systems for wind measurement [30], publicada em Maio de 2025.

Neste sentido, a configuração mínima de cada torre anemométrica, no que diz respeito aos equipamentos instalados no âmbito do projeto, encontra-se descrita na Tabela 3.4.

*Tabela 3.4. Equipamentos a instalar numa estação anemométrica de medição do vento - configuração mínima.
[adaptado de 6]*

Equipamento	Descrição e alturas (m)
<i>Torre/mastro</i>	100m*
<i>Anemómetro #1</i>	Topo do mastro
<i>Anemómetro#2</i>	80m
<i>Anemómetro#3</i>	Altura de referência meteorológica - 10m
<i>Sensor de direção#1</i>	100m (máx. 2m abaixo do anem. #1 segundo cone de ação do pára-raios)
<i>Sensor de direção#2</i>	80m
<i>Datalogger</i>	10m
<i>Sensor de temperatura</i>	98 e 10m
<i>Sensor de pressão</i>	10m
<i>Pára-raios</i>	Topo do mastro

**se aplicável face às condições do local*

3.2. Informação a obter nas campanhas

Tendo sido objetivo deste projeto a obtenção de dados para a avaliação do recurso eólico tendo em vista a instalação de turbinas eólicas no meio marinho, os dados obtidos durante as campanhas experimentais prenderam-se, não só com a velocidade 2D/3D do vento a várias cotas, mas também com dados de outra natureza, relacionados com o estado do mar, tais como ondulação e correntes, ou outras variáveis igualmente relevantes para a operação de turbinas eólicas, como a temperatura e a pressão atmosférica. A Tabela 3.5 apresenta uma síntese dos requisitos mínimos, segundo os “Termos de Referência” para Campanhas Experimentais de Recursos Offshore [6].

Assim, no final das campanhas experimentais, e tal como inicialmente especificado, foi possível obter os seguintes dados em cada estação de medida (FLS, LC, e estações anemométricas de referência):

- Velocidade horizontal e direção do vento (ou componentes 3D da velocidade);
- Temperatura do ar;
- Temperatura da água à superfície do mar;
- Ondulação e regimes de correntes marítimas;
- Pressão atmosférica;
- Humidade relativa do ar;
- Movimento/oscilação da boia.

A listagem de parâmetros recolhidos revelou-se, assim, igualmente relevante para suportar utilizações sinérgicas destas áreas, para além da exploração dos recursos energéticos, com potencial aplicação em setores como a aquacultura, a náutica de recreio ou as pescas.

Tabela 3.5. Síntese dos requisitos mínimos para a realização das campanhas experimentais [8]

Campanhas experimentais de medição	nº de locais:	4
	Duração	12 meses
Estações anemométricas de referência	Nr. e tipo de sensores	3 anemómetros, 2 sensores de direção, 1 datalogger, 1 sensor de temperatura, 1 sensor de pressão, 1 pára-raios
Sensores LiDAR Flutuantes	Tipo	Feixe vertical
	Grau de Maturidade	"Comercial" ou grau 3, embora no caso de escassez de equipamentos com este grau de maturidade, se possam aceitar equipamentos "pré-comercial" ou "grau 2".
	Taxa de amostragem	10min
	Alimentação	Qualquer, apoiada em sistema autónomo de alimentação com base em FER
	Armazenamento de dados	Mínimo 6 meses
	Comunicações	Satélite e/ou rede móvel 3G
Sensores LiDAR costeiros, de referência	Tipo	Feixe vertical
	Taxa de amostragem	10min
	Alimentação	Qualquer, preferencialmente com autonomia total
	Armazenamento de dados	Mínimo 6 meses
	Comunicações	Satélite e rede móvel 3G
Dados a obter	Vento	Velocidade e direção
	Estado do mar	Ondulação e corrente
	Outros parâmetros relevantes	Temperatura, pressão, humidade, e outros que permitam suportar futuras utilizações sinérgicas destas áreas

3.3. Síntese dos parâmetros monitorizados

Nesta secção apresentam-se os parâmetros monitorizados pelos diferentes sistemas de medição ao longo das campanhas experimentais (Tabela 3.6 – Tabela 3.9). Nas tabelas, a simbologia "*" assinala os parâmetros para os quais foram registados vários níveis acima do mar/solo ou profundidades, em conformidade com os requisitos mínimos definidos no projeto.

Tabela 3.6. Parâmetros meteorológicos monitorizados nos LiDAR flutuantes (FLS).

Meas. System	Definition	Variable	Units
LiDAR	Lidar average horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Avg_*m	m/s
	Lidar standard deviation horizontal windspeed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Std_*m	m/s
	Lidar maximum horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Max_*m	m/s
	Lidar minimum horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Min_*m	m/s
	Lidar average wind direction at *m	LIDAR_WdDir_Avg_*m	Degree
	Lidar vertical wind speed at *m	LIDAR_WdSpdVer_Avg_*m	m/s
	Lidar Info Flag at *m	LIDAR_InfoFlag_*m	-
	Lidar Status Flag at *m	LIDAR_StatFlag_*m	-
	Lidar Packets at *m	LIDAR_Packets_*m	-
	Lidar turbulence intensity at *m	LIDAR_TurbInt_Avg_*m	-
	Wind shear exponent	CALC_WdInflowAngle_Avg_*m	-
	Wind veer	CALC_WdVeer_Avg	Degree/m
Met. Station	Wind inflow angle at *m	CALC_WdShearExp_Avg	Degree
	Met wind speed minimum	MET_WdSpdHorSurf_Min	m/s
	Met wind speed average	MET_WdSpdHorSurf_Avg	m/s
	Met wind speed maximum	MET_WdSpdHorSurf_Max	m/s
	Met wind gust 3 sec	MET_WdSpdHorSurf_3sMax	m/s
	Met wind direction average	MET_WdDirSurf_Avg	Degree
	Met wind direction minimum	MET_WdDirSurf_Min	Degree
	Met wind direction maximum	MET_WdDirSurf_Max	Degree
	Met wind gust 3 sec direction	MET_WdDirSurf_3sMax	Degree
	Met air temperature average	MET_AirTemp_Avg	Celsius
	Met relative air humidity	MET_RelHum_Avg	%
	Met air pressure	MET_AtmPress_Avg	hPa
	Met rain accumulation	MET_RainAcc_Avg	mm/10min
	Solar irradiance	MET_SolarIrr_Avg	W/m2

Tabela 3.7. Parâmetros oceanográficos monitorizados nos sistemas LiDAR flutuantes (FLS).

Meas. System	Definition	Variable	Units
Wave	Average wave height, zero crossing	WAVE_Havg	m
	Average spectral period. Calculated from spectral moments m0 and m2	WAVE_Tz	s
	Maximum wave height, zero crossing	WAVE_Hmax	m
	Significant wave height, zero crossing	WAVE_Hs	m
	Significant wave period, zero crossing	WAVE_Ts	s
	Peak period, spectral	WAVE_Tp	s
	Average height highest 1/10 waves, zero crossing	WAVE_H10	m
	Average period highest 1/10 waves, zero crossing	WAVE_T10	s
	Average wave period, zero crossing	WAVE_Tavg	s
	Significant wave height, spectral	WAVE_Hm0	m
	Crest period	WAVE_Tc	s
	Average Wave Direction	WAVE_WaveDirAvg	Degree
	Significant directional spread, spectral	WAVE_WaveDirAvgSpr	Degree
	Peak wave direction, spectral	WAVE_WaveDirPeak	Degree
	Maximum roll	AHRS_Roll_Max	Degree
	Minimum roll	AHRS_Roll_Min	Degree
	Maximum pitch	AHRS_Pitch_Max	Degree
	Minimum pitch	AHRS_Pitch_Min	Degree
ADCP (Current sensor)	Surface water pressure	ADCP_WtrPress_Avg	dbar
	Surface water temperature	ADCP_WtrTemp_Avg	Celsius
	Current speed at depth * m	ADCP_WtrCurrSpd_Avg_*m	m/s
	Current direction at depth * m	ADCP_WtrCurrDir_Avg_*m	Degree
	Altimeter Water level. Distance between seabed and surface	ADCP_WtrLevel_Avg	m

Tabela 3.8. Parâmetros meteorológicos monitorizados nos sistemas LiDAR Costeiros (LC).

Meas. System	Definition	Variable	Units
LIDAR	Lidar average horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Avg_*m	m/s
	Lidar standard deviation horizontal windspeed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Std_*m	m/s
	Lidar maximum horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Max_*m	m/s
	Lidar minimum horizontal wind speed at *m	LIDAR_WdSpdHor_Min_*m	m/s
	Lidar average wind direction at *m	LIDAR_WdDir_Avg_*m	Degree
	Lidar vertical wind speed at *m	LIDAR_WdSpdVer_Avg_*m	m/s
	Lidar Info Flag at *m	LIDAR_InfoFlag_*m	-
	Lidar Status Flag at *m	LIDAR_StatFlag_*m	-
	Lidar Packets at *m	LIDAR_Packets_*m	-
	Lidar turbulence intensity at *m	LIDAR_TurbInt_Avg_*m	-
	Wind shear exponent	CALC_WdInflowAngle_Avg_*m	-
	Wind veer	CALC_WdVeer_Avg	Degree/m
	Wind inflow angle at *m	CALC_WdShearExp_Avg	Degree
Met. Station	Met wind speed minimum	MET_WdSpdHorSurf_Min_*m	m/s
	Met wind speed average	MET_WdSpdHorSurf_Avg	m/s
	Met wind speed maximum	MET_WdSpdHorSurf_Max	m/s
	Met wind gust 3 sec	MET_WdSpdHorSurf_3sMax	m/s
	Met wind direction average	MET_WdDirSurf_Avg	Degree
	Met wind direction minimum	MET_WdDirSurf_Min	Degree
	Met wind direction maximum	MET_WdDirSurf_Max	Degree
	Met wind gust 3 sec direction	MET_WdDirSurf_3sMax	Degree
	Met air temperature average	MET_AirTemp_Avg	Celsius
	Met relative air humidity	MET_RelHum_Avg	%
	Met air pressure	MET_AtmPress_Avg	hPa

Tabela 3.9. Parâmetros meteorológicos monitorizados nos mastros meteorológicos e anemométricos costeiros (MET).

Meas. System	Definition	Variable	Units
Met. Station Viana do Castelo	Met wind speed minimum at *m	MET_WdSpdHorSurf_Min_*m	m/s
	Met wind speed average at *m	MET_WdSpdHorSurf_Avg_*m	m/s
	Met wind speed maximum at *m	MET_WdSpdHorSurf_Max_*m	m/s
	Met wind speed dstandard deviation at *m	MET_WdSpdHorSurf_Std_*m	m/s
	Met wind direction average at *m	MET_WdDirSurf_Avg_*m	Degree
	Met air temperature average at *m	MET_AirTemp_Avg_*m	Celsius
	Met relative air humidity at *m	MET_RelHum_Avg_*m	%
	Met air pressure	MET_AtmPress_Avg	hPa
Met. Station Berlenga	Met wind speed minimum at *m	MET_WdSpdHorSurf_Min_*m	m/s
	Met wind speed average at *m	MET_WdSpdHorSurf_Avg_*m	m/s
	Met wind speed maximum at *m	MET_WdSpdHorSurf_Max_*m	m/s
	Met wind speed dstandard deviation at *m	MET_WdSpdHorSurf_Std_*m	m/s
	Met wind direction average at *m	MET_WdDirSurf_Avg_*m	Degree

4. Resultados das Campanhas Experimentais

4.1. Localização e descrição das estações instaladas

Na Figura 4.1 apresenta-se a localização geográfica dos sistemas de medição instalados no âmbito do projeto PRR EOLOS.MAR.

As Figuras 4.2 e 4.3 fornecem uma representação mais detalhada das posições dos sistemas nas duas principais zonas em monitorização: Viana do Castelo/Leixões na região Norte e Figueira da Foz/Ericeira na região Centro. No caso dos sistemas de monitorização instalados em zonas costeiras, além de garantir a sua colocação o mais próximo possível das áreas de operação dos sistemas FLS, foi também necessário assegurar a proteção dos equipamentos e cumprir as restrições associadas à instalação de torres na orla costeira. Estas condicionantes influenciaram a seleção dos locais garantindo simultaneamente a salvaguarda dos sistemas instalados e a fiabilidade das medições.

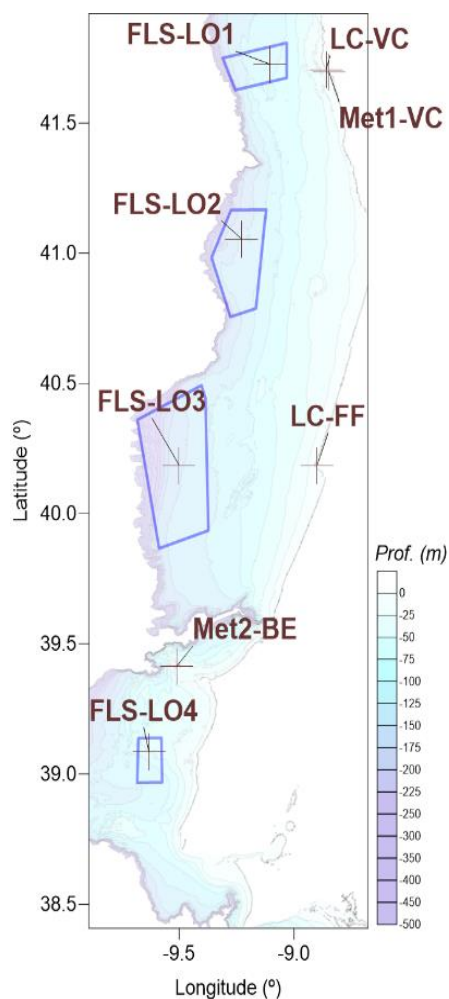


Figura 4.1. Localização dos sistemas instalados no âmbito do projeto PRR EOLOS.MAR. Linha azul representa a delimitação das áreas definidas na versão provisória do PAER.

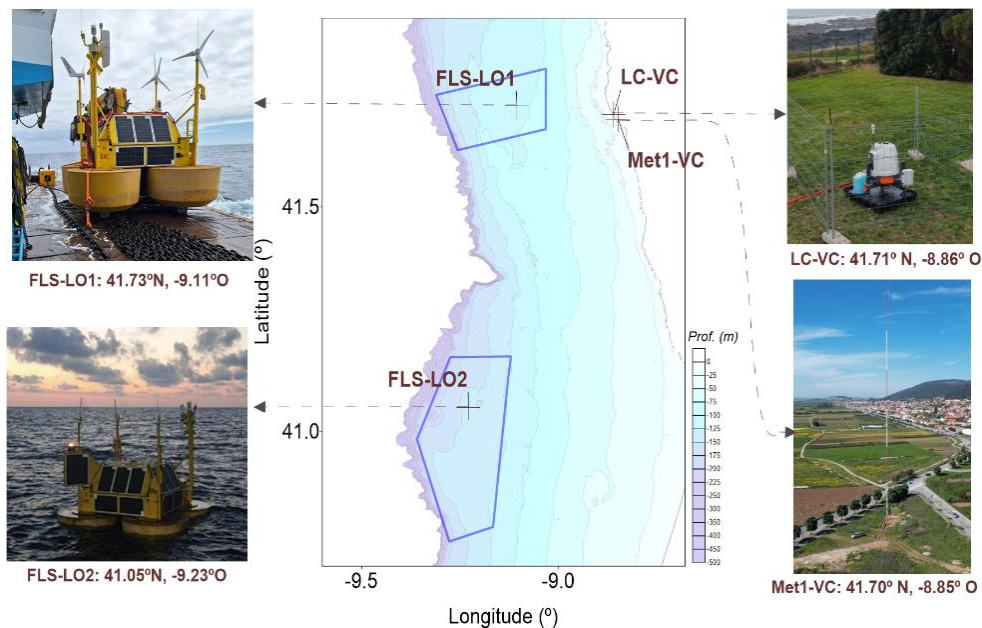


Figura 4.2. Detalhe da localização dos sistemas de medição na zona de Viana do Castelo/Leixões. Linha azul representa a delimitação das áreas definidas na versão provisória do PAER.

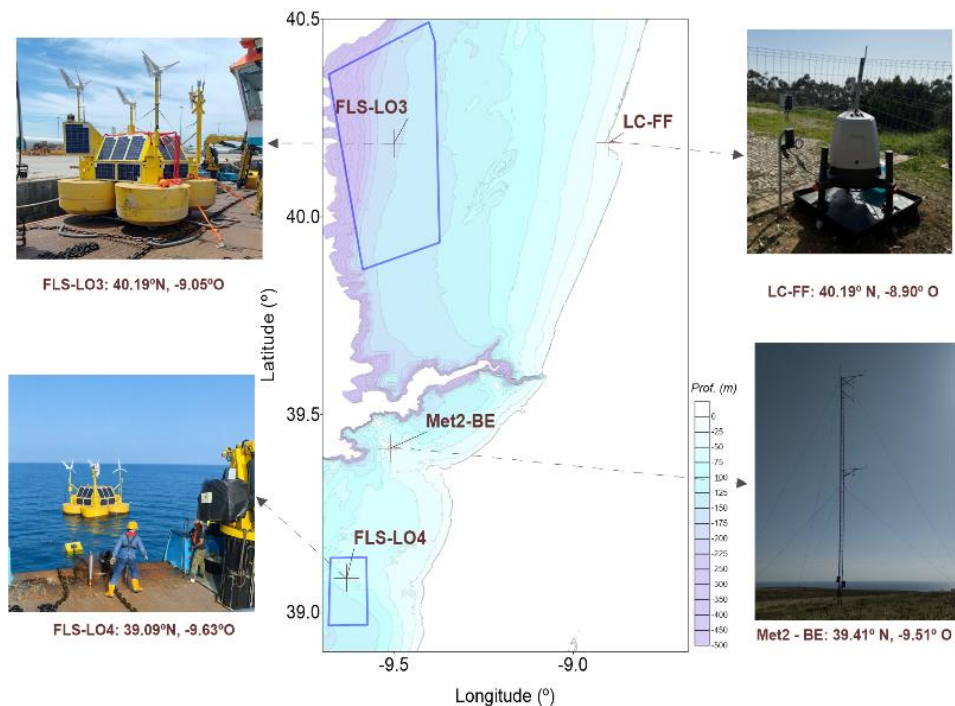


Figura 4.3. Detalhe da localização dos sistemas de medição na zona da Figueira da Foz/Ericeira. Linha azul representa a delimitação das áreas definidas na versão provisória do PAER.

4.1.1. Sistemas LiDARs flutuantes

A Tabela 4.1 apresenta um resumo com as datas de instalação dos sistemas FLS, juntamente com a lista dos equipamentos integrados em cada sistema.

Tabela 4.1. Sistemas FLS: datas de instalação e equipamentos instalados.

Sistema de medição	ID equipam.	Coordenadas (WGS 84)	Data de instalação	Equipamentos instalados
LO1 – Viana do Castelo	FLS-E02	41.73° N, -9.11° O	28/06/2025	- Sistema LiDAR - Perfilador de Correntes (ADCP) - Estação Meteorológica de Superfície - Sensor de Agitação Marítima
L02 – Leixões	FLS-E10	41.05° N, -9.23° O	20/06/2025	
L03 – Figueira da Foz	FLS-E15	40.19° N, -9.50° O	21/06/2025	
L04 - Ericeira	FLS-E42	39.09° N, -9.63° O	25/06/2025	

No caso do LiDAR, foram definidos 10 níveis de medição, entre os 12 m e os 250 m acima do nível médio do mar, aplicados de forma uniforme em todas as localizações.

No que respeita ao perfilador de correntes (ADCP), os equipamentos permitem 40-48 níveis de medição. A profundidade a que cada nível de dados é inferido varia entre os diferentes locais, em função da profundidade disponível em cada ponto uma vez que o ADCP distribui as células de medição ao longo da coluna de água efetivamente existente em cada local de instalação, permitindo o ajuste dos níveis de medição.

A informação relativa aos níveis de medição, aos parâmetros monitorizados em cada sistema, à respetiva resolução, bem como as características dos equipamentos instalados e as datas de instalação e configuração dos FLS, encontra-se descrita nos relatórios técnicos elaborados pela empresa subcontratadas para esta prestação de serviços, nomeadamente, nos relatórios i) FLS *Deliverables Plan* [35-38] e no ii) FLS *Campaign Deployment Report* [39-42].

Nas Figuras 4.4 a 4.7 apresentam-se imagens dos FLS em diferentes fases, incluindo o transporte e a instalação no local, extraídas dos respetivos relatórios de instalação.



Figura 4.4. Fotografias do FLS LO1 - Viana do Castelo: a) transporte do equipamento e b) após instalação no local.



a)

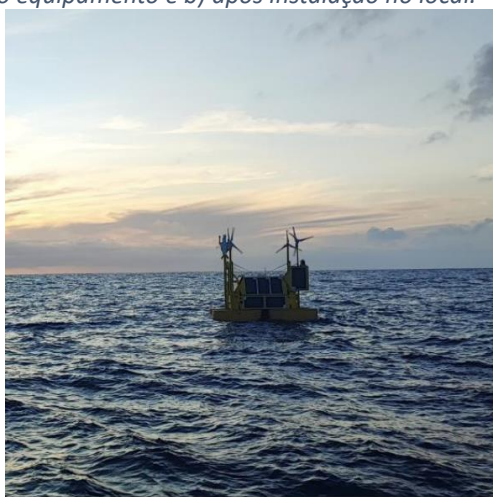


b)

Figura 4.5. Imagens do FLS LO2 - Leixões: a) transporte do equipamento e b) após instalação no local.

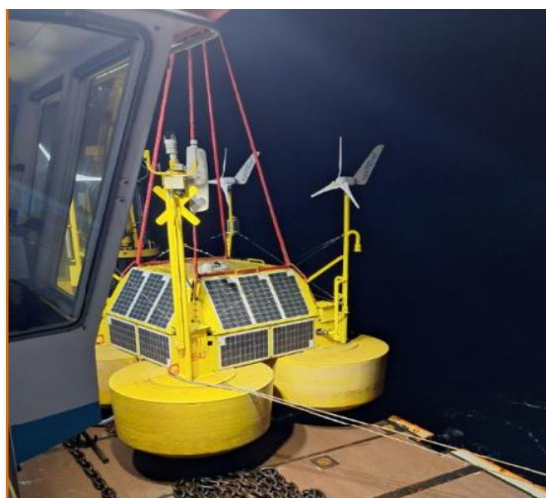


a)



b)

Figura 4.6. Fotografias do FLS LO3 - FF: a) transporte do equipamento e b) após instalação no local.



a)



b)

Figura 4.7. Imagens do FLS LO4 - Ericeira: a) transporte do equipamento e b) após instalação no local.

4.1.2. Sistemas LiDAR fixos costeiros

A Tabela 4.2 apresenta um resumo com as datas de instalação dos sistemas LC instalados em Viana do Castelo (VC) e Figueira da Foz (FF), respetivamente, juntamente com a lista dos equipamentos integrados em cada sistema.

Tabela 4.2. Sistemas LC: datas de instalação e equipamentos instalados.

Sistema de medição	Coordenadas (WGS 84)	Data de instalação	Equipamentos instalados
LC-VC	41.71º N, -8.86º O	24 / 02/ 2026	- Sistema LiDAR - Estação Meteorológica de Superfície
LC-FF	40.19 º N, -8.90º O	26 / 02/ 2026	

À semelhança do FLS, os sistemas LC foram configurados para medir em 10 níveis acima do nível médio do solo, entre 12 m e 250 m acima do nível médio do mar, aplicados de forma uniforme em todas as localizações. A informação relativa aos níveis de medição, aos parâmetros monitorizados em cada sistema, à respetiva resolução, bem como aos equipamentos instalados e às datas de instalação e configuração dos FLS, encontra-se descrita nos relatórios técnicos elaborados pela empresa ZX Measurements, nomeadamente, nos relatórios i) *Work Plan* [43] e no ii) *ZX300 Lidar Deployment Report* [44, 45].

Nas Figuras 4.8 a 4.9 apresentam-se fotografias dos sistemas LC em diferentes fases da instalação em cada local.



Figura 4.8. Fotografias do LC-VC instalado em Viana do Castelo.



Figura 4.9. Fotografias do LC-FF instalado na Figueira da Foz.

4.1.3. Mastros anemométricos costeiros

A Tabela 4.3 apresenta um resumo das datas de arranque das campanhas experimentais dos mastros anemométricos costeiros, juntamente com a lista dos diferentes tipos de sensores instalados e respetiva altura de instalação acima do solo.

O mastro anemométrico costeiro Met1 – VC foi instalado na região de Viana do Castelo, tendo essa prestação de serviços sido subcontratada ao **INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial**. O INEGI ficou contratualmente responsável pela disponibilização dos terrenos (mediante aprovação da localização pelo LNEG) bem como pelo licenciamento do mastro, para além dos trabalhos de instalação dos equipamentos, arranque da campanha experimental e fornecimento dos dados.

Tabela 4.3. Mastros anemométricos costeiros: datas de arranque da campanha experimental e sensores instalados.

Sistema de medição	Coordenadas (WGS 84)	Data de instalação	Sensores instalados (altura acima do nível do solo)
Met1-VC	41.70° N, -8.85° O	01/04/2026	- 3 sensores de velocidade do vento (40.5, 80 e 101.5 m) - 2 sensores de direção do vento (40.5 e 98.5 m) - 2 sensores de temperatura e humidade relativa do ar (14 e 98 m) - 1 sensor de pressão atmosférica (11.5 m)
Met2-BE	39.41° N, -9.51° O	29/04/2026	- 3 sensores de velocidade do vento (10, 19 e 20 m) - 2 sensores de direção do vento (10 e 20m)

Na Figura 4.10 apresentam-se fotografias do mastro anemométrico instalado em Viana do Castelo extraídas do relatório de instalação [46]. A informação relativa aos níveis de medição, aos parâmetros monitorizados, aos equipamentos instalados e às datas de instalação e configuração encontra-se descrita nesse relatório.

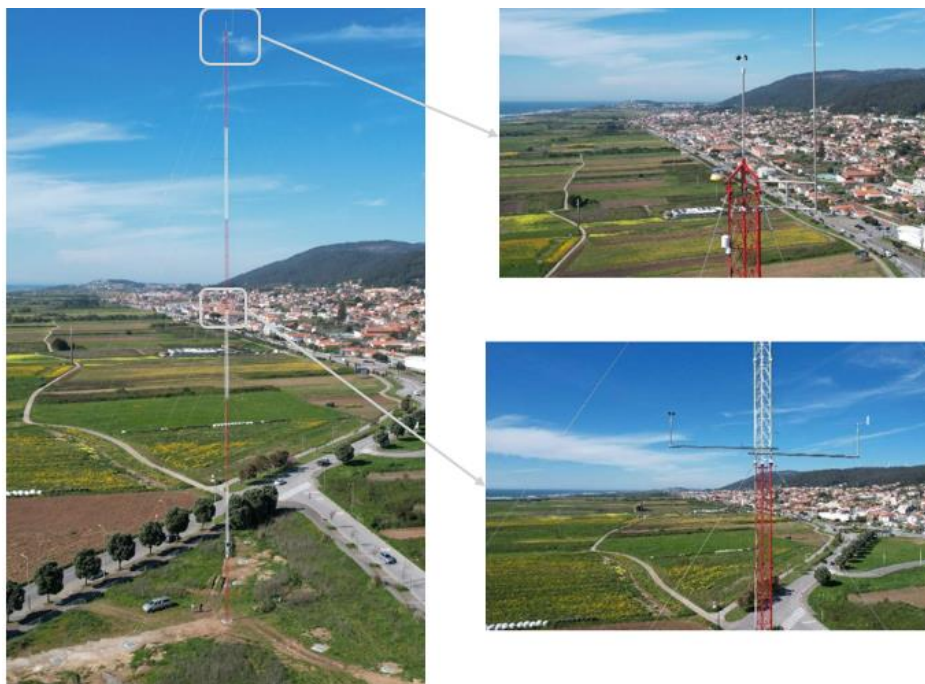


Figura 4.10. Fotografias do mastro anemométrico Met1 – VC instalado em Viana do Castelo.

O mastro anemométrico costeiro Met2 – BE corresponde à reinstalação da estação de longo termo operada pelo LNEG na Ilha da Berlenga, que se encontrava inoperativa. No âmbito deste processo, foram adquiridos e instalados novos transdutores e equipamentos de registo de dados, bem como equipamentos estruturais de fixação, Figura 4.11. O mastro foi equipado com sensores de classe 1, por forma a assegurar uma redução das incertezas associadas aos dados recolhidos e garantir equiparação aos restantes transdutores em operação neste projeto.



Figura 4.11. Fotografias do mastro anemométrico Met2 – BE instalado na Ilha da Berlenga.

4.2. Recurso Eólico Offshore e Costeiro

Nesta secção apresenta-se, de forma resumida, a caracterização estatística e os perfis do recurso eólico obtidos para as diferentes estações. Nas figuras das próximas subsecções são apresentadas as grandezas mais representativas do recurso eólico processadas para o período monitorizado. Para cada localização ilustram-se os perfis diários e verticais, utilizando todos os níveis de medição, bem como a distribuição da velocidade do vento e a rosa dos ventos para a altura de referência de 160m no caso dos FLS e LC, 100 m para o Met1-VC e 20 m para o Met2-BE. De referir que as estimativas aqui apresentadas não incluem os possíveis períodos em que se verifique ser viável a recuperação de falhas de registo.

4.2.1. Recurso Offshore

- **FLS LO1 - Viana do Castelo**

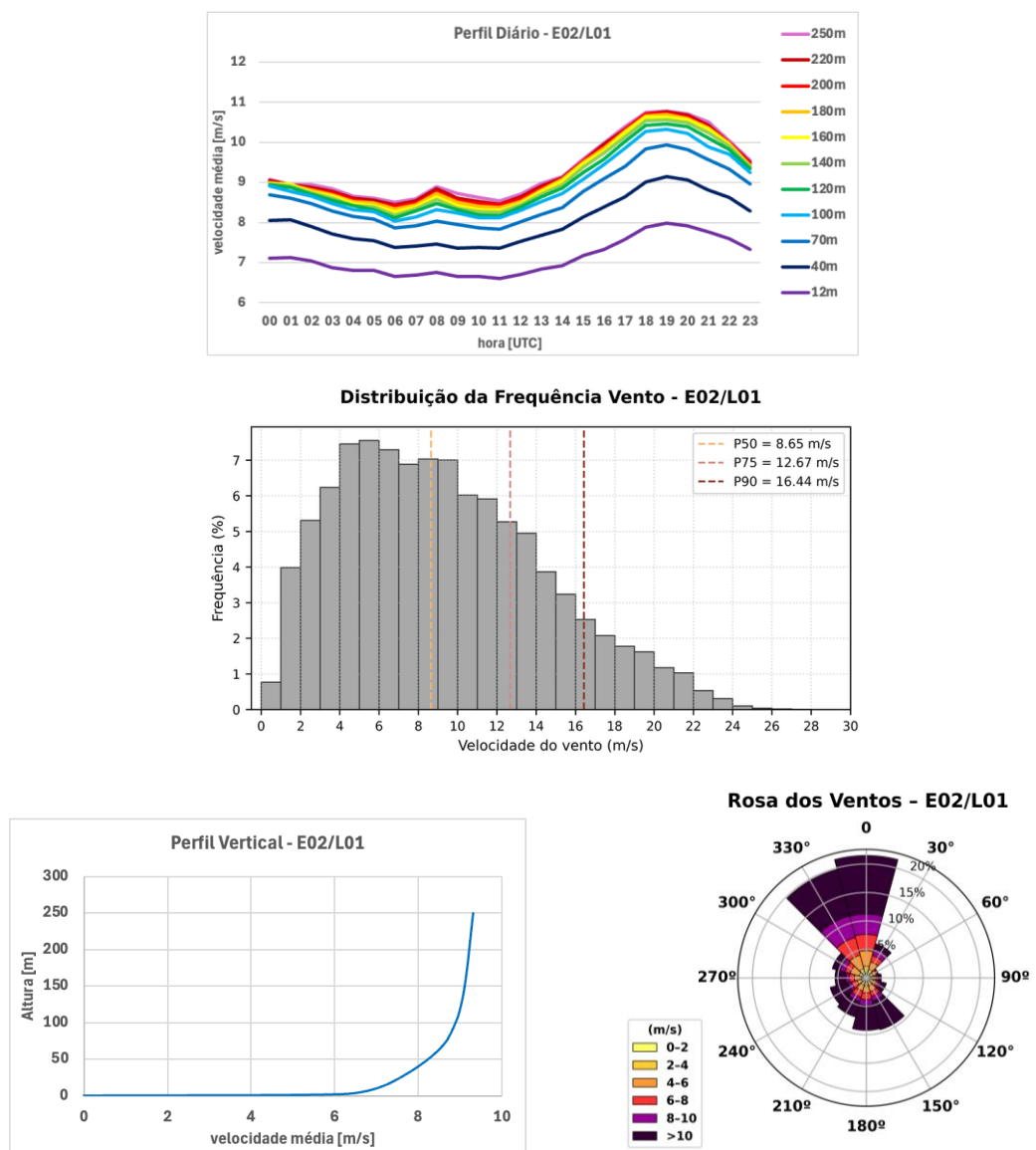


Figura 4.12. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo LiDAR do sistema FLS LO1 – Viana do Castelo.

- **FLS LO2 - Leixões**

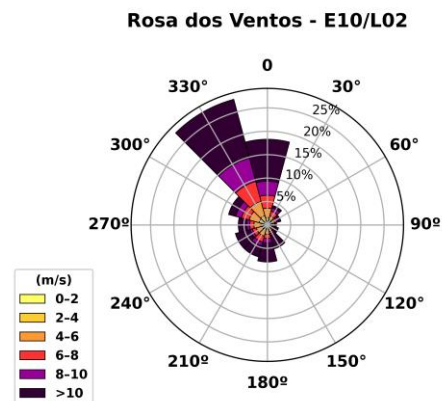
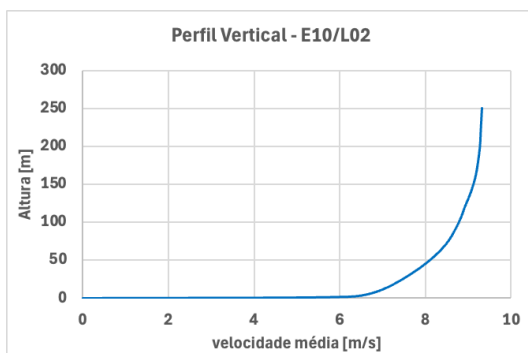
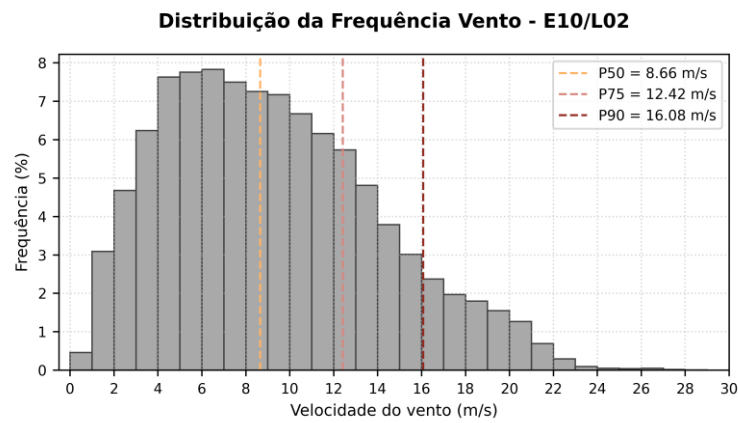
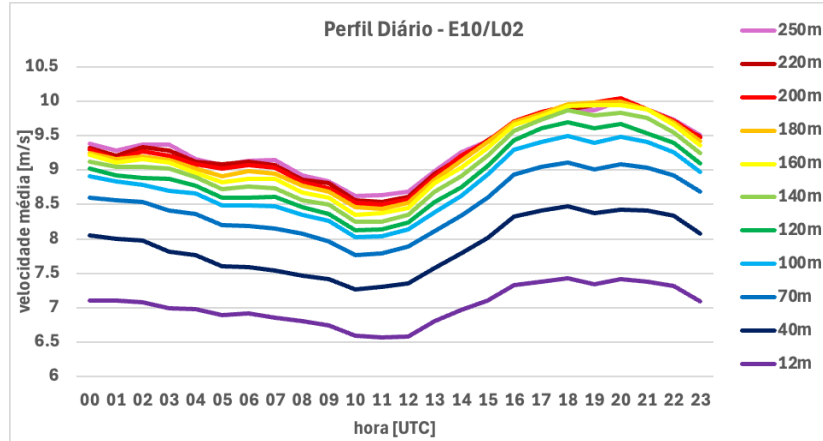


Figura 4.13. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo LiDAR do sistema FLS LO2 – Leixões.

- **FLS LO3 – Figueira da Foz**

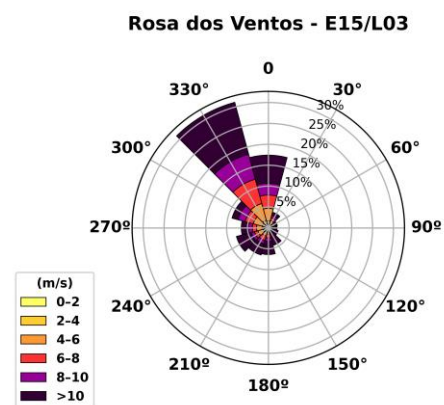
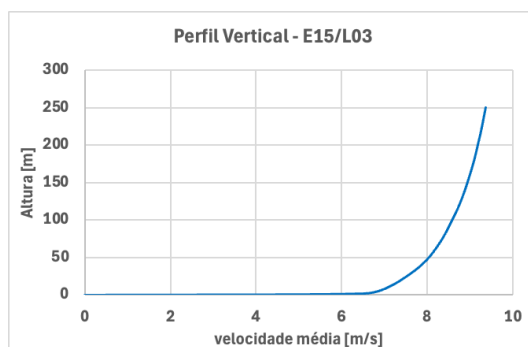
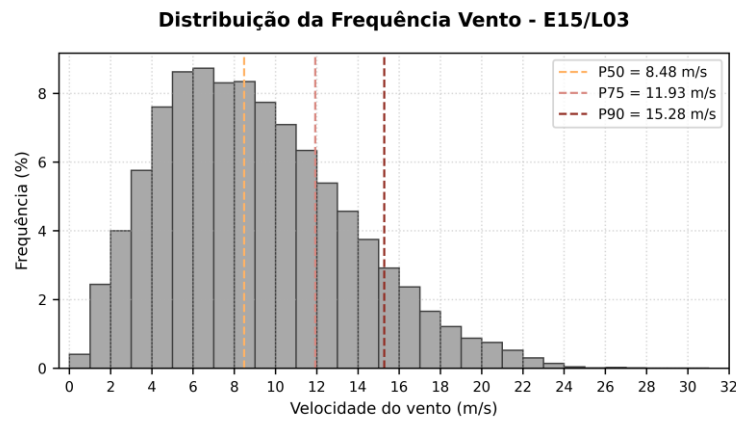
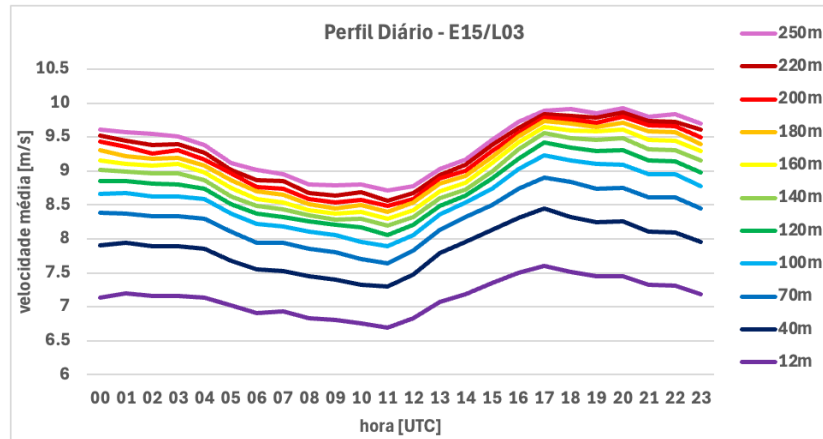


Figura 4.14. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo LiDAR do sistema FLS LO3 – Figueira da Foz.

- **FLS LO4 – Ericeira**

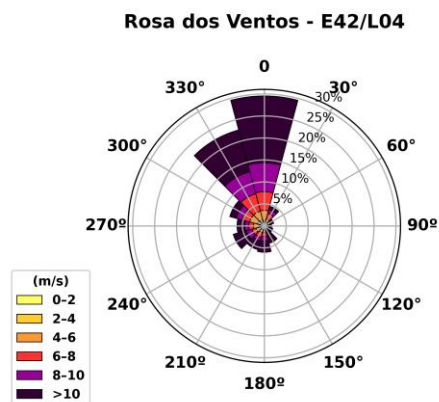
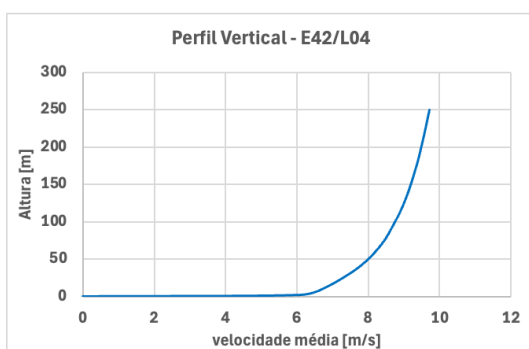
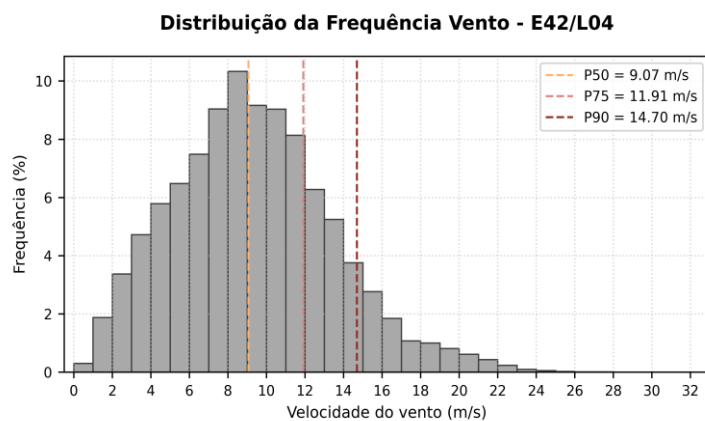
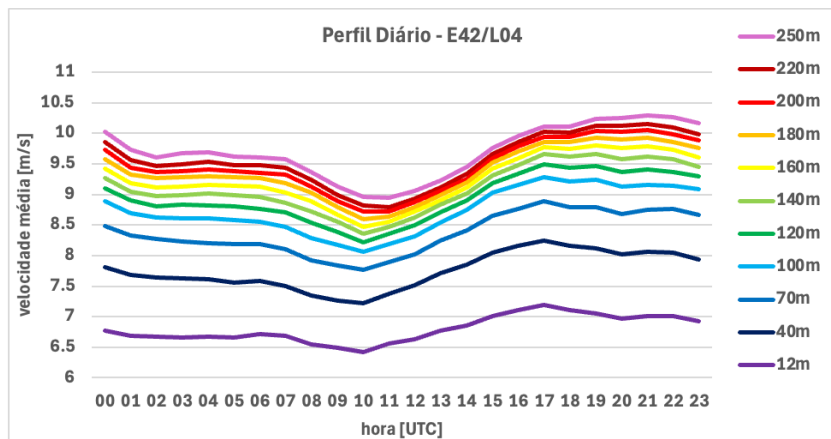


Figura 4.15. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo LiDAR do sistema FLS LO4 – Ericeira.

4.2.2. Recurso Costeiro

Nesta secção são apresentados os resultados estatísticos para os sistemas LiDAR Costeiros em operação em Viana do Castelo (Figura 4.16) e Figueira da Foz (Figura 4.17), respetivamente, bem como para o mastro meteorológicos/ anemométricos instalados em Viana do Castelo (Figura 4.18) e na Ilha Berlenga (Figura 4.19).

- **LC - VC (Viana Castelo)**

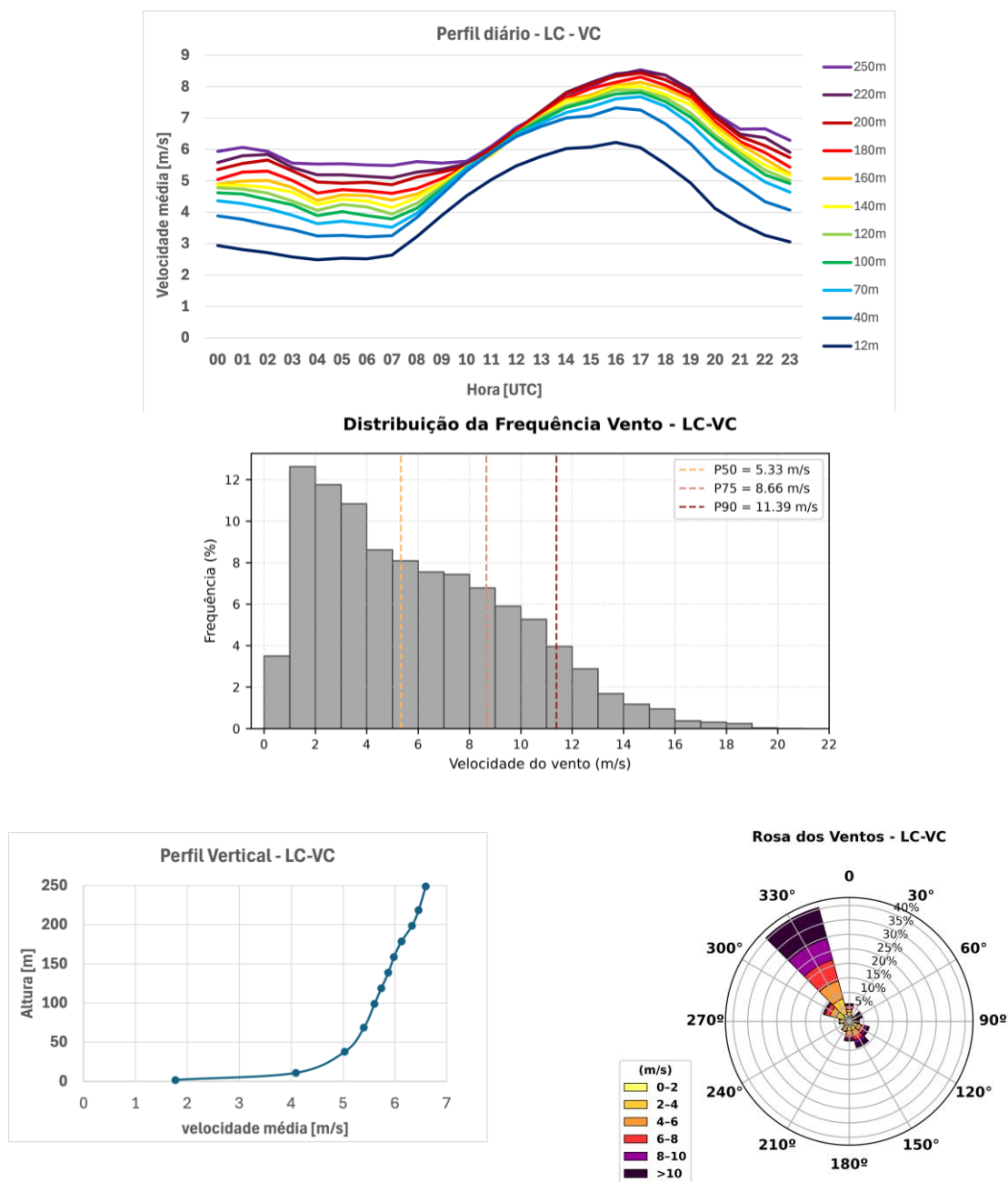


Figura 4.16. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo sistema LiDAR LC-VC instalado em Viana do Castelo. Dados compreendidos entre 01 Abril e 31 Julho de 2026. A Rosa dos ventos e a distribuição de frequência do vento representam os dados medidos à altura de 160m.

- **LC - FF (Figueira da Foz)**

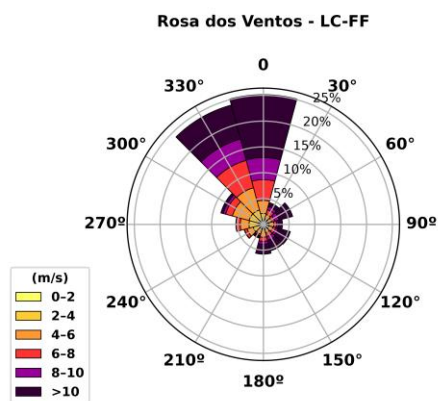
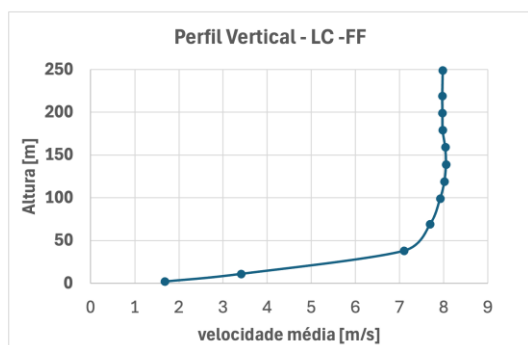
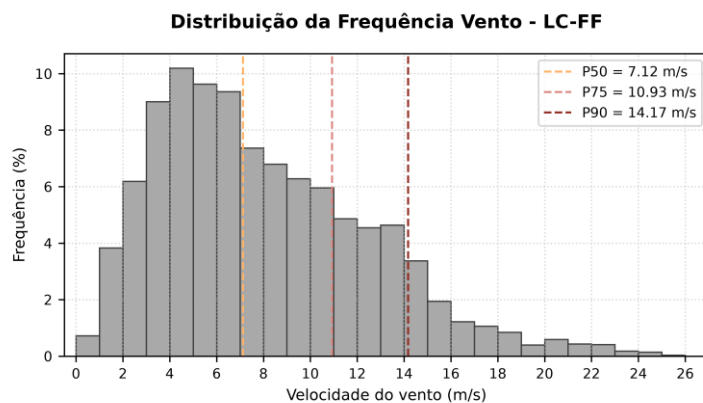
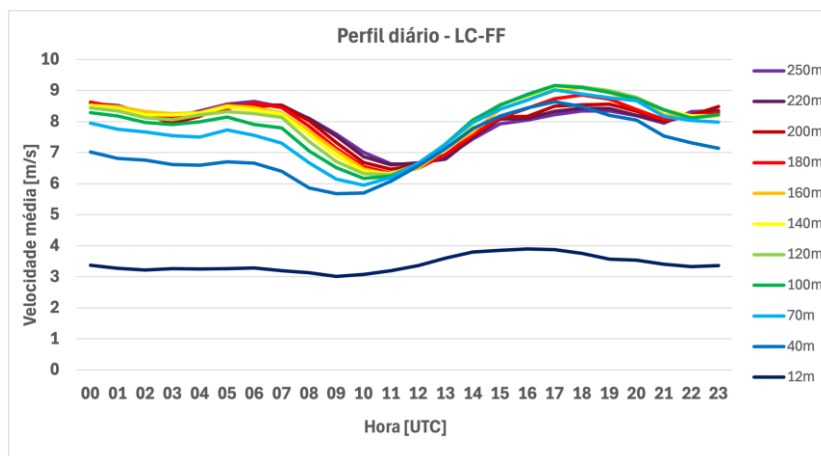


Figura 4.17. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo sistema LiDAR LC-FF instalado em Figueira da Foz. Dados compreendidos entre 01 Abril e 31 Julho de 2026. A Rosa dos ventos e a distribuição de frequência do vento representam os dados medidos à altura de 160m.

- **Mastro Met1-VC (Viana Castelo)**

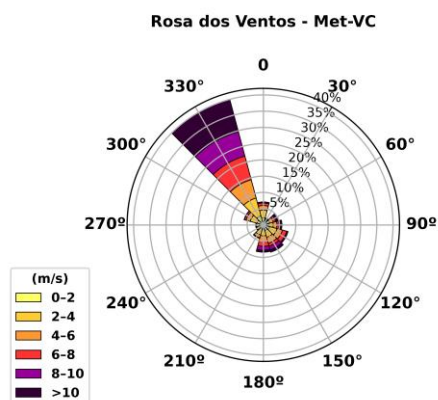
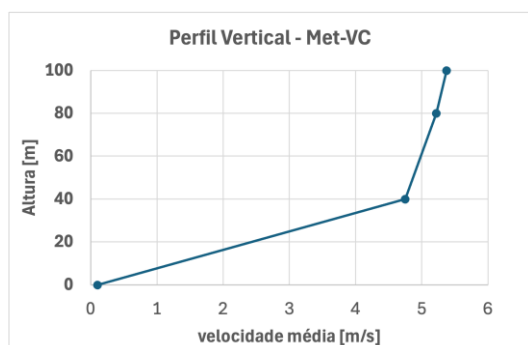
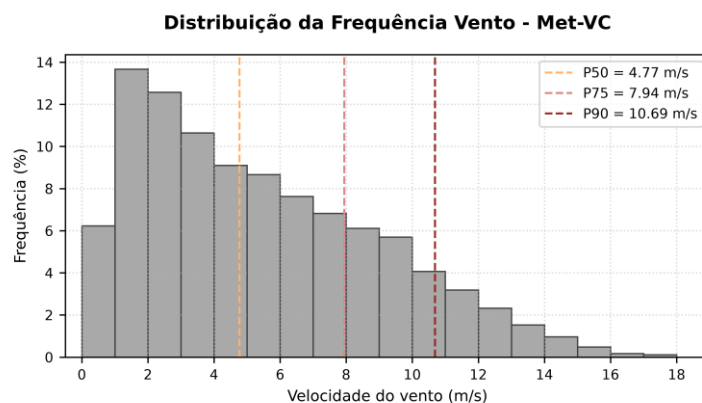
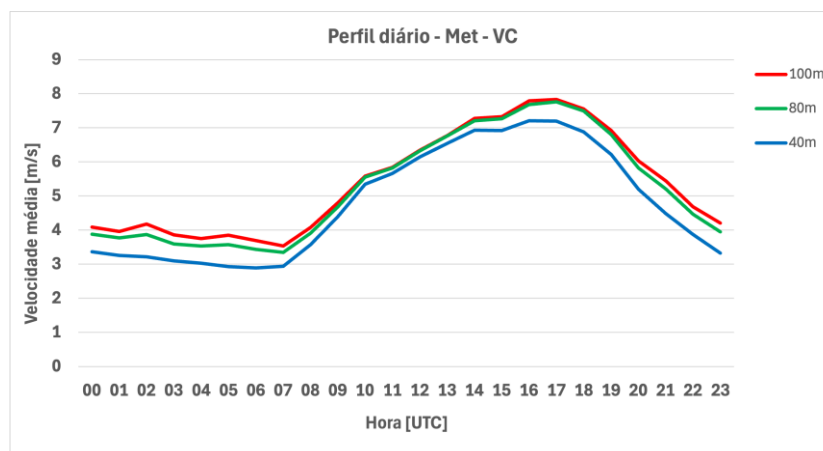


Figura 4.18. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo Mastro Met1-VC instalado em Viana do Castelo. Dados compreendidos entre 01 Abril a 30 Junho de 2026. A Rosa dos ventos e a distribuição de frequência do vento representam os dados medidos à altura de 100m.

- **Mastro Met2-BE (Berlenga)**

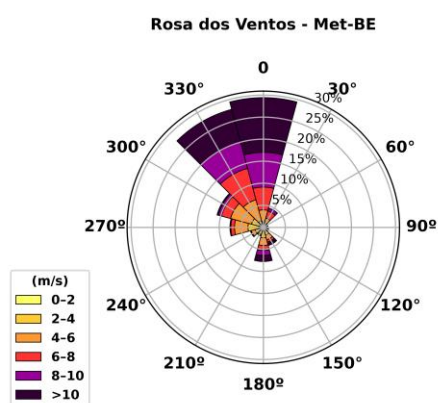
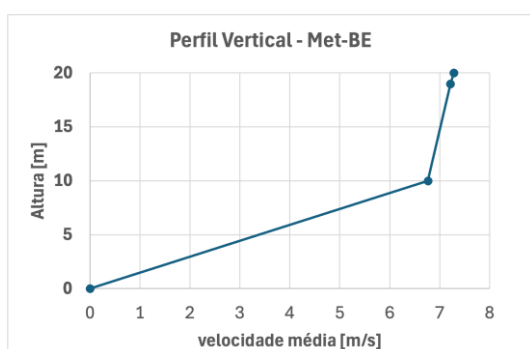
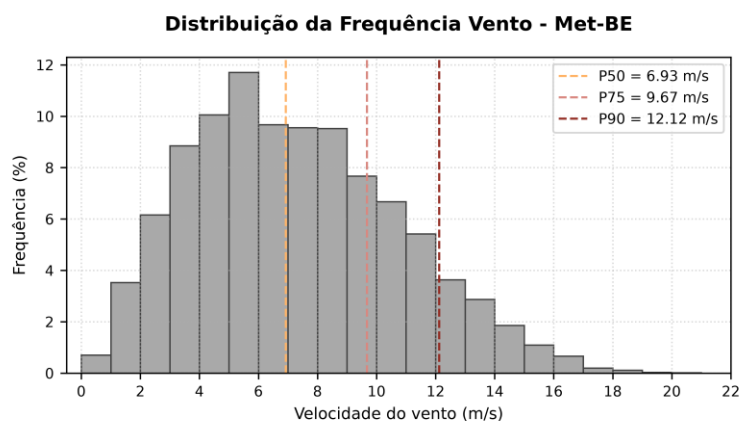
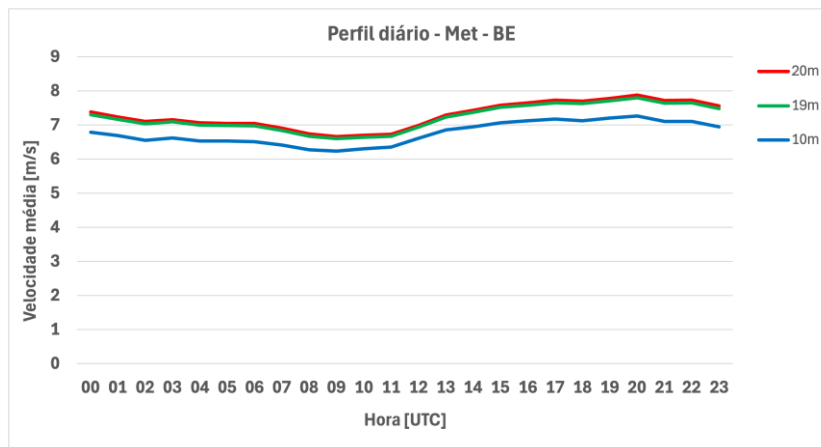


Figura 4.19. Caracterização estatística e perfis do recurso eólico obtidos pelo Mastro Met2-BE instalada na ilha da Berlenga. Dados compreendidos entre 30 Abril a 3 Agosto de 2026. A Rosa dos ventos e a distribuição de frequência do vento representam os dados medidos à altura de 20m.

4.3. Recurso das Ondas e Correntes

Com o fim de ter uma descrição dos estados do mar nas quatro zonas monitorizadas, o equipamento FLS incorpora um sistema que permite, após processamento dos dados por este registados, caracterizar os estados do mar em termos das suas estatísticas mais significativas, como por exemplo, histogramas, para a altura significativa e a altura máxima, para o período médio espectral e período de pico, assim como distribuições de probabilidade bivariada para alturas e períodos e distribuições de probabilidade por sector de direção para estes parâmetros.

O sistema Doppler utilizado no perfilador de correntes (ADCP) para medir correntes marítimas permite caracterizá-las para diferentes patamares de profundidade, que abarcam a coluna de água. São obtidos valores para a sua velocidade e direção, nomeadamente valores médios.

A título exemplificativo, nas Tabelas 4.20 a 4.7 e Figuras 4.20 a 4.32 apresentam-se extratos da informação obtida para FLS LO1 - Viana do Castelo e FLS LO3- Figueira da Foz, para os meses de Novembro de 2025 e Maio de 2026.

- **FLS LO1 - Viana do Castelo**

Tabela 4.4. Estatísticas mensais do recurso das ondas: FLS LO1 - Viana do Castelo, Novembro de 2025 [47].

Variável	DISP_VAL (%)	média	σ	min	máx	P50	P75	P90
Alt. sig. espectral (m)	98.10	2.97	1.18	0.77	7.67	3.11	3.73	4.41
Alt. máxima (m)	99.30	4.51	1.80	1.07	12.12	4.67	5.71	6.74
Alt. média 10% (m)	98.60	3.52	1.41	0.88	9.18	3.67	4.42	5.23
Alt. sig. (m)	98.70	2.86	1.15	0.73	7.30	2.99	3.60	4.28
Alt. média (m)	98.50	1.91	0.76	0.50	4.80	2.01	2.40	2.84
Per. médio espectral (s)	99.40	7.35	1.48	4.30	12.30	7.20	8.20	9.30
Per. pico (s)	99.40	11.03	2.18	4.00	17.10	11.40	12.50	13.80
Per. médio 10% (s)	99.40	9.90	1.92	5.00	15.50	9.80	11.00	12.70
Per. médio (s)	99.40	8.01	1.71	4.40	14.60	7.80	9.00	10.40
Per. alt. máxima (s)	99.40	4.67	0.76	3.20	7.80	4.60	5.10	5.70
Per. alt. sig. (s)	99.40	9.73	1.96	5.10	16.00	9.50	10.90	12.70
Dir. média (°)	99.40	288.11	48.33					

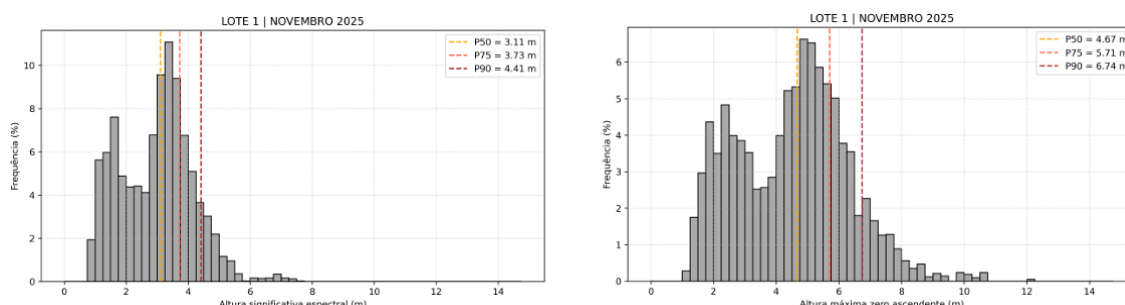


Figura 4.20. Histogramas para a Altura Significativa Espectral e Altura Máxima Zero Ascendente, FLS LO1-Viana do Castelo, Novembro de 2025 [47].

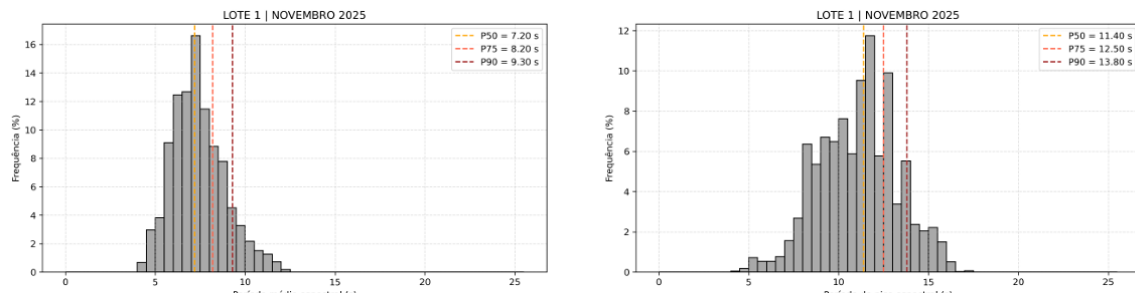
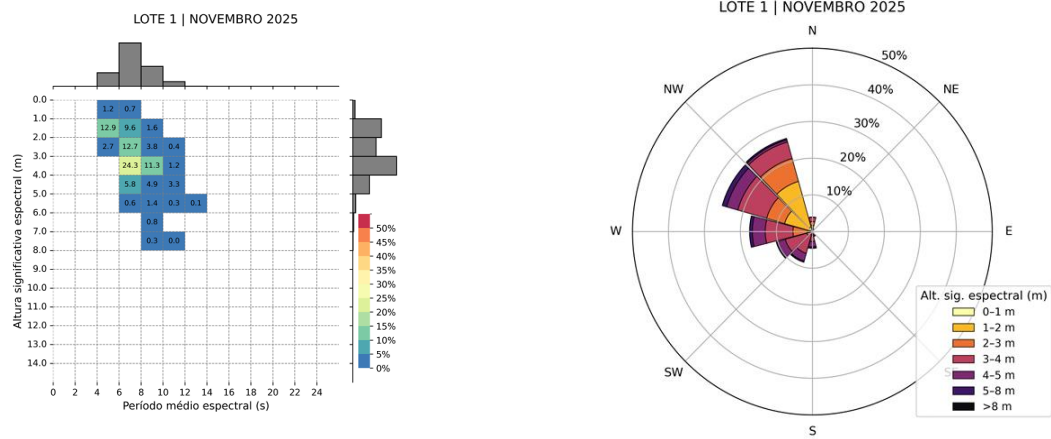
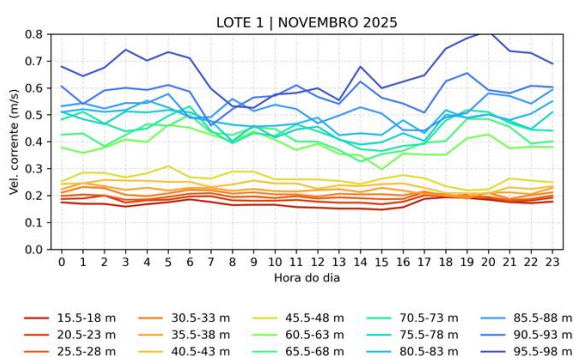


Figura 4.21. Histogramas para o Período Médio Espectral e Período de Pico, FLS LO1-Viana do Castelo, Novembro de 2025 [47].

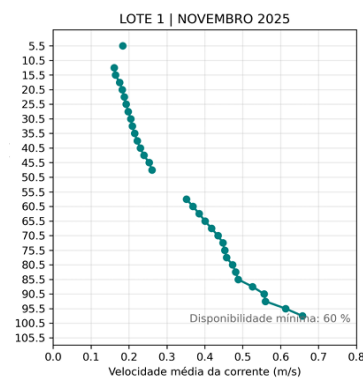


a) Diagrama de dispersão para Altura Significativa Espectral vs Período Médio Espectral.

b) - Distribuição de probabilidade por sector de direção para a Altura Significativa Espectral.



c) Perfil diário da velocidade média da corrente



d) Perfil da velocidade média da corrente em profundidade.

Figura 4.22. Caracterização estatística com base nos dados do FLS LO1-Viana do Castelo, Novembro de 2025 [47].

Tabela 4.5. Estatísticas mensais do recurso das ondas: FLS LO1 - Viana do Castelo, Maio de 2026 [48].

Variável	DISP_VAL (%)	média	σ	min	máx	P50	P75	P90
Alt. sig. espectral (m)	99.60	1.71	0.55	0.66	3.63	1.63	2.05	2.52
Alt. máxima (m)	99.60	2.60	0.86	0.98	6.71	2.46	3.13	3.83
Alt. média 10% (m)	99.60	2.02	0.66	0.74	4.41	1.92	2.43	2.97
Alt. sig. (m)	99.60	1.64	0.53	0.60	3.40	1.57	1.98	2.40
Alt. média (m)	99.60	1.10	0.35	0.41	2.30	1.05	1.32	1.62
Per. médio espectral (s)	99.60	6.61	1.57	4.20	11.60	6.10	7.40	9.40
Per. pico (s)	99.60	9.99	2.07	4.30	15.50	10.20	11.40	12.50
Per. médio 10% (s)	99.60	8.81	1.78	4.80	14.90	8.60	9.90	11.20
Per. médio (s)	99.60	7.15	1.76	4.30	13.10	6.60	8.10	10.10
Per. alt. máxima (s)	99.60	4.40	0.88	2.90	7.80	4.10	4.70	5.90
Per. alt. sig. (s)	99.60	8.60	1.81	4.90	14.50	8.30	9.70	11.20
Dir. média (°)	99.60	304.39	37.65					

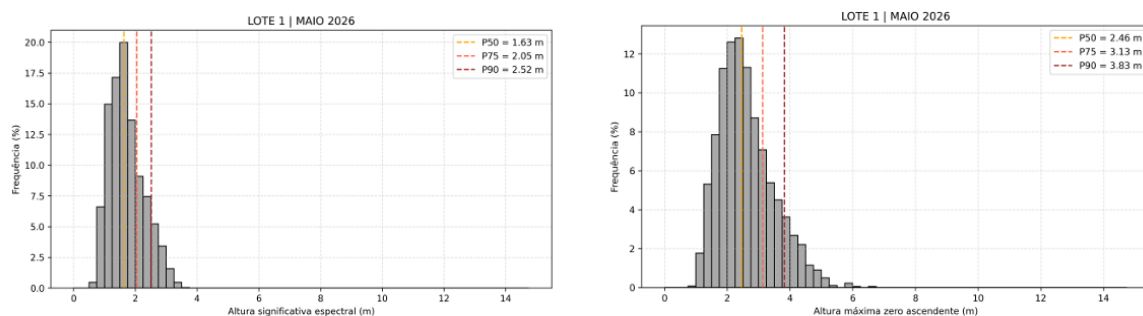


Figura 4.23. Histogramas para a Altura Significativa Espectral e Altura Máxima Zero Ascendente, FLS LO1-Viana do Castelo, Maio de 2026 [48].

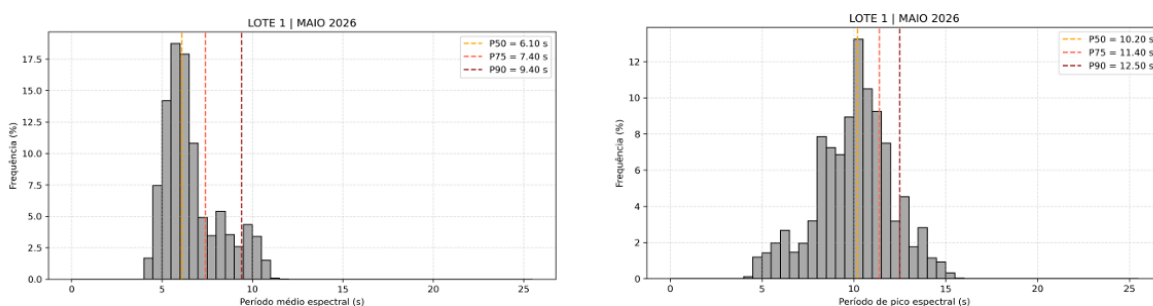
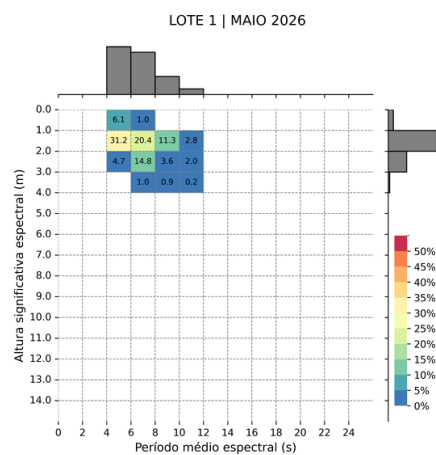
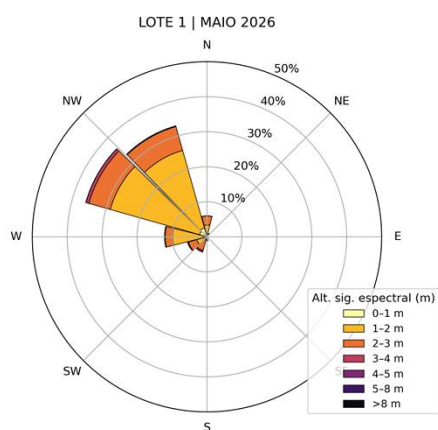


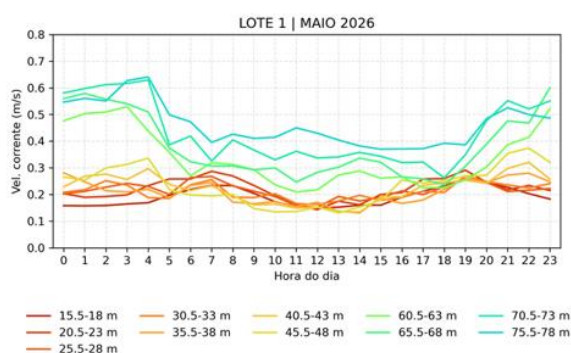
Figura 4.24. Histogramas para o Período Médio Espectral e Período de Pico, FLS LO1-Viana do Castelo, Maio de 2026 [48].



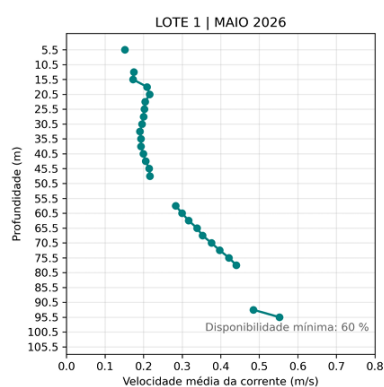
a) Diagrama de dispersão para Altura Significativa Espectral vs Período Médio Espectral.



b) Distribuição de probabilidade por sector de direcção para a Altura Significativa Espectral.



c) Perfil diário da velocidade média da corrente



d) Perfil da velocidade média da corrente em profundidade.

Figura 4.25. Caracterização estatística com base nos dados do FLS LO1-Viana do Castelo, Maio de 2026 [48].

- **LS LO3 – Figueira da Foz**

Tabela 4.6. Estatísticas mensais do recurso das ondas: FLS LO3 - Figueira da Foz, Novembro de 2025 [49].

Variável	DISP_VAL (%)	média	σ	min	máx	P50	P75	P90
Alt. sig. espectral (m)	98.80	2.93	1.01	0.73	6.81	3.04	3.56	4.13
Alt. máxima (m)	99.90	4.45	1.55	1.09	10.32	4.57	5.44	6.28
Alt. média 10% (m)	99.10	3.47	1.20	0.85	8.06	3.61	4.23	4.90
Alt. sig. (m)	99.50	2.83	0.98	0.71	6.72	2.95	3.45	3.99
Alt. média (m)	99.40	1.89	0.65	0.47	4.33	1.97	2.30	2.65
Per. médio espectral (s)	99.90	7.41	1.54	4.40	12.20	7.10	8.35	9.70
Per. pico (s)	99.90	10.92	2.31	5.40	17.10	11.10	12.50	13.80
Per. médio 10% (s)	99.80	9.88	2.02	5.30	16.20	9.60	11.10	12.90
Per. médio (s)	99.90	8.08	1.76	4.90	13.50	7.80	9.20	10.80
Per. alt. máxima (s)	99.90	4.79	0.73	3.10	7.40	4.70	5.20	5.90
Per. alt. sig. (s)	99.90	9.72	2.02	5.50	15.10	9.40	11.00	12.90
Dir. média (°)	99.90	299.95	51.99					

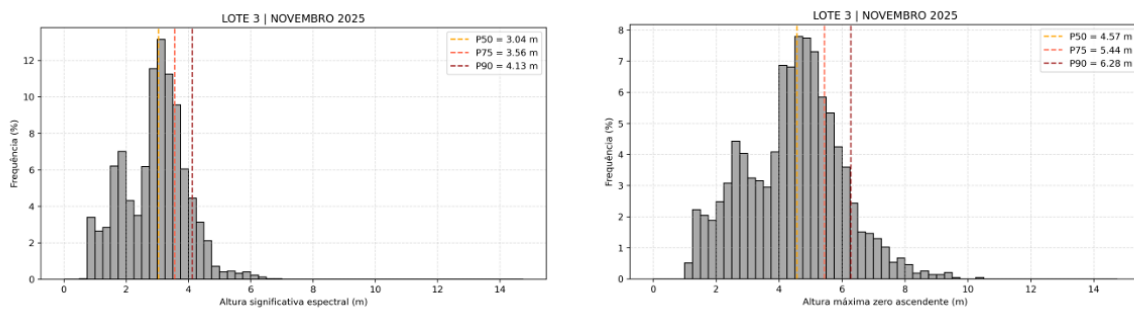


Figura 4.26. Histogramas para a Altura Significativa Espectral e Altura Máxima Zero Ascendente, FLS LO3-Figueira da Foz, Novembro de 2025 [48].

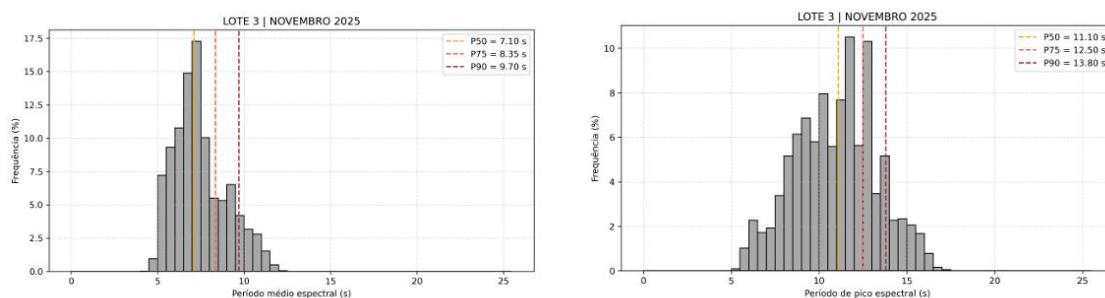
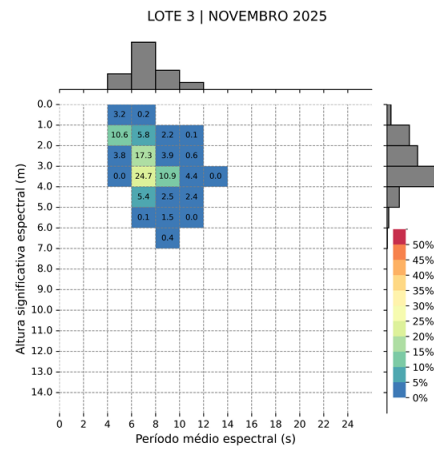
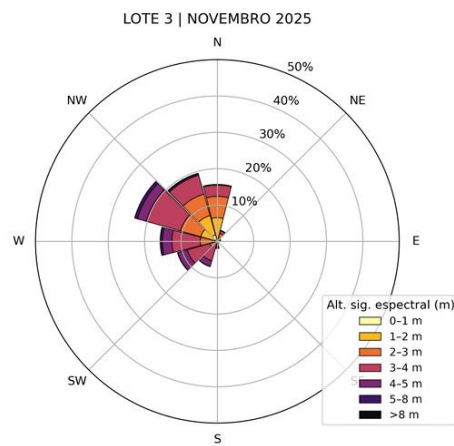


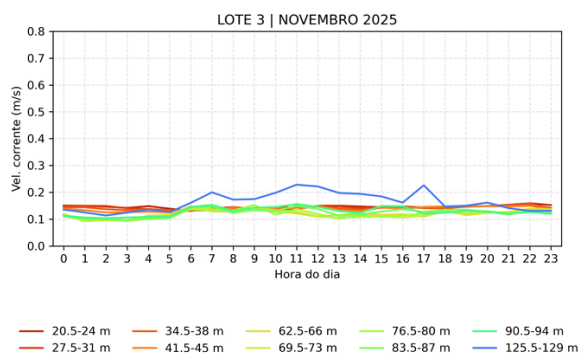
Figura 4.27. Histogramas para o Período Médio Espectral e Período de Pico, FLS LO3-Figueira da Foz, Novembro de 2025 [49].



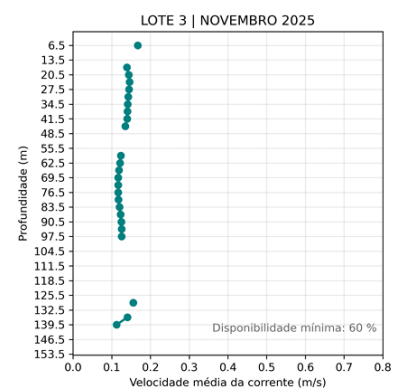
a) Diagrama de dispersão para Altura Significativa Espectral vs Período Médio Espectral.



b) Distribuição de probabilidade por sector de direção para a Altura Significativa Espectral.



c) Perfil diário da velocidade média da corrente



d) Perfil da velocidade média da corrente em profundidade.

Figura 4.28. Caracterização estatística com base nos dados do FLS LO3-Figueira da Foz, Novembro de 2025 [49].

Tabela 4.7. Estatísticas mensais do recurso das ondas: FLS LO3 - Figueira da Foz, Maio de 2026 [50].

Variável	DISP_VAL (%)	média	σ	min	máx	P50	P75	P90
Alt. sig. espectral (m)	99.60	1.79	0.59	0.78	3.78	1.65	2.13	2.72
Alt. máxima (m)	99.60	2.73	0.94	1.08	6.26	2.51	3.22	4.14
Alt. média 10% (m)	99.60	2.11	0.70	0.89	4.49	1.96	2.52	3.22
Alt. sig. (m)	99.60	1.72	0.57	0.75	3.67	1.60	2.05	2.62
Alt. média (m)	99.60	1.16	0.38	0.50	2.51	1.07	1.38	1.76
Per. médio espectral (s)	99.60	6.69	1.49	4.10	11.60	6.30	7.40	9.20
Per. pico (s)	99.50	9.86	2.05	3.60	15.10	10.00	11.10	12.50
Per. médio 10% (s)	99.60	8.79	1.80	5.00	14.90	8.60	9.90	11.40
Per. médio (s)	99.60	7.26	1.69	4.30	13.70	6.80	8.20	10.00
Per. alt. máxima (s)	99.60	4.45	0.72	3.10	7.40	4.30	4.70	5.60
Per. alt. sig. (s)	99.60	8.64	1.82	5.10	14.70	8.40	9.80	11.30
Dir. média (°)	99.60	308.21	37.90					

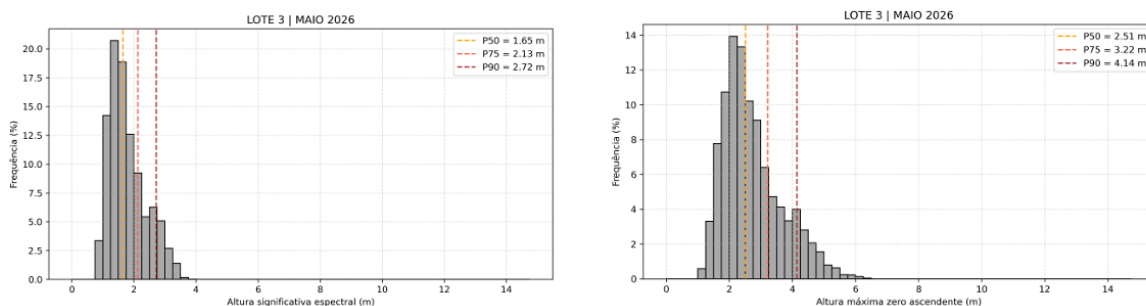


Figura 4.29. Histogramas para a Altura Significativa Espectral e Altura Máxima Zero Ascendente, FLS LO3-Figueira da Foz, Maio de 2026 [50].

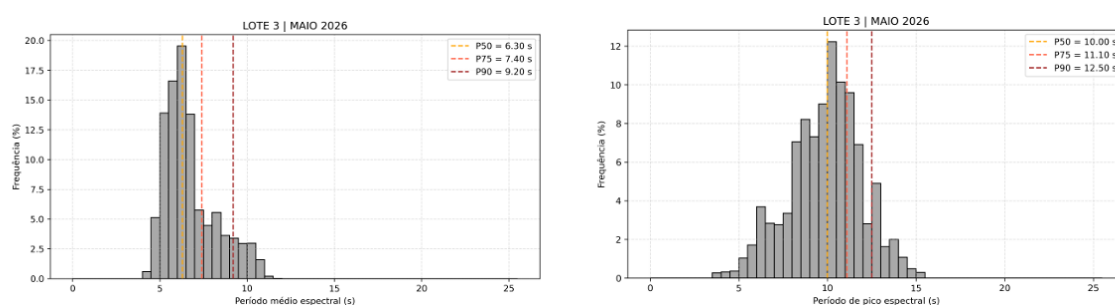
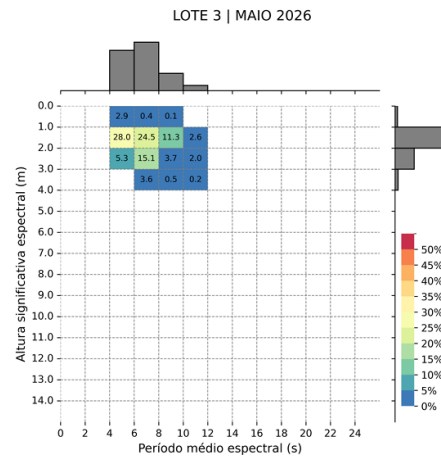
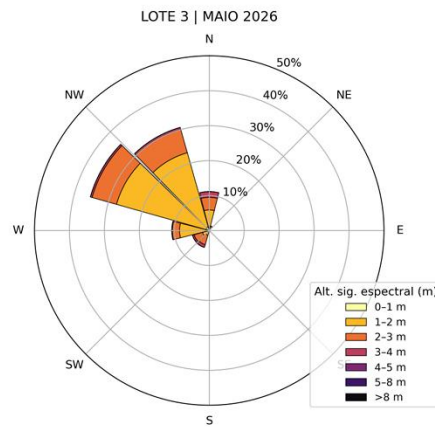


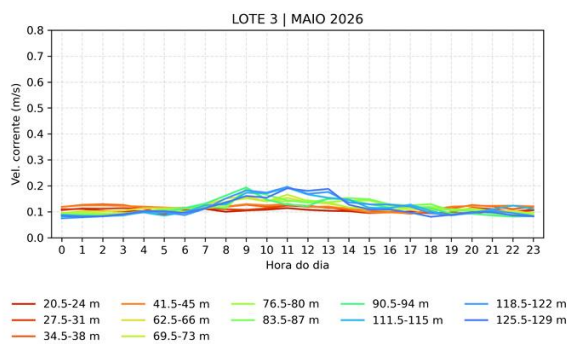
Figura 4.30. Histogramas para o Período Médio Espectral e Período de Pico, FLS LO3-Figueira da Foz, Maio de 2026 [50].



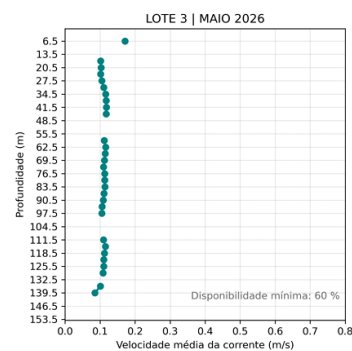
a) Diagrama de dispersão para Altura Significativa Espectral vs Período Médio Espectral.



b) Distribuição de probabilidade por sector de direção para a Altura Significativa Espectral.



c) Perfil diário da velocidade média da corrente



d) Perfil da velocidade média da corrente em profundidade.

Figura 4.31. Caracterização estatística com base nos dados do FLS LO3-Figueira da Foz, Maio de 2026 [50].

Com base nos dados obtidos também podem ser obtidas estatísticas para todo o período de dados, ou subconjuntos deste. Considerando todo o período de dados, foram obtidos diagramas de dispersão – distribuições de probabilidade bivariada – para altura significativa espectral vs período médio espectral, para os quatro lotes.

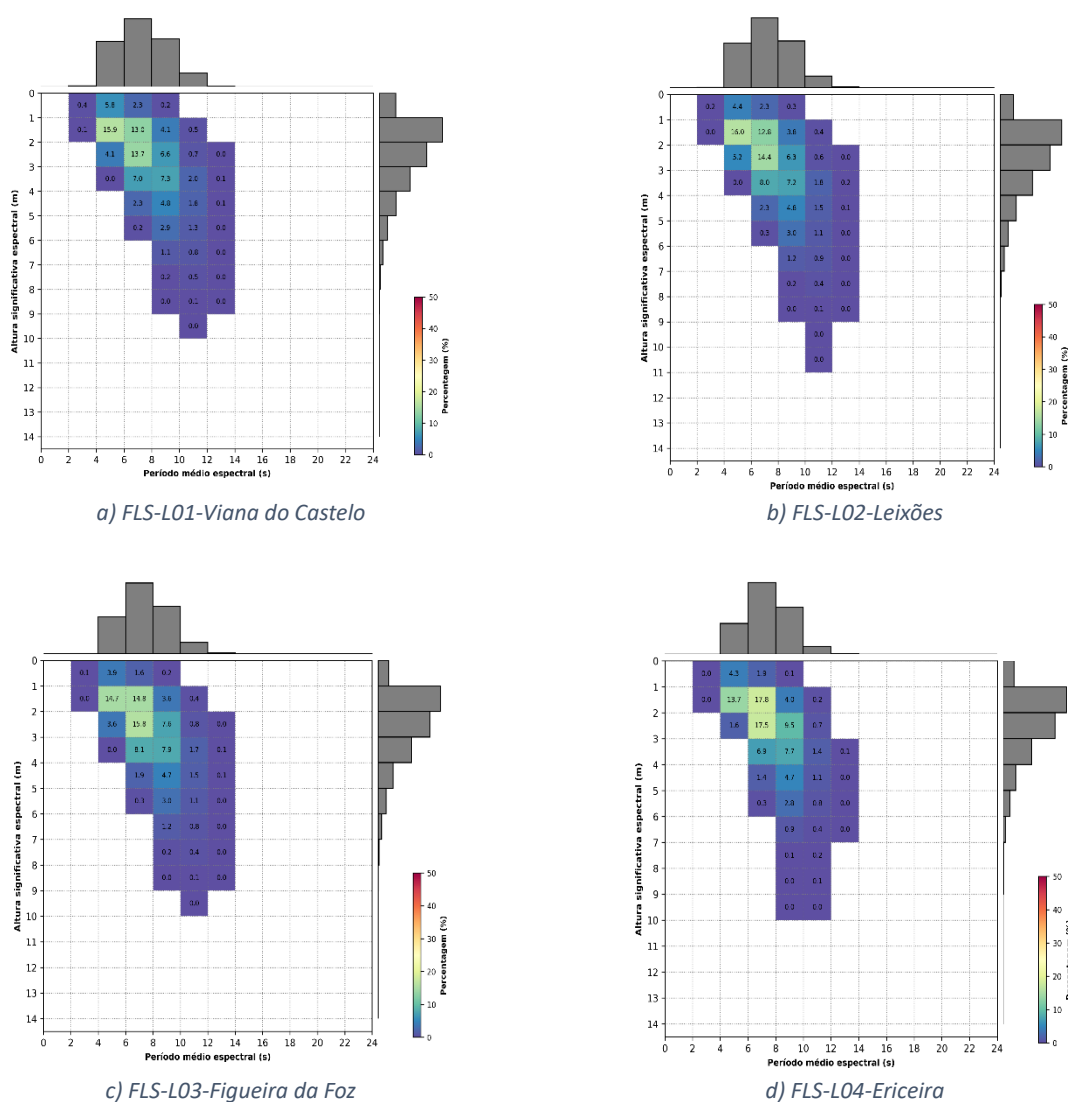


Figura 4.32. Diagramas de dispersão para Altura Significativa Espectral vs Período Médio Espectral, para todo o período de dados (1.Jul.2025 a 30.Jun2026).

5. Dados e Informação Gerados pelo Projeto

5.1. Website do projeto

No início do projeto, foi desenvolvido um *website*, de forma a disponibilizar publicamente ao setor das energias renováveis marinhas, e a outras áreas de interesse e sinergia com o Mar, uma plataforma de fácil acesso aos recursos e resultados do projeto.

Este site apresenta o enquadramento e objetivos do projeto, bem como um conjunto de informações que, de uma forma geral e acessível, ilustram as ações desenvolvidas nesta iniciativa. É ainda possível, consultar os relatórios e documentação produzida no âmbito do projeto bem como aceder a uma base de dados que permite obter conjuntos de dados medidos pelos diferentes sistemas em operação, Figura 5.1.



Figura 5.1. Website do projeto EOLOS.Mar. Página de abertura identificando as entidades financiadoras do projeto e ilustrando os menus de navegação (<https://eolosmar.lneg.pt/>).

No que diz respeito à informação referente às campanhas experimentais, o *website* apresenta um resumo de enquadramento e as características de cada tipologia de equipamento, Figura 5.2.

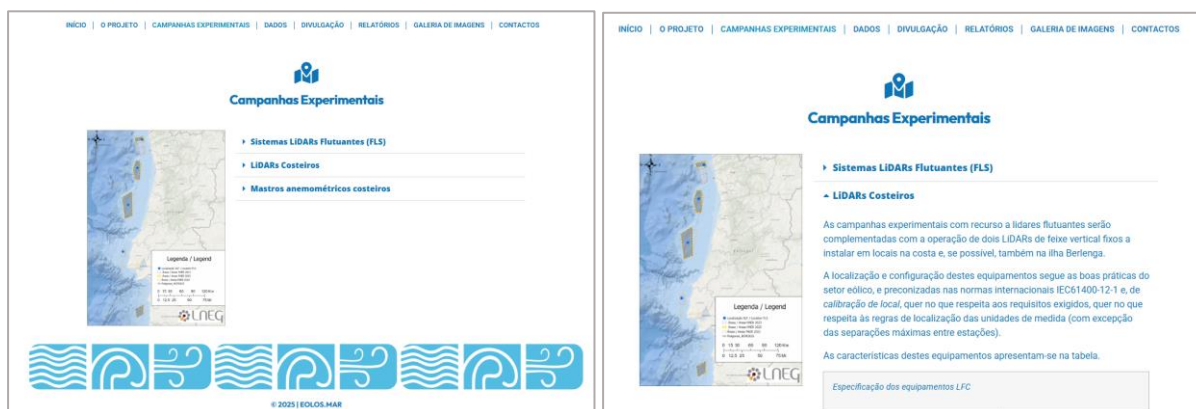


Figura 5.2. Website do projeto EOLOS.Mar. Separador "Campanhas experimentais" e detalhe referente aos LiDARs costeiros.

No separador "Divulgação" (Figura 5.3) podem consultar-se as notícias publicadas sobre o projeto, eventos realizados e outra informação referente a ações de divulgação junto de *stakeholders* e público em geral.



Figura 5.3. Website do projeto EOLOS.Mar. Separador "Divulgação".

Neste contexto, importa referir a realização de 4 sessões de apresentação e esclarecimentos ao setor das Pescas, Náutico e diferentes entidades com atividades socio-económicas no mar, com o objetivo de explicar de forma clara e desmistificar eventuais ideias menos corretas sobre este projeto, e em particular sobre a tipologia de equipamentos a colocar no mar. As apresentações destas sessões, podem ser consultadas em: [EOLOS.MAR Sessão de Esclarecimentos](#).

Finalmente, no dia 29 de julho, foi organizada pela Secretaria de Estado da Energia a sessão “[Economia Azul e Energia Oceânica](#)” que contou com a presença do Secretário de Estado Adjunto e da Energia, Jean Barroca e na qual o LNEG fez a apresentação pública dos resultados do projeto. A sessão decorreu no Edifício d’O Século e a apresentação pode ser consultada em: [Sessão pública de apresentação dos resultados EOLOS.Mar](#).

No separador “Relatórios” ([Relatórios – EOLOS MAR](#)) encontram-se armazenados os documentos produzidos no decorrer do projeto e que se referem às diferentes campanhas experimentais realizadas, desde os *Termos de Referência* elaborados na fase de início contratual, a documentos de referência do setor eólico offshore, relatórios de instalação dos equipamentos, relatórios mensais de processamento e controlo de qualidade, e os relatórios de cumprimento de metas contratuais e finais. Estes documentos encontram-se organizados cronologicamente e por tipologia de equipamento, sempre que aplicável.

Finalmente, o *website* disponibiliza uma galeria de imagens onde o utilizador poderá visualizar a informação fotográfica que documenta vários momentos do projeto, como são exemplo a instalação dos equipamentos, as sessões de apresentação e esclarecimentos e as imagens do evento na Secretaria de Estado da Energia (Figura 5.4).

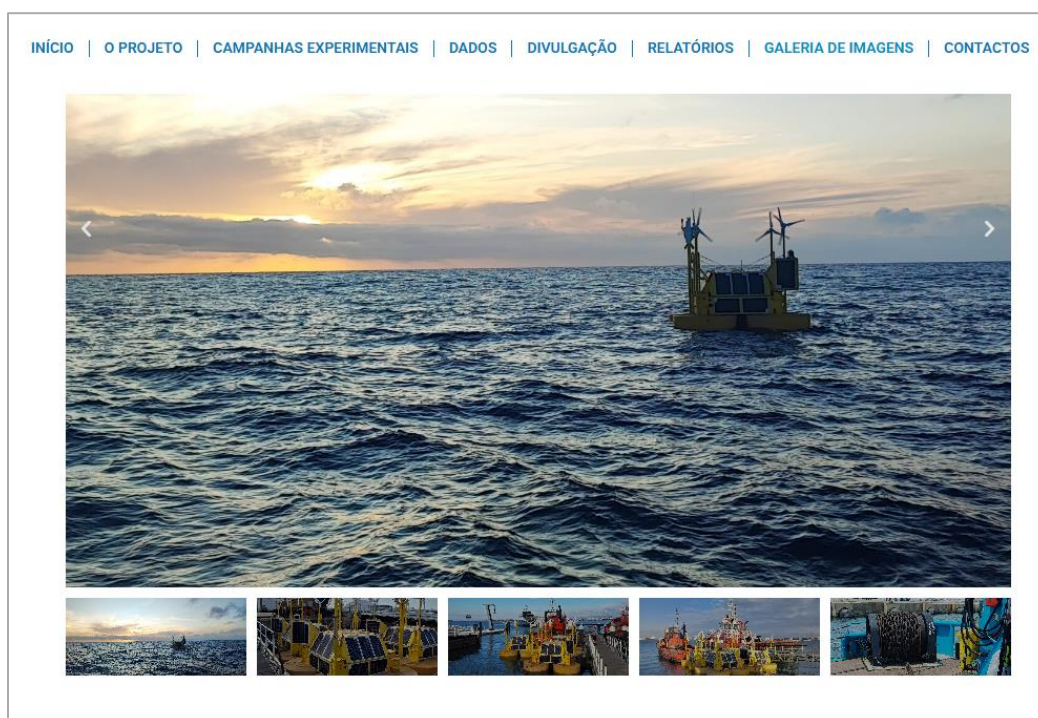


Figura 5.4. Website do projeto EOLOS.Mar. Separador "Galeria de imagens" apresentando um dos FLS.

Links úteis:

- Website do projeto – [EOLOS. Mar \(ação RP-C21-i07/2.02\)](#);
- Projeto EOLOS.Mar (ação RP-C21-i07/2.02): [Apresentação Pública de Resultados](#);
- Evidência de cumprimento das metas contratuais: [Relatório de cumprimento de metas](#)
- Repositório e Base de Dados: [Base de Dados EOLOS.Mar](#)
- Relatórios do Projeto: [Relatórios](#)

5.2. Base de Dados dos Recursos Energéticos *Offshore*

Os dados obtidos com as campanhas experimentais descritas nas secções anteriores ficarão, de acordo com o contratualmente definido, publicamente disponíveis para futuros promotores de projetos renováveis e outras atividades no Mar, *e.g.*, pesca, aquacultura, náutica de recreio.

Em Maio do corrente ano foi contratualizado o desenvolvimento de uma ferramenta informática de repositório e acesso aos dados monitorizados no âmbito do projeto, usualmente designada como “base de dados”, a qual permite consultar as diferentes campanhas experimentais e obter os dados medidos por zona do PAER, tipologia de equipamentos e sensores.

A base de dados é alimentada automaticamente por ficheiros armazenados numa pasta dedicada, alojada num servidor especificamente configurado para esse efeito. Uma aplicação/serviço de atualização executa, periodicamente, a monitorização desta pasta, identificando novos ficheiros através da informação temporal incluída no nome do ficheiro, e procede à atualização da base de dados.

Nesta base de dados, o utilizador tem à disposição 4 formatos de ficheiro disponíveis - CSV, JSON, TXT e DAT, para extração dos dados, e pode selecionar diferentes períodos à sua escolha com uma limitação máxima de 2 meses de monitorização por cada extração. O acesso à base de dados “EOLOS.Mar” onde estes dados ficarão armazenados, bem como à informação relevante associada (*e.g.*, relatórios de instalação, operação e manutenção), na página de internet do projeto EOLOS.Mar, <https://eolosmar.lneg.pt/>.

A título de exemplo, apresentam-se imagens da base de dados nas Figuras 5.5 e 5.6.

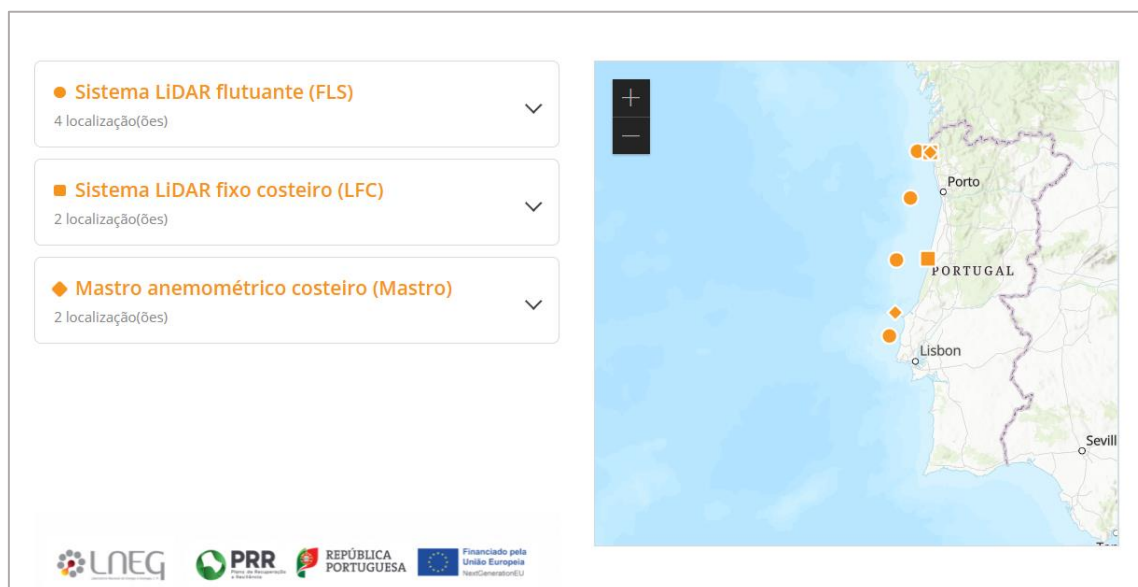


Figura 5.5. Página de abertura da base de dados EOLOS.Mar (https://eolosmar.lneg.pt/?page_id=2264).

Importa salientar que os dados disponibilizados através desta base de dados foram sujeitos a procedimentos de controlo e validação de qualidade previamente definidos e executados no âmbito das atividades deste projeto (Atividade 4), garantindo a sua integridade e adequação para utilização técnica e científica.

Adicionalmente, e de forma casuística e justificada, os utilizadores podem solicitar o acesso aos ficheiros originais não processados (dados brutos), sempre que tal seja necessário para análises específicas ou para a aplicação de metodologias específicas de tratamento de dados.

>> FLS - L1 - Viana do Castelo

Nome:
FLS - L1 - Viana do Castelo

Coordenadas :
-9.105583, 41.725517

Profundidade Local (Batimetria):
108

Campanha:
29/06/2025 -

Resolução Temporal:
10 minutos

Identificação:
Sistema LiDAR flutuante (EOLOS FLS 200)

Alturas de Medição Lidar:
10 níveis entre os 12 m e os 250 m (acima do nível médio do mar)

Profundidades de Medição ADCP:
46 níveis entre os -4.7 m e os -117.2 m

Referência:
Laboratório Nacional de Energia e Geologia (2026). Séries temporais do sistema LiDAR Flutuante. Base de Dados do Projeto PRR EOLOS.MAR. <https://doi.org/XXX>

Metadados:
Informação dos campos dos metadados (a rever)

Exportar
 Seleccione o intervalo de datas para a exportação (máximo de 2 meses).
 Data de começo: Data de fim: Formato:

Figura 5.6. Vista de consulta da informação referente à estação FLS - Viana do Castelo.

O utilizador poderá seleccionar o tipo de medição que pretende de acordo com a localização e tipologia de equipamento que pretende. Na Figura 5.7 apresenta-se um exemplo de seleção de dados FLS – LiDAR, havendo ainda, para este caso, a opção de seleção de dados METEO, ADCP e WAVES, disponíveis nesta boia.

Identificação:
Sistema LiDAR flutuante (EOLOS FLS 200)

Exportar
 Seleccione o intervalo de datas para a exportação (máximo de 2 meses).
 Data de começo: Data de fim: Formato:

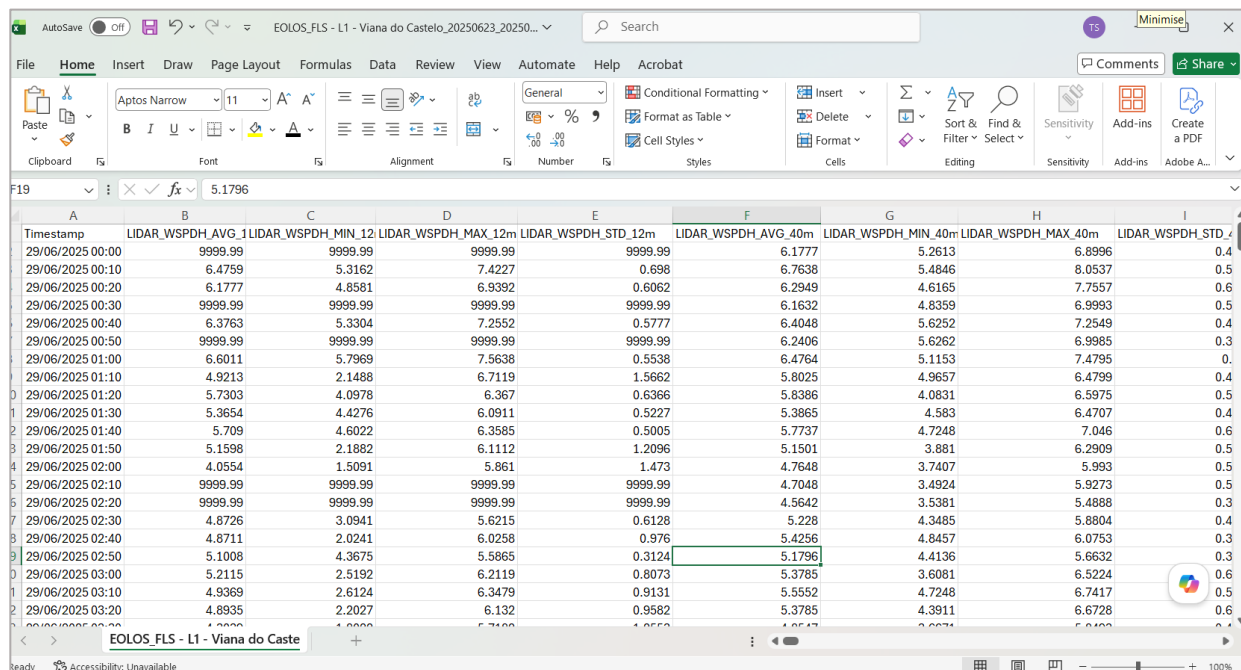
☐ Exportar Tudo

Tipo de medida
☐ ADCP ☒ LIDAR ☐ METEO ☐ WAVES

Sensores
 LIDAR

Figura 5.7. Vista de consulta da informação referente a Viana do Castelo – FLS, dados LiDAR.

Na Figura 5.8, apresenta-se o resultado da extração de dados exemplificada acima, e onde se pode ver um excerto do ficheiro de dados. Devido ao elevado volume de informação e de variáveis constantes do ficheiro (número de colunas), apresentam-se, apenas os dados correspondentes às cotas mais baixas.



Timestamp	LIDAR_WSPDH_AVG_12m	LIDAR_WSPDH_MIN_12m	LIDAR_WSPDH_MAX_12m	LIDAR_WSPDH_STD_12m	LIDAR_WSPDH_AVG_40m	LIDAR_WSPDH_MIN_40m	LIDAR_WSPDH_MAX_40m	LIDAR_WSPDH_STD_40m
29/06/2025 00:00	9999.99	9999.99	9999.99	9999.99	6.1777	5.2613	6.8996	0.4
29/06/2025 00:10	6.4759	5.3162	7.4227	0.698	6.7638	5.4846	8.0537	0.5
29/06/2025 00:20	6.1777	4.8561	6.9392	0.6062	6.2949	4.6165	7.7557	0.6
29/06/2025 00:30	9999.99	9999.99	9999.99	9999.99	6.1632	4.8359	6.9993	0.5
29/06/2025 00:40	6.3763	5.3304	7.2552	0.5777	6.4048	5.6252	7.2549	0.4
29/06/2025 00:50	9999.99	9999.99	9999.99	9999.99	6.2406	5.6262	6.9985	0.3
29/06/2025 01:00	6.6011	5.7969	7.5638	0.5538	6.4764	5.1153	7.4795	0.1
29/06/2025 01:10	4.9213	2.1488	6.7119	1.5662	5.8025	4.9657	6.4799	0.4
29/06/2025 01:20	5.7303	4.0978	6.367	0.6366	5.8386	4.0831	6.5975	0.5
29/06/2025 01:30	5.3654	4.4276	6.0911	0.5227	5.3865	4.583	6.4707	0.4
29/06/2025 01:40	5.709	4.6022	6.3585	0.5005	5.7737	4.7248	7.046	0.6
29/06/2025 01:50	5.1598	2.1882	6.1112	1.2096	5.1501	3.881	6.2909	0.5
29/06/2025 02:00	4.0554	1.5091	5.861	1.473	4.7648	3.7407	5.993	0.5
29/06/2025 02:10	9999.99	9999.99	9999.99	9999.99	4.7048	3.4924	5.9273	0.5
29/06/2025 02:20	9999.99	9999.99	9999.99	9999.99	4.5642	3.5381	5.4888	0.3
29/06/2025 02:30	4.8726	3.0941	5.6215	0.6128	5.228	4.3485	5.8804	0.4
29/06/2025 02:40	4.8711	2.0241	6.0258	0.976	5.4256	4.8457	6.0753	0.3
29/06/2025 02:50	5.1008	4.3675	5.5865	0.3124	5.1796	4.4136	5.6632	0.3
29/06/2025 03:00	5.2115	2.5192	6.2119	0.8073	5.3785	3.6081	6.5224	0.6
29/06/2025 03:10	4.9369	2.6124	6.3479	0.9131	5.5552	4.7248	6.7417	0.5
29/06/2025 03:20	4.8935	2.2027	6.132	0.9582	5.3785	4.3911	6.6728	0.6

Figura 5.8. Excerto de ficheiro de dados extraído da base de dados EOLOS.Mar.

O processo de atualização contínua e disponibilização pública da informação assegura ao setor das energias marinhas (e aos demais utilizadores do espaço marítimo) o acesso a dados fiáveis, atualizados e consistentes, promovendo uma utilização eficaz da informação disponibilizada.

5.3. Atlas do recurso eólico por área PAER

Nas Figuras 5.9 e 5.10 são apresentados dois parâmetros caracterizadores do recurso eólico *offshore* monitorizado nas áreas do PAER à cota de 160 m - a velocidade do vento e o fluxo de potência incidente - sobrepostos aos mesmos parâmetros do Atlas do Recurso Eólico Offshore, atlas este que foi calculado para um ano típico no âmbito do projeto POSEUR OffshorePlan.

Importa referir que é expectável que os valores apresentados nestas figuras venham a ser alterados após a recuperação das falhas de dados e a correção do período de monitorização para um “ano típico”, procedimentos esses cruciais para reduzir a incerteza na caracterização do recurso eólico disponível.

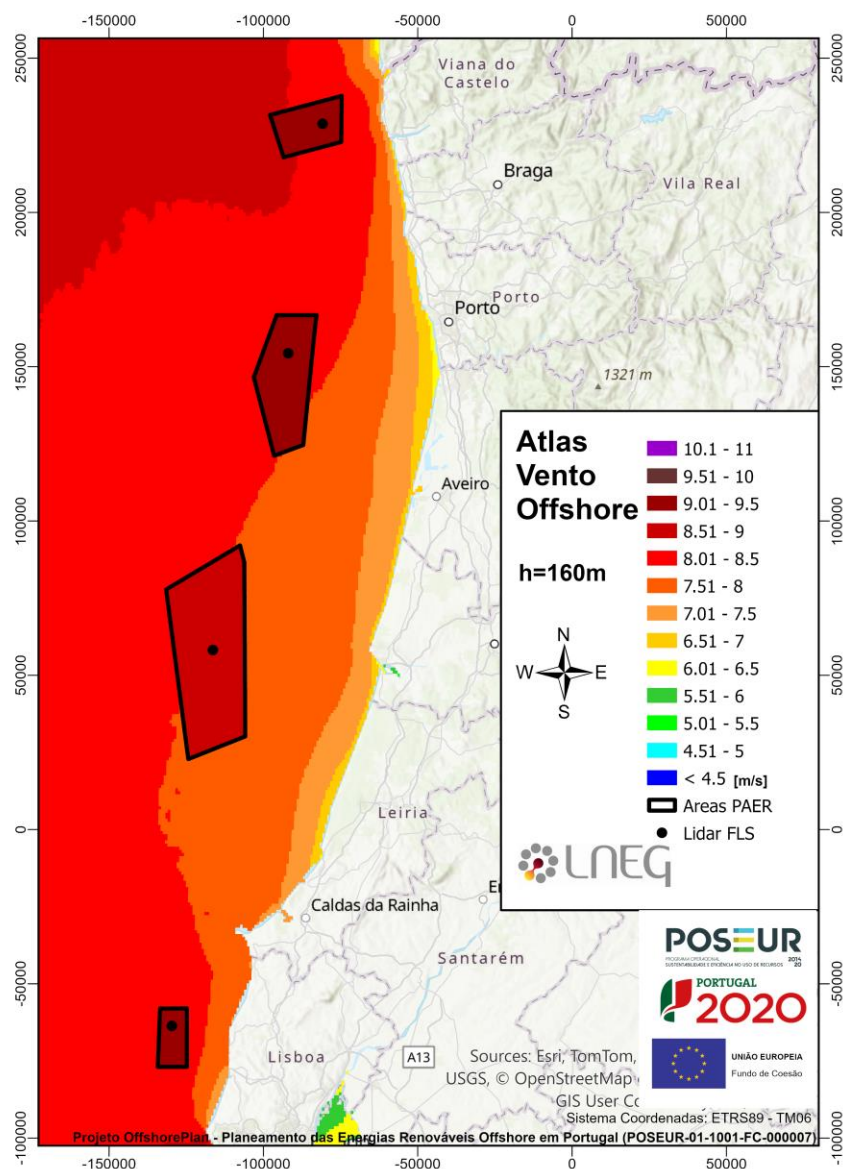


Figura 5.9. Atlas da velocidade (horizontal) do vento ao longo da costa portuguesa (recurso eólico das áreas PAER sobreposto ao Atlas Offshore obtido no projeto POSEUR OffshorePlan, h=160m).

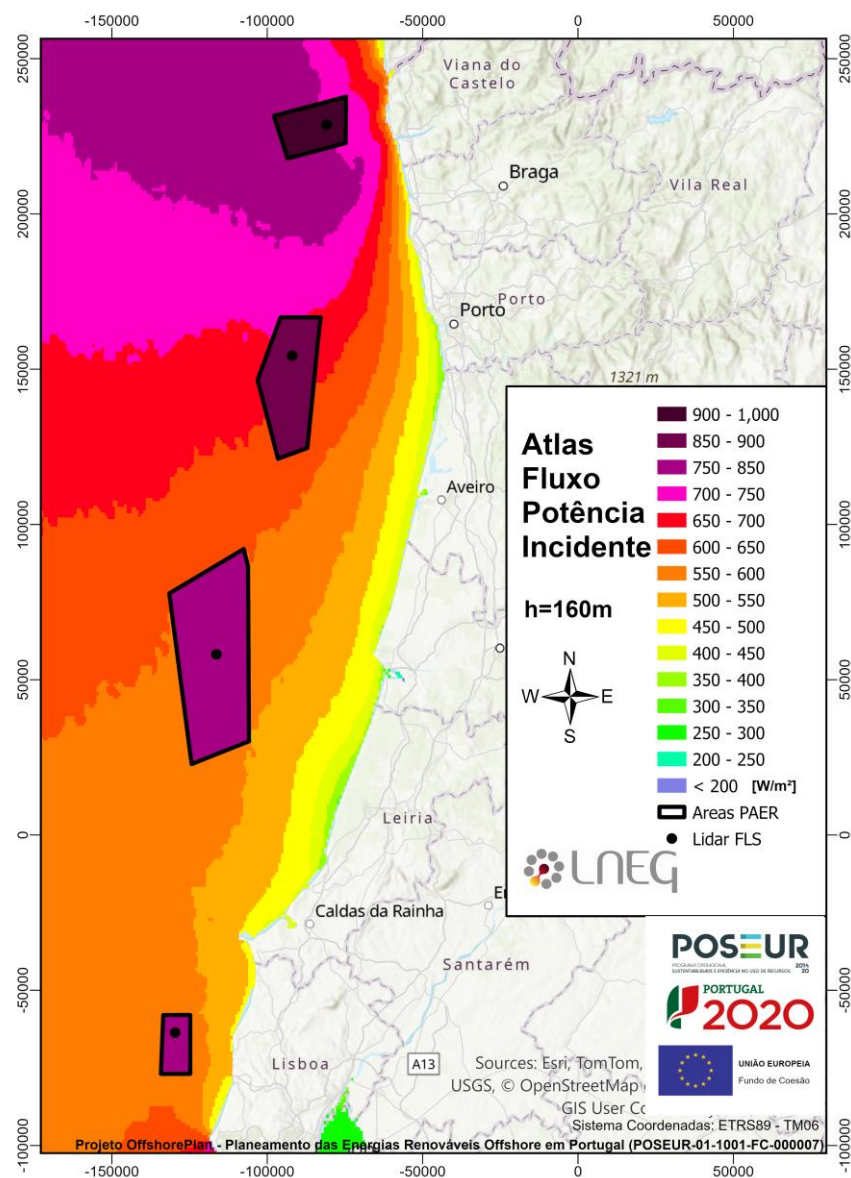


Figura 5.10. Atlas do fluxo de potência incidente ao longo da costa portuguesa (recurso eólico das áreas PAER sobreposto ao Atlas Offshore obtido no projeto POSEUR OffshorePlan, h=160m).

6. Síntese

O presente documento corresponde ao relatório de cumprimento de metas do investimento **PRR C21-I07.02: “Estudos Técnicos para o Potencial Energético Offshore” - Projeto LNEG EOLOS.Mar**, e evidencia a execução integral das metas contratualizadas entre o LNEG e a EMRP – Entidade de Missão recuperar Portugal.

Pese embora tenha sido obtido um adiamento do cumprimento dessas metas, de 30 de Junho, para 31 de Agosto de 2026, os dados indicadores do cumprimento das metas contratuais foram atingidos no final de Junho de 2026, pese embora a sua disponibilização pública só tenha sido possível a partir do final de Julho, por forma a permitir o controlo de qualidade dos dados e o seu processamento estatístico.

Durante 12 meses, foram monitorizados os recursos renováveis offshore em quatro áreas definidas no PAER (versão submetida a consulta pública), abrangendo uma superfície de 2452 km². Para esse efeito, foram instalados quatro sistemas FLS (*Floating LiDAR Systems*) ao largo da Figueira da Foz, Ericeira, Leixões e Viana do Castelo, que permitiram a monitorização e registo de dados para a caracterização dos recursos energéticos marinhos (eólico *offshore*, de ondas e correntes), bem como de outras propriedades relevantes das condições oceânicas.

De forma complementar, seguindo as boas práticas do sector e as recomendações internacionais existentes, foram instalados sistemas de monitorização em zonas costeiras, baseados em tecnologia LiDAR e de anemometria convencional, que operaram em simultaneidade com os sistemas FLS.

Todos os dados de vento e oceânicos recolhidos, tanto *offshore* como costeiros, foram sujeitos a procedimentos de controlo e garantia de qualidade externos, assegurando a validação independente das medições e a conformidade com as melhores práticas internacionais aplicáveis ao setor eólico *offshore*.

Em conformidade com o definido contratualmente, toda a informação relevante não sensível para as empresas prestadoras de serviços, incluindo, por exemplo, relatórios de instalação e de operação, bem como os dados resultantes das campanhas experimentais, já após controlo de qualidade, encontram-se publicamente disponíveis no *website* do projeto (<https://eolosmar.lneg.pt>).

Pretende-se que esta disponibilização pública contribua para apoiar futuros promotores de projetos de energias renováveis e apoie outras atividades marítimas, *e.g.*, pesca, aquacultura e náutica de recreio.

7. Referências

- [1] Despacho n.º 11404/2022, de 23 de setembro. Diário da República n.º 185/2022, Série II de 2022-09-23. Parte C - Governo e Administração direta e indireta do Estado. Disponível em [Despacho n.º 11404/2022, de 23 de setembro | DR](#). Acedido em 05.08.2026.
- [2] Grupo de Trabalho para o planeamento e operacionalização de centros eletroprodutores baseados em fontes de energias renováveis de origem ou localização oceânica (Despacho n.º 11404/2022, de 23 de setembro - Relatório final, maio 2023, 306 pp. Disponível em https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2023/07/20230531-GTOffshore_RelatorioFinal_vfinal.pdf, acedido em 29.11.2023.
- [3] Consulta Pública - Plano de Afetação para Energias Renováveis Offshore - PAER. Disponível em <https://participa.pt/pt/consulta/plano-de-afetacao-para-energias-renovaveis-offshore-paer>, acedido em 04.08.2026
- [4] Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2025, de 7 de fevereiro. Diário da República n.º 27/2025, série I de 07.02.2025. Disponível em [Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2025, de 7 de fevereiro | DR](#), acedido em 04.08.2026
- [5] RP-C14-i05: Estudos Técnicos para potencial energético offshore. Extrato PRR pp-98-104. Republicado em <https://recuperarportugal.gov.pt/wp-content/uploads/2024/04/PRR-Adenda-20230526.pdf>, acedido em 04.08.2026.
- [6] LNEG, Projecto EOLOS.Mar: Caracterização do Recurso Eólico ao largo da Costa Portuguesa. Conceção, condições mínimas e termos de referência das campanhas experimentais. Ação RP-C21-i07.02 - Estudos técnicos para potencial energético offshore. LNEG, Fevereiro 2024, pp 31. Disponível em: https://eolosmar.lneg.pt/wp-content/uploads/2025/10/S5.1_TermosRef_RecursoEolicoOffshore_LNEG_VF.pdf, acedido em 04.08.2026
- [7] LNEG, Projecto P2020/POSEUR OffshorePlan - Planeamento do Aproveitamento das Energias Renováveis Offshore em Portugal (POSEUR-01-1001-FC-000007). Disponível em: <https://offshoreplan.lneg.pt>, acedido em 29.11.2023.
- [8] Estanqueiro, A., Projecto EOLOS.Mar: Caracterização do Recurso Eólico ao largo da Costa Portuguesa no âmbito da acção RP-C21-i07/2.02 - Estudos técnicos para potencial energético offshore. Proposta de projecto (documento interno). LNEG - Unidade de Energias Renováveis Eficiência Energética (UEREE) Dezembro 2023, 31 pp.
- [9] Floating LiDAR Systems. Expert Group Report on Recommended Practices. RP18. First Edition 2017. Submitted to the Executive Committee of the International Energy Agency Implementing Agreement for Co-Operation in the Research, Development and Deployment of Wind Energy Systems, Setembro 2017, p. 89. Disponível em: <https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2020/12/IEA-Wind-RP-18-Floating-Lidar-Systems-fnl1.pdf>, acedido em 29.11.2023.

- [10] Carbon Trust, Offshore Wind Accelerator Roadmap for the Commercial Acceptance of Floating LiDAR Technology. DNV GL, Frazer-Nash Consultancy, Multiversum Consulting, Fraunhofer IWES Version 2.0, p. 49. Outubro 2018. Disponível em: <https://ctprodstorageaccountp.blob.core.windows.net/prod-drupal-files/documents/resource/public/Roadmap%20for%20Commercial%20Acceptance%20of%20Floating%20LiDAR%20REPORT.pdf>, acedido em 29.11.2023.
- [11] Offshore Wind Accelerator (OWA). Disponível em: <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/impact-stories/offshore-wind-accelerator-owa>, acedido em 29.11.2023.
- [12] Floating LiDAR Roadmap – Supplementary Guidance Note Carbon Trust Offshore Wind Accelerator Roadmap for the Commercial Acceptance of Floating LiDAR Technology. Disponível em <https://www.carbontrust.com/sites/default/files/documents/resource/public/Roadmap%20for%20Commercial%20Acceptance%20of%20Floating%20LiDAR%20REPORT%20PART%20B%20GUIDANCE%20NOTE%20S.pdf>, acedido em 29.11.2023
- [13] International Electrotechnical Commission. (2017). Wind energy generation systems—Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. International Electrotechnical Commission (IEC), IEC Central Office, 3, 2017-03.
- [14] Estanqueiro, A., Couto, A., e Rodrigues, L. (2016). A Spatiotemporal Methodology for Deep Offshore Resource Assessment, 143-160, 2016. Em: Castro-Santos, L., Diaz-Casas, V. (eds) Floating Offshore Wind Farms. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27972-5_8
- [15] International Electrotechnical Commission. (2022). Wind energy generation systems - Part 50-1: Wind measurement - Application of meteorological mast, nacelle and spinner mounted instruments. IEC, IEC Central Office, 3, 2022-11. 162 pp.
- [16] International Electrotechnical Commission. (2022). Wind energy generation systems - Part 50-2: Wind measurement - Application of ground-mounted remote sensing technology. IEC, IEC Central Office, 3, 2022-08. 83pp
- [17] LNEG. Selecção de áreas “preferenciais” para o desenvolvimento de centros eletroprodutores eólicos. I. Eólica Flutuante: Eólica Flutuante: zonagem das áreas preferenciais. GT Offshore - Subgrupo 1, Março 2022. Pp13.
- [18] Decreto-Lei n.º 38/2015 de 12 de Março. Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/38-2015-66727183>, acedido em 04.08.2026
- [19] Clive, Peter J. M. (2008), "Lidar and resource assessment for wind power applications: the state of the art," Proc. SPIE 7111, Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing IV, 711107; DOI: <https://doi.org/10.1117/12.800284>.
- [20] Darby, L. S., Banta, R. M., e Pielke, R. A. (2002). Comparisons between mesoscale model terrain sensitivity studies and Doppler lidar measurements of the sea breeze at Monterey Bay. Monthly weather

review, 130(12), 2813-2838. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<2813:CBMMTS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<2813:CBMMTS>2.0.CO;2)

[21] Manwell, J., Rogers, A., McGowan, J., e Elkinton, C. (2004). Characterization of external conditions for the design of offshore wind energy systems for the United States. Em 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (p. 1008).

[22] Oldroyd, A., Stickland, M. T., Hasager, C. B., Mikkelsen, T., e Estanqueiro, A. (2009). EU-Norsewind: delivering offshore wind speed data. Poster apresentado em European Offshore Wind Conference and Exhibition. Disponível em: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/3702724/oldroyd_offshore_poster.pdf, acedido em 06.08.2026

[23] Oldroyd, A., Hasager, C. B., Stickland, M. T., Mikkelsen, T., e Estanqueiro, A. (2013). EU FP7 NORSEWInD. A project based Wind Atlas. Poster apresentado em EWEA Offshore 2013. Disponível em: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/files/74179358/EU_FP7_NORSEWInD_poster.pdf, acedido em 06.08.2026

[24] Kindler, D., Courtney, M., e Oldroyd, A. (2009). Testing and calibration of various LiDAR remote sensing devices for a 2 year offshore wind measurement campaign. In European Wind Energy Conference 2009.

[25] Peña, A., Gryning, S. E., e Hasager, C. B. (2008). Measurements and modelling of the wind speed profile in the marine atmospheric boundary layer. Boundary-layer meteorology, 129, 479-495. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-008-9323-9>

[26] Shu, Z. R., Li, Q. S., He, Y. C., e Chan, P. W. (2016). Observations of offshore wind characteristics by Doppler-LiDAR for wind energy applications. Applied Energy, 169, 150-163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.135>

[27] Goit, J. P., Yamaguchi, A., e Ishihara, T. (2020). Measurement and prediction of wind fields at an offshore site by scanning Doppler LiDAR and WRF. Atmosphere, 11(5), 442. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11050442>

[28] Kim, J. Y., Oh, K. Y., Kim, M. S., e Kim, K. Y. (2019). Evaluation and characterization of offshore wind resources with long-term met mast data corrected by wind LiDAR. Renewable Energy, 144, 41-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.097>

[29] NORSOK. NORSOK M-501:2022 – Surface Preparation and Protective Coating. Oslo: Standards Norway, 2022.

[30] ISO. ISO 12944-9:2018: Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures.

- [31] International Electrotechnical Commission. (2025). Wind energy generation systems - Part 50-4: Use of floating lidar systems for wind measurements. IEC, IEC Central Office, 3, 2025-09. 81 pp.
- [32] International Electrotechnical Commission. (2021). IEC TS 62600-10: Marine energy - Wave, tidal and other water current converters - Part 10: Assessment of mooring system for marine energy converters (MECs). Technical Specification. IEC, IEC Central Office, 3, 2021-07. 66pp.
- [33] DNV Offshore Standards (2021). DNV-OS-E301: Position mooring. DNV. 07.2021. 156 pp.
- [34] DNV Offshore Standards (2018). DNV-OS-E303: Offshore fibre ropes. DNV. 07.2018, retificada em 08.2021. 89 pp.
- [35] Ferran, C., Document Deliverables Plan – Lote 1 – E02, EOLOS Wind Ocean Environment relatório EOL-LO105-V02, Abril 2025, 8 pp.
- [36] Ferran, C., Document Deliverables Plan – Lote 2 – E10, EOLOS Wind Ocean Environment relatório EOL-LO203-V02, Abril2025, 8 pp.
- [37] C. Ferran, Document Deliverables Plan – Lote 3 – E15, EOLOS Wind Ocean Environment relatório EOL-LO303-V02, Abril2025, 8 pp.
- [38] C. Ferran, Document Deliverables Plan – Lote 4 – E42, EOLOS Wind Ocean Environment relatório EOL-LO403-V02, Abril 2025, ,8 pp.
- [39] Casas, H., e Ferran C., CAMPAIGN DEPLOYMENT REPORT (VIANA DO CASTELO – LOTE 1). EOLOS Wind Ocean Environment, Julho 2025, 29 pp.
- [40] Andreu, I., e Ferran, C., CAMPAIGN DEPLOYMENT REPORT (LEIXÕES – LOTE 2). EOLOS Wind Ocean Environment, Julho 2025, 28 pp.
- [41] Andreu, I., e Ferran, C., CAMPAIGN DEPLOYMENT REPORT (FIGUEIRA DA FOZ – LOTE 3). EOLOS Wind Ocean Environment, Julho 2025, 27pp.
- [42] Andreu, I., e Ferran, C., CAMPAIGN DEPLOYMENT REPORT (ERICEIRA – LOTE 4). EOLOS Wind Ocean Environment, Julho 2025, 28pp.
- [43] Irvine, M., e D. Jamieson, Work Plan - Provision of two ZX300 Lidar at Figueira da Foz & Viana do Castelo. ZX Measurements Services, Novembro 2025, 8pp.
- [44] Silva, D., Alves, C., e Jamieson, D., ZX300 LIDAR DEPLOYMENT REPORT. ZX6158 at Figueira Da Foz on 26/02/2026. ZX Measurements, Março 2026, 15 pp.
- [45] Silva, D., Alves, C., e Jamieson, D., ZX300 LIDAR DEPLOYMENT REPORT. ZX6157 at Viana do Castelo on 24/02/2026. ZX Measurements, Março 2026, 15pp.

[46] Pinho, R., e Guimarães, S., PORT1617 – Viana do Castelo. Description of the experimental apparatus. INEGI, Maio de 2026, 43pp.

[47] Instituto Hidrográfico, Ficha mensal de dados recolhidos no âmbito do projeto EOLOS.MAR. Lote1, Viana do Castelo, Novembro de 2025, 31 pp.

[48] Instituto Hidrográfico, Ficha mensal de dados recolhidos no âmbito do projeto EOLOS.MAR. Lote1, Viana do Castelo, Maio de 2026 , 31 pp.

[49] Instituto Hidrográfico, Ficha mensal de dados recolhidos no âmbito do projeto EOLOS.MAR. Lote 3, Figueira da Foz, Novembro de 2025, 31 pp.

[50] Instituto Hidrográfico, Ficha mensal de dados recolhidos no âmbito do projeto EOLOS.MAR. Lote 3, Figueira da Foz, Maio de 2026, 31 pp.