



Laboratório Nacional de Energia e Geologia.

**Unidade de Energias Renováveis Eficiência
Energética (UEREE)**

Caracterização do Recurso Eólico ao largo da Costa Portuguesa

*Conceção, condições mínimas e termos de referência
das campanhas experimentais*

Projeto

RP-C21-i07.02 - Estudos técnicos para potencial energético offshore

(Versão Final)

LNEG
Fevereiro 2024

Resumo

A criação do grupo de trabalho através do **Despacho interministerial nº 11404/2022**, de 23 de setembro, permitiu identificar zonas de costa com indicadores adequados, e levou à definição do **Plano de Afetação para o desenvolvimento de Energias Renováveis offshore (PAER)**, objecto de recente consulta pública. Nesse contexto, foi definido o projeto **“RP-C21-i07.02 “Estudos técnicos para potencial energético offshore”**, financiado pelo **Plano de Recuperação e Resiliência (PRR)**, para a condução de estudos técnicos para a caracterização do potencial eólico *offshore* em regiões que contidas no PAER.

O presente documento 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 que estas devem seguir, tendo por base a utilização de **Sistemas *light detection and ranging* (LiDAR) Flutuantes (FLS)**, apoiados simultaneamente em estações meteorológicas de anemometria convencional e sistemas LiDAR fixos costeiros, seguindo 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*.

As campanhas experimentais desenvolver-se-ão nas áreas de intervenção definidas no PAER, objeto de recente consulta pública - ou que nelas tenham origem, com uma extensão de 2000 km² - e terão uma duração mínima de 12 meses consecutivos, no que respeita à operação de sistemas LiDAR flutuantes.

Após a realização das campanhas experimentais deverão ser obtidos dados que permitam caracterizar o recurso energético do vento, as condições de mar, incluindo os recursos energéticos das ondas e correntes e outras propriedades das áreas em estudo, que facilitem, a futuros investidores, o desenvolvimento de projetos de centrais renováveis nestas regiões da Costa Portuguesa. Todos os dados medidos serão disponibilizados publicamente, conforme determinado pela entidade financiadora.

O presente documento apresenta os requisitos mínimos das campanhas experimentais no âmbito do projeto **“RP-C21-i07.02 “Estudos técnicos para potencial energético offshore”**, financiado pelo **Plano de Recuperação e Resiliência (PRR)** bem como os termos gerais de referência para outras campanhas de caracterização do potencial energético do vento (e de ondas e correntes) na Costa Portuguesa.

Índice

Resumo	2
1 Estudo Técnico do Recurso Energético <i>Offshore</i> no âmbito do Projeto: RP-C21-i07.02.....	4
1.1 Introdução e contextualização.....	4
2 Campanhas Experimentais e Tipologia de Equipamentos: Projeto RP-C21-i07.02	5
2.1 Sistemas LiDARs Flutuantes – FLS	7
2.2 Estações Meteorológicas em Terra.....	13
2.2.1. Estações Costeiras (anemometria convencional)	13
2.2.2 Estações Costeiras (sistema LiDAR Fixo - LFC)	15
2.3 Dados e Informação a Obter	16
2.4 Síntese de Requisitos Mínimos no Âmbito do Projeto RP-C21-i07.02.....	18
3 Relatórios e Outros <i>Entregáveis</i>	19
4 Termos Gerais de Referência para Campanhas de Avaliação Energética <i>Offshore</i>	21
5 Notas Finais	22
Referências.....	23
Anexo I. Graus de Maturidade de FLS: Pré-requisitos e Duração dos Testes	25
Anexo II. Dados Disponíveis para Avaliação da Energia das Ondas	27
Anexo III. Indicadores de Desempenho de Sistemas LiDARs Flutuantes (KPIs)	28

1 Estudo Técnico do Recurso Energético *Offshore* no âmbito do Projeto: RP-C21-i07.02

1.1 Introdução e contextualização

O objetivo deste documento consiste em identificar os requisitos mínimos genéricos que deverão ser seguidos no estudo conducente à caracterização energética do recurso eólico *offshore* nas áreas propostas para instalação de infraestruturas para geração de energia eólica *offshore*, de acordo com o definido no investimento “**RP-C21-i07.02 “Estudos técnicos para potencial energético offshore”**”. Pretende-se com o estudo a realizar, alcançar os seguintes objetivos:

- Obter dados experimentais conducentes à caracterização: i) energética do recurso eólico; ii) à sua disponibilidade e distribuição espacial (3D) 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 dos projetos, no que se refere à operação e manutenção de turbinas e centrais eólicas *offshore*;
- Caracterizar o estado do mar, *e.g.*, ondulação, temperatura, salinidade, correntes superficiais e outros parâmetros com impacto na operação, manutenção e disponibilidade de turbinas e centrais eólicas;
- Sempre que técnica e financeiramente viável, caracterizar parâmetros relevantes para futuros usos sinérgicos das áreas em estudo, *e.g.*, aquacultura, ou outros afins.

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

Estes estudos a conduzir serão programados e desenvolvidos de forma articulada com a entidade responsável pela caracterização geofísica, nomeadamente, no que respeita à seleção das áreas a caracterizar, devendo ser garantida ao LNEG a informação existente relativa a fundos marinhos, que se possa revelar relevante para a ancoragem de sistemas flutuantes de monitorização do recurso eólico, previstos nas campanhas experimentais. Adicionalmente, o planeamento e desenvolvimentos dos estudos a conduzir em cada área (ou subárea) serão realizados em estreita articulação com a entidades responsáveis pela caracterização geofísica - o IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera, as entidades licenciadoras e tutelares, por forma a assegurar que são satisfeitos os requisitos subjacentes ao financiamento da atividade, bem como à prossecução do processo de licenciamento da capacidade eólica a desenvolver em cada área.

Os requisitos mínimos identificados neste documento, devem ser entendidos como termos de referência gerais e principais características dos dados que será necessário reunir em campanhas similares, e dos equipamentos que os permitem caracterizar.

2 Campanhas Experimentais e Tipologia de Equipamentos: Projeto RP-C21-i07.02

Para a realização das campanhas experimentais para o estudo do potencial eólico *offshore*, bem como de outros recursos energéticos ao largo da Costa Portuguesa, reveste-se da maior importância a seleção dos equipamentos a instalar, quer no que respeita à monitorização dos parâmetros selecionados, quer na configuração das estruturas de suporte, flutuação, amarração e apoio, bem como na articulação entre campanhas no mar – normalmente com duração mínima de 12 meses - com medições costeiras de longo termo recorrendo a sistemas LiDAR fixos e anemometria de copos. De igual forma, a localização dos sistemas de medição e a duração das campanhas experimentais deve ser cuidadosamente planeada de forma a minimizar incertezas nas estimativas de produção energética das futuras centrais eólicas - ou de outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis - que se venham a instalar na Costa Portuguesa.

Neste projeto pretende-se caracterizar o recurso energético do escoamento atmosférico, bem como os recursos das ondas e correntes, numa área de mar com a dimensão de 2000 km² ao largo da costa portuguesa, nas zonas definidas pelo Plano de Afetação para as Energias Renováveis *Offshore* (objeto de consulta pública recente), conforme globalmente definido na proposta de Investimento PRR RP-C21-i07.02.

Um majorante das potenciais áreas de intervenção das campanhas experimentais é representado pelas zonas identificadas na Figura 1, nas quais se pretendem instalar estações de monitorização.

As campanhas experimentais de medição do vento terão uma duração (mínima) prevista de 12 meses, seguindo as recomendações internacionais do sector eólico e, se técnica e financeiramente possível, estender-se-ão a 24 meses, pelo menos num dos locais *offshore*. Os equipamentos transdutores de vento recorrerão a tecnologia remota de tipo LiDAR – *Light Detection and Ranging* instalados em plataformas/boias flutuantes, numa configuração usualmente denominada “*Floating Lidar Systems - FLS*”, apoiados por estações de referência em terra (LiDAR costeiros fixos e torres anemométricas/meteorológicas).

De acordo com as recomendações da Agência Internacional de Energia (IEA) [1] e de outras referências como é exemplo a publicação do *Offshore Wind Accelerator – OWA* [2] um elemento importante para garantir a confiança 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 *International Electrotechnical Commission - IEC* (*e.g.*, 61400-12-1¹ [3]) ou, alternativamente, a comparação com outra fonte de referência mais fiável (por exemplo, um LiDAR fixo) com incerteza de medição semelhante aos sistemas flutuantes, e que esteja de acordo com as boas práticas no setor eólico [3, 4].

¹ e também à documentação de trabalho (ainda em versão CDV- committee draft for vote) em desenvolvimento no seio do TC88 da IEC, que dará 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*, cuja publicação está prevista para setembro 2024.

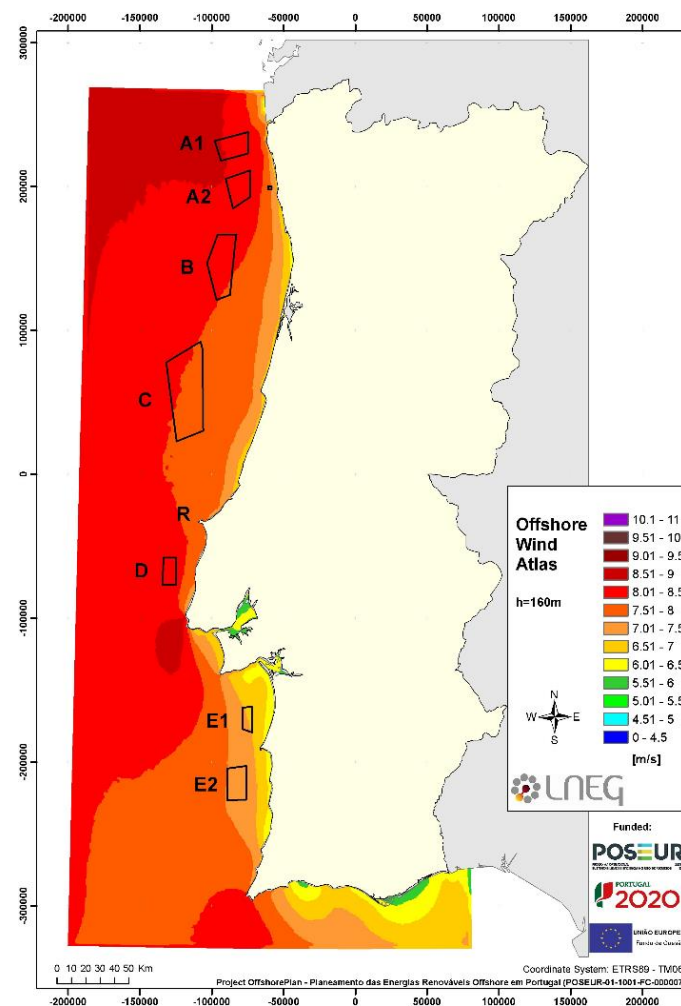


Figura 1. Áreas de desenvolvimento de Projetos Eólicos *Offshore* mapeadas no PAER, objeto de consulta pública recente, e Atlas de Vento *Offshore* de Portugal obtido no projeto POSEUR/P2020 OffshorePlan [5, 6, 7].

Neste sentido, para além dos sistemas LiDARs flutuantes (FLS) já referidos, e a instalar nas regiões propostas no PAER, torna-se desejável, de acordo com as recomendações de boas práticas do sector [1,2] para a determinação das condições de longo termo do escoamento atmosférico sobre o mar, bem como da avaliação do perfil de intensidade de turbulência com precisão adequada, que sejam igualmente instalados os seguintes equipamentos:

- Um LiDAR fixo de feixe vertical na zona costeira Norte (*e.g.*, instalações portuárias entre as áreas A e B);
- Um LiDAR fixo de feixe vertical na ilha Berlenga - localização representada por “R” na Figura 1.
- Duas estações meteorológicas (~100m) equipadas segundo as recomendações IEC 61400-12-1 [3] e IEC 61400-50-1 [8] na região costeira Centro-Norte (*e.g.*, instalações portuárias áreas A/B e na área C/D).

Com exceção da estação de referência assinalada como “R” na Figura 1, as localizações remanescentes serão definidas em articulação sinérgica com as campanhas experimentais a realizar pelo IPMA.

2.1 Sistemas LiDARs Flutuantes – FLS

O desenvolvimento de uma 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 reduzida maturidade dos sistemas FLS (LiDAR flutuantes) e da agressividade do meio marinho no que respeita à sobrevivência dos equipamentos de medida.

Uma iniciativa recente, o **OWA – Offshore Wind Accelerator** [9] preparou e publicou recomendações para acelerar a progressão para mercado destes equipamentos, e aumentar a sua fiabilidade (ver Anexos I e II). O OWA classifica os FLS em três níveis crescentes 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 já realizadas, por equipamentos e *setups* iguais ou tecnicamente equiparáveis.

Uma vez que, para equipamentos com um estado de maturidade inferior a “Grau 2” (ou pré-comercial) [2, 10] é necessário efetuar uma campanha de testes de validação da tecnologia - o que as alongará entre 3 e 6 meses, não aumentando, necessariamente, a fiabilidade de obtenção dos dados - nas campanhas em causa, evitar-se-á tal situação, sempre que possível. Assim, desde que exista disponibilidade no mercado, optar-se-á por soluções Grau de maturidade “2” (pré-comercial) ou Grau “3” (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”** [2].

Em termos gerais, os sistemas LiDARs, são transdutores de deteção remota que emitem um feixe 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 nas massas de ar (normalmente designadas aerossóis), abrangido pelo laser [11].

A tecnologia LiDAR, embora relativamente recente – as primeiras utilizações para avaliação do recurso eólico *offshore* ocorreram entre 2000 e 2005 [12-14] – tendo posteriormente, entre 2006 e 2012, sido objeto de investigação e profundos melhoramentos de precisão e fiabilidade, sobretudo no que respeita à sua acentuada dependência de condições da atmosfera [15, 16]. Em 2012 é constituída uma *Task* (projeto de I&D) no seio da IEA Wind TCP que, na tradição desta instituição no que respeita à publicação de **“Recommended Practices”** conduziu à edição das orientações mais usadas no sector eólico *offshore* [1]. Atualmente, e face à relação custo/benefício que apresentam, estes são os equipamentos mais utilizados em 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 euro, com custos de O&M anuais na ordem de 10% do investimento). Esta tecnologia

permite caracterizar o recurso eólico em várias alturas, desde o nível da água do mar até às altitudes máximas atingidas pelas pás das turbinas eólicas de maiores dimensões.

A utilização destes sensores remotos reveste-se, contudo, dos maiores cuidados, pois embora permita obter dados de velocidade horizontal e direção do vento (ou mesmo, de componentes 3D do vento) a alturas superiores às permitidas pelos equipamentos tradicionais (mastros anemométricos/meteorológicos) - contribuindo, assim, para a redução de custos das campanhas experimentais - 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 [17-21] o que se pode refletir, mais tarde, em penalizações na avaliação dos riscos associados aos projetos, na fase de financiamento e *due dilligence* dos projetos, nas situações em que campanhas experimentais com FLS não são acompanhadas por metodologias “*Measure-Correlate-Predict*” - MCP, com dados obtidos em estações costeiras, de longo termo, quer com LiDARs fixos e, sobretudo, recorrendo a sistemas tradicionais de anemometria de copos.

Pesem embora os 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 meio em que, o seu uso, é de 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, permite a redução da incerteza associada à futura estimativa energética de uma turbina ou central eólica [15,16] e, assim, dos riscos dos investimentos, contribuindo para a “bancabilidade” dos projetos.

No caso presente, serão usados sensores LiDAR instalados em boias/barcaças flutuantes (Sistemas LiDAR Flutuantes - FLS) onde existirão, igualmente, outros equipamentos que permitem caracterizar, não só o vento, mas também parâmetros atmosféricos (*e.g.*, temperatura do ar, humidade, pressão) e marinhos, tais como, a ondulação, corrente marítima, temperatura e/ou outros considerados de relevância para este tipo de projetos. Adicionalmente e, pese embora o interesse atual dos investidores esteja essencialmente orientado para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento do recurso eólico *offshore*, é igualmente objetivo do projeto RP-C21-i07.02 caracterizar os recursos das ondas e de correntes, nas áreas da Figura 1, nas quais sejam conduzidas campanhas de avaliação do potencial eólico, e onde não estejam disponíveis previamente dados, que permitam essa caracterização (ver Anexo I).

O tipo de dispositivo LiDAR utilizado no FLS deve ter sido sujeito a ensaios de teste em terra, e os resultados claramente documentados antes da sua instalação, requerendo-se um grau de maturidade mínimo de “2”, de acordo com os procedimentos OWA [2]. Os ensaios em terra devem ter sido realizados de acordo com as orientações das normas IEC 61400-12-1 [3] (e IEC61400-50-1 [8]), bem como seguir as recomendações da Agência internacional de Energia (IEA Wind TCP) [1]. Os resultados de conformidade destes testes devem estar disponíveis para consulta e terem sido efetuados por entidades independentes e reconhecidas no sector.

Seguindo as boas práticas do sector, e independentemente do nível de maturidade e/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 de monitorização dos recursos energéticos. As campanhas com sensores remotos, como são 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, *i.e.*, pelo menos 12 meses, e se possível, mais de 24 meses, o que se potencia com a instalação de sistemas LiDAR verticais fixos e mastros anemométricos para localizações costeiras, em terra [1, 2].

A boia/barcaça flutuante deve ser ainda equipada com sensores de velocidade e direção do vento convencionais, os quais podem ser usados para detetar possíveis anomalias nos dados inferidos pela tecnologia LiDAR, bem como incluir outros sensores meteorológicos que permitam a obtenção de variáveis meteorológicas relevantes, como temperatura, pressão e humidade do ar, que permitem, *e.g.*, caracterizar a densidade do ar no local, além de outros indicadores relevantes.

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 e/ou incertezas sistemáticos. É também importante dotar os sistemas de fontes de alimentação (e armazenamento) que assegurem a auto-suficiência das estações e seus equipamentos, garantindo uma disponibilidade máxima dos dados, bem como acompanhar as campanhas de um programa de operação e manutenção (O&M) apropriado, de modo que se possa esperar que as taxas de cobertura de dados sejam elevadas e assegurem todos os níveis de medição desejáveis (ver *Key Performance Indicators - KPIs* associados à disponibilidade, Anexo III).

É ainda instrumental que o equipamento e o sistema de alimentação, armazenamento e gestão de energia 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* na Costa Portuguesa, aberta às tempestades oceânicas do Atlântico, assegurando a total autonomia e máxima disponibilidade do sistema.

Na Tabela 1 apresentam-se as especificações mínimas gerais do Sistema LiDAR Flutuante (a instalar em boia/barcaça flutuante) para avaliação do recurso eólico.

Tabela 1. Especificações técnicas mínimas da unidade FLS: Vento e outros parâmetros atmosféricos.

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Grau de maturidade FLS	Mínimo 2
Número de LiDARs em operação no sistema FLS	Mínimo 1
Gama de alturas de medição do Lidar (m)	10 a 199
Número de níveis de medida de vento (LiDAR)	> 8
Taxa de amostragem de dados (LiDAR)	> 40 Hz
Período de redução dados (<i>bins</i>) para avaliação energética (LiDAR)	Mínimo 10 minutos
Gama de velocidades do vento (LiDAR) (m/s)	1 a 49
Precisão da velocidade do vento (LiDAR)	<1%
Gama de temperatura de operação (LiDAR)	0 a 49 °C
Gama de direção (LiDAR)	0 a 359°
Precisão da direção do vento (LiDAR)	< 2.5°
Anemometria pontual (velocidade horizontal)	Mínimo 1 transdutor de velocidade, com ou sem componentes móveis
Anemometria pontual (direção da vel. horizontal)	Mínimo 1 transdutor de direção, com ou sem componentes móveis
Outra informação meteorológica	Mínimo: Estação meteorológica para medição da pressão barométrica, temperatura do ar e humidade relativa

Finalmente, e dado o custo substancial da instalação de plataformas *offshore*, deve ser sempre considerada, segundos 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**” [2].

No que respeita à avaliação do recurso energético das ondas e correntes, deverá ser assegurado que o sistema FLS selecionado está equipado com sensores e transdutores por forma a fornecer informação com as características indicadas na Tabela 2 - típicas de uma boia direcional baseada em acelerómetros e bússola magnética, ou equipamento similar (ou equivalentes) compatíveis com os sistemas de FLS, e adequadas aos objetivos em vista.

Tabela 2 – Especificações técnicas mínimas da unidade FLS: ondas e correntes.

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 (<i>accuracy</i>) para a elevação da superfície livre	$\pm 0.1\text{m}$ ou $\pm 2\%$ 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 (<i>accuracy</i>) para o período	$\leq \pm 2\%$ 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 $\leq 3.5^\circ$
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
Intervalo mínimo para a medição da corrente	0 – 399 cm/s, ou outro intervalo que compreenda este
Precisão (<i>accuracy</i>) da velocidade da corrente	$\leq 1.5\%$ do valor medido ± 0.5 cm/s
Valor máximo para a resolução da velocidade	0.2 cm/s

Considera-se ainda fundamental que, a alimentação do FLS seja baseada, sempre que possível, em sistemas apoiados, maioritariamente, em energias renováveis, devendo ser garantido um sistema de armazenamento de energia que permita a operação autónoma, na ausência de recurso energético correspondente aos consumos dos sistemas instalados. Assim, o sistema deve conseguir manter-se em operação sem necessidade de manutenção *in situ* do(s) sistema(s) de fornecimento de energia ou de monitorização e armazenamento de dados durante, pelo menos, 4 meses consecutivos.

De igual modo, o sistema de armazenamento de dados deve garantir a capacidade necessária de retenção de dados, prevendo inacessibilidades de transmissão e períodos (máximos) e físicas de 4 meses, sendo que o sistema de comunicação deve garantir, se possível, redundância de vias de telemetria - *e.g.*, via comunicação satélite (dupla); e/ou comunicações móveis 3G a 5G, sempre que existentes.

Todos os dados registados devem ser passíveis de leitura/acesso por sistemas operativos Windows. Adicionalmente, o sistema de aquisição ou outro meio complementar deverá permitir saber a profundidade do local onde o sistema de aquisição está instalado e respeitar as especificações mínimas relativas ao sistema de alimentação energética, de armazenamento de energia e de dados, de isolamento e demais parâmetros, constantes da Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações técnicas mínimas da unidade FLS: Alimentação energética, armazenamento de energia e dados, comunicações e isolamento.

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Sistema de alimentação	Qualquer, apoiado em sistema inteiramente autónomo de alimentação e armazenamento de energia, para uma campanha experimental de 12 meses efetivos.
Comunicação (remota) para envio de dados	Satélite ou Radio ou (GSM/GPRS/3,4, 5G)
Formatação e acesso de dados monitorizados	Acesso dados compatível com Sistema Operativo Windows
Capacidade local de armazenamento de dados/autonomia	> 4 meses sem acesso físico ao Sistema Flutuante (FLS)
Classificação IP sistema/LiDAR	>= IP66

Corrosão e durabilidade

Devido às condições que habitualmente se verificam no meio marinho, os equipamentos a instalar devem cumprir um conjunto de especificações de acordo com normas Nacionais e Internacionais, por forma a garantir a sua maior durabilidade e robustez. Supõe-se que o LiDAR flutuante irá operar na zona normativa de salpicos² (*splash*):

Neste sentido, pretende-se que – sempre que possível e comportável pelos sensores e transdutores em causa - os materiais/sistemas de revestimento dos equipamentos a instalar respeitem o especificado nas normas internacionais em vigor, *e.g.*:

- ISO 20340 de 2009
- ISO 12944-5 de 2018

Aspetos adicionais a considerar na seleção e avaliação dos equipamentos

A plataforma flutuante onde o LiDAR e o restante equipamento venha a ser instalado deve obedecer, igualmente, às recomendações de boas práticas no setor eólico já mencionadas [1,2], bem como, sempre que disponíveis, às normas internacionais IEC 61400-12-1 [3] e IEC61400-50-1/2 [8], [22]. No caso dos sistemas de amarração, estes devem respeitar, sempre que possível, as normas internacionais em vigor (*e.g.*, IEC 62600-10) [23], bem como outras recomendações, *e.g.*, DNV-OS-E301 [24] e DNV-OS-E303 [25]. Adicionalmente, devem os sistemas flutuantes (plataformas ou boias) respeitar todos as

² Zona de salpicos (“splash zone”): A parte da construção que está alternadamente acima e abaixo da linha de água devido à maré e ondulação é denominada de zona de salpicos (“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 entre outros.

normas e regulamentos (nacionais e europeus) aplicáveis à navegação e amarração de sistemas flutuantes na Costa Portuguesa.

Além dos requisitos mínimos estabelecidos nas Tabelas 1 a 3, serão ainda valorizados os aspetos adicionais listados na Tabela 4.

Tabela 4 – Aspetos adicionais dos sistemas FLS a valorizar para além dos termos de referência mínimos.

Aspeto	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Informação adicional sobre a unidade	Envio de alarmes quando algum parâmetro está fora das regras definidas na configuração. <i>E.g.</i> ; reinício do Lidar; Mau funcionamento dos sistemas de medição
Visibilidade e alertas em tempo real	Legislação portuguesa/da União Europeia aplicável em ambiente marinho.
Comunicação de dados (remota)	Comunicação bidirecional
Acesso a dados monitorizados em tempo real	Acesso diário/outros compatível com o protocolo de comunicação
Experiência/portfólio de monitorização de locais usando FLS (anos de atividade/número de locais caracterizados)	(Indicação do número de anos de atividade/nº de locais caracterizados com FLS)
Experiência/portfólio de monitorização de locais usando boias (anos de atividade/número de locais caracterizados)	(Indicação do número de anos de atividade/nº de locais caracterizados usando boias)
Energia, Armazenamento, Comunicações, outros	Funcionalidades adicionais
Compensação dos movimentos do LiDAR	Existência de: 1) graus de liberdade compensados; e 2) tipo de compensação (via <i>hardware</i> e/ou <i>software</i>)

2.2 Estações Meteorológicas em Terra

2.2.1. Estações Costeiras (anemometria convencional)

Seguindo as recomendações gerais (*e.g.*, IEC, IEA Wind e OWA) recorrer-se-ão a mastros anemométricos de referência, a instalar nas regiões costeiras, e que deverão, de forma global, seguir as indicações da norma internacional IEC61400-12-1, para “calibração de local” em especial no que respeita ao tipo de equipamento de medição e registo a instalar, número de sensores e alturas de medição e simultaneidade de monitorização com os FLS em operação na região.

Neste sentido, cada torre anemométrica deverá ser munida dos equipamentos constantes da Tabela 5 e ter uma configuração equivalente à apresentada na Figura 2.

Tabela 5 – Equipamentos a instalar numa estação anemométrica

de medição do vento - configuração mínima.

Equipamento	Descrição e alturas (m)
Torre/mastro	100m
Anemômetro #1	Topo do mastro
Anemômetro #2	80m
Anemômetro #3	Altura de referência meteorológica - 10m
Sensor de direção#1	100m (ou 1m abaixo do anemômetro#1 de acordo com o cone de projeto do pára-raios)
Sensor de direção#2	80m
Datalogger	10m
Sensor de temperatura	3m
Sensor de pressão	3m
Pára-raios	Topo do mastro

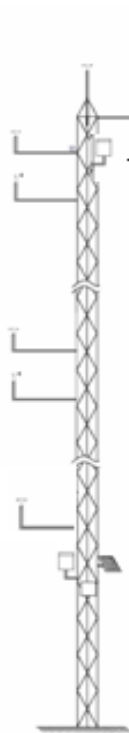


Figura 2 - Configuração mínima de uma estação meteorológica equipada com anemometria convencional, instalada num mastro treliçado.

Note-se que a configuração das estações de medição é meramente indicativa, e poderá sofrer ajustes de acordo com o local selecionado para a sua instalação.

2.2.2 Estações Costeiras (sistema LiDAR Fixo - LFC)

As campanhas experimentais com recurso a FLS, para além das torres anemométricas costeiras, serão complementadas igualmente com a operação de sistemas LiDAR (*LiDAR fixo costeiro – LFC*) de feixe vertical fixos a instalar em locais na costa Oeste de Portugal (uma unidade) e na ilha Berlenga, onde historicamente já operou um destes equipamentos.

A localização e a configuração destes equipamentos seguirão as boas práticas do setor eólico e preconizadas nas normas internacionais IEC 61400, de *calibração de local*, 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). As características destes equipamentos apresentam-se na Tabela 6.

Tabela 6 - Especificação técnicas do sistema LFC a instalar.

Parâmetro	Especificações Técnicas projeto RP-C21-i07.02
Gama de alturas de medição (m)	10 a 199
Número de níveis de medição do LiDAR (m)	Mínimo 8
Taxa de amostragem de dados	40 Hz
Período de redução dados (<i>bins</i>) para avaliação energética	Mínimo: 10 minutos
Gama de velocidades do vento	1 - 49 m/s
Precisão da velocidade do vento	<0.5%
Gama de temperatura de operação	-25 to +50 ° C
Gama de direção	0 a 359 °
Precisão da direção do vento	<2.5°
Capacidade local de armazenamento de dados	> 4 meses sem acesso físico ao LiDAR
Classificação IP	IP67
Autonomia	Qualquer, com total autonomia (ou Rede Elétrica de Serviço Público - RESP, se disponível).
Comunicação	LAN; MODBUS; WiFi; Global SIM; Sat Comms

2.3 Dados e Informação a Obter

Sendo o objetivo deste trabalho a obtenção de dados para a avaliação do recurso eólico tendo em vista a instalação de turbinas eólicas no meio marinho, os dados a obter durante as campanhas experimentais prendem-se, não só com a velocidade 2D/3D do vento a várias cotas, bem como dos recursos energéticos das ondas e correntes, mas também com dados que permitam a caracterização de outras variáveis igualmente relevantes para a operação de turbinas eólicas, como a temperatura e a pressão atmosférica. Assim, no final das campanhas experimentais, deverá ser possível obter os dados apresentados na Tabela 7, numa configuração mínima, em cada estação de medida (FLS, LFC, e estações anemométricas de referência).

Tabela 7 - Parâmetros a obter no final das campanhas experimentais para caracterização do recurso energético do vento.*

Sistema LiDAR vertical: Velocidade horizontal, vertical e direção do vento (ou componentes 3D da velocidade do vento) em pelo menos 8 níveis de medição. Nota - O período de redução dos dados (bins) não deve ser superior a 10 minutos
Estação meteorológica convencional: Velocidade horizontal do vento e sua direção em, pelo menos, 3 níveis de medição entre 10 e 100 (+/- 2) metros. O período de redução dos dados (bins) não deve ser superior a 10 minutos
Valor máximo, mínimo e desvio padrão da velocidade do vento (período de 10 minutos)
Valores médios, máximos e mínimos (período de 10 minutos): Temperatura do ar; Pressão atmosférica; Humidade relativa

**Nota: todos os registos, devem ser armazenados em valores médios para períodos não superiores a 10 minutos, cumprindo a especificação de frequência mínima de amostragem (aplicável a sistemas LiDARs e a anemometria pontual)*

Todos os dados devem estar acessíveis em formato bruto (*raw*) e, quando aplicável, também acessíveis os dados calibrados e/ou corrigidos para compensação dos movimentos do LiDAR.

Para a caracterização do recurso energético das ondas e correntes podem ser obtidas as grandezas apresentadas na Tabela 8. Adicionalmente, os parâmetros a registar devem permitir obter o espectro de variância, em que para cada banda de frequência (Hz) se obtém a densidade espectral (m^2s), direção média (rad ou grau) das ondas e desvio padrão (rad ou grau) para a direção das ondas, o que deverá permitir calcular pelo método espectral, parâmetros esses constantes da Tabela 9.

*Tabela 8 - Parâmetros resultantes de uma análise temporal,
(a calcular na caracterização do recurso das ondas e correntes).*

Hs - altura significativa (m).
Hmax - altura máxima (m).
Ths - período de hs (s) - média dos períodos correspondentes às ondas que foram utilizadas no cálculo de Hs.
Thmax - Período correspondente a HMAX.
Tz - Média dos períodos de zero ascendente.
Tmax - Período máximo ocorrido no registo.
Velocidade da corrente em m/s com uma precisão (<i>accuracy</i>) com um valor máximo de 1.5% do valor medido +/-0.5 cm/s.
Direção da corrente (em graus).

*Tabela 9 - Parâmetros resultantes de uma análise espectral,
(a calcular na caracterização do recurso das ondas).*

Hm0 - altura significativa (m).
T02 - período médio (s).
Te – período de energia (s).
Tp- período de pico (s).
Direção média para o estado do mar.

Após consulta detalhada aos fornecedores e avaliação dos custos da caracterização de outros parâmetros, passíveis de utilização em utilizações sinérgicas das áreas do PAER (e.g., aquacultura) poderão ser incluídos outros sensores, e.g., perfil de temperatura e salinidade da água do mar ou outros, com valência, e.g., na náutica de recreio, ou para o sector das pescas.

2.4 Síntese de Requisitos Mínimos no Âmbito do Projeto RP-C21-i07.02

Nas secções anteriores deste documento foram apresentadas as diversas informações consideradas relevantes para a realização das campanhas experimentais de caracterização dos recursos energéticos *offshore*, na costa Continental Portuguesa. Apresenta-se na tabela 10, uma síntese dos requisitos mais relevantes na realização dessas campanhas experimentais.

Tabela 10 - Síntese dos requisitos mínimos para a realização das campanhas experimentais.

Campanhas experimentais de medição	nº de locais	(3 a 5) + 4 referência
	Duração mínima	12 meses
Mastros meteorológicos de referência (anemometria convencional)	Nr.º e tipo de equipamento	Altura da torre > 100 m equipada com, pelo menos: 3 anemómetros, 2 sensores de direção, 1 <i>datalogger</i> , 1 sensor de temperatura, 1 sensor de pressão.
FLS (estações “in situ”)	Tipo	Feixe vertical
	Grau de Maturidade	Preferencialmente “comercial” ou grau 3. Dada a escassez de equipamentos com este grau de maturidade, aceitar-se-ão equipamentos classificados como “pré-comercial” ou “grau 2”
	Taxa de amostragem	> 40 Hz
	Alimentação energética	Qualquer, com total autonomia
	Armazenamento de dados	Mínimo 4 meses sem acesso
	Comunicações	Satélite ou Radio ou GSM/GPRS/3,4, 5G
Estações LiDAR Terrestres - LFC (referência longo termo)	Tipo	Feixe vertical
	Taxa de amostragem	> 40 Hz
	Alimentação	Qualquer, com total autonomia (ou Rede Elétrica de Serviço Público - RESP, se disponível)
	Armazenamento de dados	Mínimo 3 meses
	Comunicações	Satélite e rede móvel 3/4/5G
Dados a obter	Recurso eólico	Velocidade e Direção do vento (ver tabela 7)
	Estado do mar	Ondulação e correntes (ver tabelas 8 e 9)
	Outros parâmetros relevantes	Temperatura, pressão, humidade do ar, e outros que, em coordenação com os trabalhos do IPMA, se considerem importante adicionar

3 Relatórios e Outros *Entregáveis*

Durante a realização das campanhas experimentais, é crucial uma monitorização cuidada do funcionamento de todos os sensores em operação, bem como da qualidade dos dados aí medidos. Este procedimento permite minimizar falhas de operação e, em especial na fase de arranque de cada campanha experimental, a verificação da qualidade e validade dos dados recolhidos.

Assim, os relatórios e documentos a produzir no decorrer das campanhas experimentais de medição são os seguintes:

A) Instalação, manutenção e desinstalação dos equipamentos de medição

A instalação (e desinstalação) dos Sistemas LiDAR Flutuantes é da responsabilidade do prestador dos serviços, sendo supervisionadas pelo LNEG, que acompanhará os trabalhos. O prestador dos serviços é igualmente responsável pela emissão de um relatório de instalação (*comissioning*), manutenção e desinstalação (*decomissioning*).

O relatório de instalação deve conter os procedimentos gerais efetuados, registo dos números de série dos equipamentos, localização/coordenadas da estação e qualquer outra informação relevante para a caracterização da campanha experimental. O relatório deve ser elaborado no prazo máximo de 30 dias após o arranque de cada campanha experimental. Em conjunto com o relatório, deve ser fornecido um documento que inclua o registo dos diversos sensores do FLS. Este documento deve ser atualizado sempre que ocorram alterações ou substituições, tornando-se uma ferramenta valiosa para monitorizar facilmente todas as intervenções realizadas durante o projeto.

Os relatórios das manutenções planeadas (preventivas) e não planeadas (corretivas) devem ser emitidos, no máximo, até 15 dias após a intervenção. Estes relatórios devem detalhar todos os procedimentos realizados, bem como as medidas adotadas. O documento que regista o histórico dos diferentes sensores também deve ser atualizado no prazo máximo de 15 dias após a intervenção.

O relatório de desinstalação deve incluir informações detalhadas sobre os procedimentos aplicados e deve ser emitido até 30 dias após a remoção do sistema do local da campanha experimental.

B) Fichas de controlo de qualidade de dados medidos para cada equipamento de medição (mensal)

O acompanhamento detalhado das campanhas experimentais pressupõe a verificação de cada conjunto de séries de dados obtido para cada local, por cada um dos equipamentos em operação, enviados pelo prestador de serviços ao LNEG. Neste sentido, o LNEG fará o controlo de qualidade dos dados rececionados, através do cálculo das grandezas estatísticas mais relevantes para a caracterização dos recursos energéticos. Esta análise será resumida numa ficha mensal.

C) Relatórios de avaliação periódica dos dados obtidos nas campanhas experimentais

Estes relatórios incluirão uma análise dos parâmetros relevantes para a avaliação recurso eólico e dos parâmetros relacionados com a ondulação e correntes marítimas medidos nas campanhas

experimentais. Será ainda apresentado um estudo preliminar do potencial eólico em cada área com o cálculo de parâmetros como a velocidade média do vento, fluxo de potência incidente, parâmetros da distribuição de Weibull e outros que se considerem relevantes, bem como a sua distribuição espacial, apresentada na forma de mapas do recurso eólico. A emissão destes relatórios será efetuada com a periodicidade semestral, para cada campanha experimental.

D) Relatório final de avaliação dos dados obtidos nas campanhas experimentais

Nestes relatórios serão apresentados os dados analisados nos relatórios semestrais, mas correspondendo ao período de 12 meses de medição.

E) Séries de dados medidos

No final do projeto serão reunidas todas as séries de dados medidos (*raw*/brutos e calibrados) em cada campanha experimental e disponibilizadas ao público segundo as orientações da entidade financiadora deste projeto.

4 Termos Gerais de Referência para Campanhas de Avaliação Energética *Offshore*

Os termos de referência que definem os requisitos mínimos a cumprir nas campanhas de avaliação energética ao largo da Costa Portuguesa no âmbito dos aproveitamentos energéticos renováveis, não integradas na projeto RP-C21-i07.02, ***deverão cumprir os requisitos mínimos*** especificados nas recomendações internacionais para o sector eólico *offshore* (adicionados dos sistemas de caracterização dos recursos de ondas e correntes) ***constantes da secção 2.1 deste documento e elencados nas Tabelas 1 a 4 dessa secção.***

Essas campanhas, de forma similar aos trabalhos a conduzir no âmbito do projeto RP-C21-i07.02 ***deverão permitir conhecer os parâmetros e grandezas apresentados nas Tabelas 7 a 9.***

5 Notas Finais

Este documento apresenta os termos gerais de referência para as campanhas experimentais de caracterização do recurso energético do escoamento atmosférico, bem como de ondas e correntes, ao largo da Costa Portuguesa, numa área de 2000 km² definida pelas áreas mapeadas no PAER - Plano de Afetação para as Energias Renováveis *Offshore*, no âmbito do projeto RP-C21-i07.02.

As especificações apresentadas no que respeita à tipologia de equipamentos a instalar e monitorizar, teve como base a consulta da documentação orientadora das boas práticas no setor eólico, bem como das normas internacionais em vigor, e devem ser entendidos como requisitos mínimos do tipo e principais características dos dados que será necessário monitorizar e dos equipamentos que deverão ser usados.

As campanhas experimentais para caracterização dos recursos energéticos *offshore* terão por base a utilização de sistemas transdutores remotos de tipo FLS – Sistema LiDAR Flutuante, coadjuvados - no caso das atividades no âmbito do projeto RP-C21-i07.02 - pela operação de estações costeiras, equipadas com sistemas LiDAR Fixos e anemometria convencional.

Os termos de referência constantes deste relatório, no que respeita às especificações dos sistemas FLS, apresentados na secção 2.1, aplicar-se-ão a todas as campanhas de caracterização do recurso energético ao largo da Costa (continental) Portuguesa.

O planeamento detalhado e o desenvolvimento dos estudos, serão realizados em estreita colaboração entre o LNEG, o IPMA e as entidades licenciadoras de projetos de energias renováveis *offshore*, por forma a assegurar que são satisfeitos os requisitos subjacentes ao investimento RP-C21-i07.02.

Referências

- [1] 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, p. 89. Disponível em: <https://iea-wind.org/wp-content/uploads/2020/12/IEA-Wind-RP-18-Floating-Lidar-Systems-fnl1.pdf>
- [2] 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>
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] Projecto P2020/POSEUR OffshorePlan - Planeamento do Aproveitamento das Energias Renováveis Offshore em Portugal (POSEUR-01-1001-FC-000007), (Disponível em: <https://offshoreplan.lneg.pt>, acessado em 29.11.2023)
- [6] 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, pp306. Disponível em https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2023/07/20230531-GTOffshore_RelatorioFinal_vfinal.pdf, acessado em 29.11.2023)
- [7] LNEG, Caracterização energética das zonas PAER, GT Offshore-SG1/2, LNEG, comunicação interna, Junho 2023
- [8] 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.
- [9] Offshore Wind Accelerator (OWA). Acessível em <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/impact-stories/offshore-wind-accelerator-owa>, acessado em 29.11.2023.
- [10] Floating LiDAR Roadmap – Supplementary Guidance Note Carbon Trust Offshore Wind Accelerator Roadmap for the Commercial Acceptance of Floating LiDAR Technology.
- [11] Peter J. M. Clive (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>.
- [12] Hasager, C. B., Dellwik, E., Nielsen, M., e Furevik, B. R. (2004). Validation of ERS-2 SAR offshore wind-speed maps in the North Sea. International Journal of Remote Sensing, 25(19), 3817-3841. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160410001688286>
- [13] Darby, L. S., Banta, R. M., & 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)

- [14] 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. In 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (p. 1008).
- [15] Oldroyd, A., Stickland, M. T., Hasager, C. B., Mikkelsen, T., e Estanqueiro, A. (2009). EU-Norsewind: delivering offshore wind speed data. Poster em European Offshore Wind Conference and Exhibition. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/13721416.pdf>
- [16] Oldroyd, A., Hasager, C. B., Stickland, M. T., Mikkelsen, T., e Estanqueiro, A. (2013). EU FP7 NORSEWinD. A project based Wind Atlas. Poster em EWEA Offshore 2013. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/18600608.pdf>
- [17] Kindler, D., Courtney, M., & 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.
- [18] 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>
- [19] 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>
- [20] Goit, J. P., Yamaguchi, A., & 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>
- [21] Kim, J. Y., Oh, K. Y., Kim, M. S., & 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>
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] DNV Offshore Standards (2021). DNV-OS-E301: Position mooring. DNV. 07.2021. 156pp.
- [25] DNV Offshore Standards (2018). DNV-OS-E303: Offshore fibre ropes. DNV. 07.2018, retificada em 08.2021. 89pp.

Anexo I. Graus de Maturidade de FLS: Pré-requisitos e Duração dos Testes

Os pré-requisitos para atingir os respetivos graus de maturidade tecnológica de equipamentos FLS estão resumidos na tabela A1. Realça-se que esta tabela não prescreve recomendações para verificações pré-implantação subsequentes para uma unidade FLS no contexto de uma avaliação de recursos eólico.

Tabela A1 - Critérios associados à maturidade da tecnologia pré-comercial e comercial [2,3].

Grau de Maturidade	FL Type Verificação: (1 teste longo)	FL Unit Verificação: (3 testes longos e 3 curtos)	FL Offshore Classificação1 (3 testes longos)	Implantações (antecipadas) de projetos comerciais
Grau 1	Não é exigido.	Não é exigido.	Não é exigido.	Não é exigido.
Grau 2	Número: Pelo menos 1. Duração: Pelo menos 6 meses. Campanha única contínua. KPIs de disponibilidade: - conhecer o Estágio 2 dos Critérios de aceitação - AC (<i>Acceptance Criteria</i>). - KPIs de precisão de dados: - cumprir AC mínimo.	Não é exigido.	Não é exigido.	Não é exigido.
Grau 3	Grau 2: Verificação de tipo concluída. Pode contar como 1 de 3 testes longos se os KPIs cumprirem os pré-requisitos: - Estágio 3 AC para disponibilidade. - AC de práticas recomendadas de estágio 2 para precisão de dados. Testes podem ser contabilizados para ensaios de classificação.	Número: 6 (mínimo 3 curtos e 3 longos). Duração: Pelo menos 3 meses para ensaios longos. Campanha única contínua. KPIs de disponibilidade: - conhecer o Estágio 3 AC. - KPIs de precisão de dados: - conheça as melhores práticas do Estágio 2 AC. Pode contar para ensaios de classificação.	Número: Pelo menos 3. Duração: Pelo menos 3 meses (normalmente). São testadas 2 unidades individuais no mesmo local de ensaio. Uma unidade foi testada em dois locais de teste diferentes. Campanha única contínua. Pode contar para testes longos se os KPIs atenderem: - Estágio 3 AC para disponibilidade. - CA de práticas recomendadas de estágio 2 para precisão de dados.	Número: Pelo menos 5. Duração: Pelo menos 12 meses. Campanha única contínua. KPIs de disponibilidade: conhecer o Estágio 3 AC.

Os pré-requisitos descritos na tabela abaixo são significativamente mais exigentes para o Grau 3 do que para o Grau 2. No entanto, salienta-se que as implantações de dispositivos de Grau 2 em avaliações do recurso eólico implicarão verificações pré-implantação e, se esta continuar com êxito para um número significativo de unidades, os requisitos para o grau 3 serão, na sua maioria, acumulados de forma sistemática. Pressupõe-se que o ensaio é realizado contra uma fonte de referência fidedigna, tal como recomendado pela IEA Wind em [1].

As seguintes observações são feitas em relação à duração do teste para obtenção dos requisitos de grau 3:

- Um ensaio "longo" é definido como igual ou superior a 3 meses.
- Uma avaliação "curta" pode durar menos de 3 meses (por exemplo, uma verificação pré-implantação).
- Uma "implantação inicial do projeto comercial" deve ser de pelo menos 12 meses e uma campanha única contínua.

Para o ensaio "longo", considera-se preferível uma duração tão longa quanto possível. Esta deverá ser igual ou superior ao mínimo de 3 meses. No entanto, após uma análise cuidadosa, um mínimo de 3 meses foi identificado como um requisito razoável para equilibrar a necessidade de mais provas de desempenho com os encargos práticos e financeiros para o fabricante original do FLS para realizar ensaios de verificação com uma fonte de referência confiável. Deve também ser tido em conta a época do ano em que o ensaio de longa duração é realizado e a duração necessária para experimentar a maior variedade de condições ambientais; E.g., é provável que um ensaio que tenha lugar nos meses de inverno abranja uma gama mais vasta de condições ambientais - e, como tal, mesmo um período curto seja mais significativo nesta estação do que um ensaio durante os meses de verão.

Anexo II. Dados Disponíveis para Avaliação da Energia das Ondas

Tabela A.2 - Localização de bóias em Portugal com dados disponíveis para a caracterização do recurso energético das ondas (fonte: Instituto Hidrográfico).

Boia	Localização (Lat, Long) (°)	Disponibilidade	Profundidade (m)	Descrição
Leixões	Lat = 41° 19' 00" N; Long = 8° 59' 00" W	>10 anos, em operação	83	Estação direcional
Figueira da Foz	Lat = 40° 13' 30" N; Long = 9° 06' 00" W	Junho 1981 a Março de 1990	83	Estação não direcional (entre Abril de 1984 e Dezembro de 1985, esta boia foi deslocada para: Lat = 40° 10' 30" N; Long = 9° 08' 30" W; Prof = 92 metros)
Figueira da Foz	Lat = 40° 11' 08" N; Long = 9° 08' 44" W	Desde Julho 1990	92	Estação direcional
Sines	Lat = 37° 55' 16" N; Long = 8° 55' 44" W	>10 anos, em operação	97	Estação direcional

Anexo III. Indicadores de Desempenho de Sistemas LiDARs Flutuantes (KPIs)

- Disponibilidade / fiabilidade

Os KPIs e os Critérios de Aceitação (*Acceptance Criteria – CA*) relativos à disponibilidade dos sistemas LiDARs Flutuantes, aplicáveis a todas as alturas de medição consideradas, são definidos nas tabelas a seguir. Realçam-se os alertas em [2, 3] relativos à influência da estratégia de manutenção na avaliação dos Critérios de Aceitação da disponibilidade no contexto das campanhas de avaliação dos recursos eólicos, enumerados como pré-requisito para equipamentos com Grau de Maturidade 3.

Os KPIs de disponibilidade são listados para “Disponibilidade Geral do Sistema” e “Disponibilidade de Dados Pós-processados”. No contexto de campanhas de avaliação do recurso eólico, o KPI de disponibilidade de dados pós-processados será o de maior relevância. É feita uma distinção entre KPIs de disponibilidade global e mensal para permitir caracterizar eventuais efeitos sazonais.

Tabela A3 - Critérios de aceitação na duração total da campanha [2].

KPI	Definição / Fundamentação	Critérios de aceitação Na duração total da campanha
MSA_{1M}	Disponibilidade Mensal do Sistema – Média de 1 Mês O sistema LiDAR está pronto para funcionar de acordo com as especificações e para fornecer dados, tendo em conta todas as entradas de dados com carimbo de data/hora nos ficheiros de dados de saída, incluindo dados sinalizados (por exemplo, por NaNs ou 9999s) para o mês em questão. A Disponibilidade Geral Mensal do Sistema é o número dessas entradas de dados com carimbo de data/hora em relação ao número máximo possível de entradas de dados (aqui 10 minutos), incluindo períodos de manutenção (considerados como 100%) dentro do respetivo mês.	≥ 90% para Grau 2 ≥ 95% para Grau 3
OSA_{CA}	Disponibilidade geral do sistema – média da campanha O sistema LiDAR está pronto para funcionar de acordo com as especificações e para fornecer dados, tendo em conta todas as entradas de dados com carimbo de data/hora nos ficheiros de dados de saída, incluindo dados sinalizados (por exemplo, por NaNs ou 9999s) para a duração total da campanha predefinida. A Disponibilidade Geral do Sistema é o número dessas entradas de dados com carimbo de data/hora em relação ao número máximo possível de entradas de dados (aqui 10 minutos), incluindo períodos de manutenção (considerados como 100%) dentro do período total predefinido da campanha.	≥ 95% para Grau 2 ≥ 97% para Grau 3

KPI	Definição / Fundamentação	Critérios de aceitação Na duração total da campanha
MPDA_{1M}	Disponibilidade mensal de dados pós-processados – média de 1 mês A disponibilidade mensal de dados pós-processados é o número de entradas de dados restantes 1. após filtragem interna (não visível) do sistema, ou seja, excluindo (NaN ou 999) entradas de dados sinalizadas 2. e após a aplicação de filtros de qualidade baseados em parâmetros próprios do sistema, a serem definidos e aplicados em uma etapa de pós-processamento com base nas diretrizes do contratante LiDAR em relação ao número máximo possível de entradas de dados (aqui 10 minutos) (consideradas como 100%) dentro do respectivo mês, independentemente das condições ambientais dentro desse período.	≥ 80% para Grau 2 ≥ 85% para Grau 3
OPDA_{CA}	Disponibilidade geral de dados pós-processados A disponibilidade geral de dados pós-processados é o número de entradas de dados restantes 1. após filtragem interna (não visível) do sistema, ou seja, excluindo (NaN ou 999) entradas de dados sinalizadas 2. e após a aplicação de filtros de qualidade baseados em parâmetros próprios do sistema, a serem definidos e aplicados em uma etapa de pós-processamento com base nas diretrizes do contratante LiDAR em relação ao número máximo possível de entradas de dados (aqui de 10 minutos) (consideradas como 100%) dentro do período total de campanha predefinido, independentemente das condições ambientais dentro desse período.	≥85% para Grau 2 ≥90% para Grau 3

Considera-se que os KPIs apresentados na tabela A3 têm impacto relevante na fiabilidade global do FLS. No entanto, devido à sua natureza, não se considera adequado atribuir Critérios de Aceitação a estes KPIs. No entanto, recomenda-se que esses KPIs sejam relatados pelos operadores e o seu impacto incluído nos KPIs de disponibilidade listados na tabela A4.

Tabela A4 - Critérios de Manutenção e Disponibilidade [2].

KPI	Definição / Fundamentação	Considerações
MV	Número de Visitas de Manutenção Número de visitas ao sistema LiDAR flutuante pelo fornecedor ou por um terceiro autorizado para manter e fazer a manutenção do sistema. Isto deve ser documentado e comunicado pelo fornecedor e confirmado por uma 3ª parte independente.	Embora listado como um pré-requisito para o Estágio 3 de Maturidade, é considerado uma boa prática seguir a abordagem delineada, independentemente do estágio de maturidade. [ref. CT, Ponto 3.5.2 para discussão posterior)
UO	Número de interrupções não programadas Número de interrupções não programadas do FLS, além de interrupções de serviço programadas. Cada interrupção precisa ser documentada em relação à possível causa da interrupção, hora exata / duração e projeto executado para superar a interrupção não programada. Este facto deve ser comunicado pelo fornecedor e confirmado e verificado de forma independente por uma 3.ª parte independente.	
CU	Tempo de atividade do sistema de comunicação A ser documentado e comunicado pelo fornecedor e verificado/confirmado de forma independente por uma 3ª parte independente.	Ver Secção 2.5 [1] para obter mais orientações sobre este tópico, especificamente os RP 9, 10 e 11.

- Avaliação da precisão

Os KPIs e os Critérios de Aceitação relativos à precisão são definidos na tabela A5. Para avaliar a exatidão das medidas, foi selecionada uma abordagem de regressão linear estatística.

Tabela A5 - Critérios de precisão [2].

KPI	Definição / Fundamentação	Critérios de aceitação	
		Recomendado	Mínimo Grau 2, apenas
Xmws	Velocidade média do vento – declive A inclinação obtida da regressão de variante única com a análise de regressão limitada a passar pela origem. Uma tolerância é imposta ao valor de inclinação. A análise deve ser aplicada às gamas de velocidade do vento: a) 4 a 16 m/s b) todos acima de 2 m/s, tendo em conta os requisitos de cobertura de dados alcançados.	0.98 – 1.02	0.97 – 1.03
R2mws	Velocidade média do vento – coeficiente de determinação Coeficiente de correlação obtido da regressão de variante única É imposta uma tolerância ao valor do Coeficiente de Correlação. A análise deve ser aplicada às gamas de velocidade do vento: a) 4 a 16 m/s b) todos acima de 2 m/s, tendo em conta os requisitos de cobertura de dados alcançados.	> 0.98	> 0.97

Adicionalmente, são impostos critérios de aceitação sob a forma de tolerâncias admissíveis segundo as "melhores práticas" e "mínimas", aos valores de inclinação e de deslocamento, bem como aos coeficientes de correlação devolvidos de cada altura de referência para os indicadores relacionados com os parâmetros primários de interesse; velocidade e direção do vento.

De realçar que estes critérios "mínimos" são permitidos apenas sistemas de Grau 2. Para as apreciações da Grau 3, devem ser aplicados critérios de "melhores práticas".

- Consideração de outros parâmetros de medição

Além dos apresentados anteriormente, existem outros parâmetros de relevância secundária cuja caracterização é recomendada, *e.g.*, separação do escoamento e intensidade da turbulência, conforme definido abaixo, mas sem constituírem, *per se*, “Critérios de Aceitação”. Recomenda-se comparar a identificação de ocorrência de separação do escoamento e o perfil de turbulência do vento obtido a partir de medições de FLS com a intensidade de separação e turbulência das medições de fontes de referência tradicionalmente confiáveis, dada a importância dessas medições na adequação do local e nas avaliações de produção de energia.

Note-se que, devido às limitações anteriormente observadas dos dispositivos de sensores remotos transdutores de vento (como LiDARs) para medir com precisão a intensidade da turbulência, uma comparação da medição da intensidade da turbulência com a anemometria convencional (*e.g.*, de copos) é recomendado um procedimento devidamente acautelado no uso de dados FLS para aplicações que requeiram avaliação precisa de intensidade de turbulência. Sobre este tema, e para obter mais orientações sobre este tópico, recomenda-se a consulta do Apêndice C do Relatório do Grupo de Peritos Eólicos da IEA sobre Práticas Recomendadas para Sistemas LiDAR Flutuantes [1].

Tabela A6 - Critérios associados à medição da intensidade de turbulência [2].

KPI	Definição / Fundamentação
XTI	Intensidade de Turbulência – Declive Declive da reta de regressão linear com forçamento de cruzamento na origem.
R2TI	Intensidade da Turbulência – Coeficiente de Correlação Coeficiente de correlação da regressão linear com forçamento de cruzamento na origem.
A	Camada Limite Atmosférica – Expoente da lei de potências de Hellman. Cisalhamento do Escoamento Velocidade do Vento – Alfa Expoente de Cisalhamento relacionado com a lei potências de Hellman. a) Expoente (alfa) a calcular utilizando alturas de referência representativas das alturas inferior e superior da ponta das pás do rotor da turbina, sempre que possível. Se limitado pelas cotas de medição disponíveis, deve assegurar-se de que a banda vertical avaliada é a mais abrangente possível.