



OIPS

Projeto Offshore Island Porto Santo

M1420-01-0247-FEDER-000020

TAREFA 3

Modelações Matemáticas



ATIVIDADE 3.1

MODELAÇÃO ELÉCTRICA DOS VÁRIOS CENÁRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

EEM - Empresa de Electricidade da Madeira

Maio 2021

Índice

1. Sistema de Simulação e EMS (Energy Management System)	3
1.1. Breve descrição	3
1.2. Alternativas em estudo	4
1.2.1. Porto Santo sem ligação elétrica à ilha da Madeira.....	4
1.2.2. Porto Santo com ligação à ilha da Madeira.....	4
1.2.3. Sistema electroprodutor conjunto de ambas das ilhas.....	6
1.3. Potencial eólico offshore.....	6
1.4. Simulação das alternativas para o Porto Santo não interligado	10
Simulador do sistema de gestão de energia do Porto Santo	10
1.5. Simulação das alternativas para o Porto Santo interligado	14
1.5.1. Considerações iniciais	15
1.5.2. Principais pressupostos.....	17
1.5.3. Pressupostos assumidos.....	19
1.5.4. Dados para simulação:	19
1.5.5. Critérios da procura (cargas do ano alvo):	19
1.5.6. Pressupostos de definição da potência térmica mínima:	20
1.5.7. Algoritmo de encaixe de fontes de energia renovável	20
1.5.8. Algoritmo de Gestão da Bombagem no Sistema dos Socorridos.....	23
1.5.9. Limitações adicionais de encaixe de energia eólica.....	23
1.6. Resultados obtidos na simulação combinada.....	24

Índice de figuras

Figura 1: Curvas de potencia dos aerogeradores.....	5
Figura 2: Dados de vento TMY a 10 m de altura.....	6
Figura 3: Dados de vento TMY a 80 m de altura.....	7
Figura 4: Médias mensais dos dados de vento TMY a 10, 80 e 110 m de altura.	7
Figura 5: Comparação entre velocidade de vento	9
Figura 6: Esquema do sistema hidroeléctrico da Calheta	16
Figura 7: Construção da estação elevatória	17
Figura 8: Imagem aérea das obras	17
Figura 9: Volume planeado mínimo/previsto do armazenamento da barragem do Pico da Urze ao longo do ano: Calheta	22
Figura 10: Níveis de referência e resultado de simulação de um ano: Calheta.....	23
Figura 11: Resultado de simulação de um ano no Reservatório de Restituição: Calheta.....	23



Índice de tabelas

Tabela 1: Dados médios de vento a 10 anos.....	8
Tabela 2: Dados horários de vento de 2016	9
Tabela 3: Resultados da simulação do ano 2016	13
Tabela 4: Dados de emissão geral a 10 anos.....	20
Tabela 5: Resultados obtidos na simulação do ano 2016	25

1. Sistema de Simulação e EMS (Energy Management System)

1.1. Breve descrição

Nesta tarefa, foram empregues ferramentas de simulação cronológica EMS (Energy Management System), desenvolvidas internamente pela EEM, em ambiente Excel e/ou Matlab, onde se procura simular, para um dado intervalo de tempo, a produção que é possível de produzir para cada alternativa/fonte de energia e local das instalações, face ao seu potencial síncrono, no contexto de produção local e carga, mediante as condicionantes de exploração do sistema electroprodutor e considerando as condições de segurança no abastecimento estabelecidas para as ilhas da Madeira e Porto Santo.

O ano considerado para a simulação, foi o ano de 2016, pois foi considerado um ano médio em termos de recursos hídrico, eólico e solar nas ilhas da Madeira e Porto Santo. Acresce que para este ano, a EEM já dispõe de ferramentas internas de simulação e dados fiáveis que permitem a sua melhor extrapolação de resultados para cenários futuros.

No caso das alternativas de ligação do parque offshore à ilha do Porto Santo, considera-se a simulação ao minuto. Todos os dados que não estão neste formato serão convertidos utilizando ferramentas matemáticas lineares. Para a alternativa de interligação entre ilhas, foram utilizados dados de 5 em 5 minutos. Todos os restantes dados necessários serão convertidos neste formato temporal, utilizando também extrapolações lineares.

Por se tratar de redes isoladas, nem toda a energia disponível de origem renovável poderá ser entregue à rede, porque para um dado momento, a energia renovável disponível pode exceder a carga mais os mínimos térmicos que são necessários manter. Para qualquer fonte renovável, a simulação recorre ao despacho da energia disponível (EMS) por fonte e por cada instalação de produção, existente ou projetada, mediante as condições de receção da rede. No entanto, procura maximizar a integração da mesma, dentro das condições mínimas de qualidade de serviço. No caso da ilha da Madeira, há dois sistemas reversíveis que procuram armazenar e bombear água quando a renovável é excedentária.

O resultado para cada alternativa, é a energia possível injetar na rede, face a energia disponível, em termos anuais, resultando em uma energia não encaixada (cortada), por cada sistema electroprodutor renovável, qualquer que ele seja (solar ou eólico), que pode condicionar a sua viabilidade económica, se a energia disponível não for assim tão vantajosa, ou a energia cortada for elevada.

Tipicamente, numa rede isolada, quando maior for a penetração de renovável na produção global, mais difícil é o seu encaixe. Por outro lado, se houver várias fontes renováveis diferentes e dispersas no território, maior é a capacidade de integração global, dada a descorrelação entre os vários centros produtores renováveis e estas com a carga. Em simulação, é possível maximizar a sua integração, minimizando os custos com soluções mitigadoras como as BESS (sistemas de baterias) ou sistemas de hidroelétricos reversíveis, entre outros.

1.2. Alternativas em estudo

Com base na análise do consórcio OIPS, foram consideradas duas opções para estudo de viabilidade técnico e económica: Porto Santo sem ligação elétrica à ilha da Madeira e Porto Santo com ligação elétrica à ilha da Madeira.

1.2.1. Porto Santo sem ligação elétrica à ilha da Madeira

Nesta opção foram consideradas apenas uma plataforma, com as seguintes turbinas;

- Classe IEC I
 - 2 x 3,45 MW (considerando curvas de potência genérica)
 - 2 x 5,00 MW (considerando curvas de potência genérica)
- Classe IEC II
 - 2 x 3,45 MW (considerando curvas de potência genérica)
 - 2 x 5,00 MW (considerando curvas de potência genérica)

1.2.1.1. Sistema electroprodutor da ilha do Porto Santo, considerada

Do ponto de vista electroprodutor foram consideradas as seguintes condições de funcionamento, prevista para um futuro próximo, nomeadamente:

- A produção térmica poderá ir a zero sempre que seja necessário, uma vez que:
 - Em 2019, foi instalada uma central de Baterias de 4 MW 3,15 MWh, que já permite o funcionamento, com apenas um grupo térmico;
 - A curto prazo será instalada uma segunda bateria, com valores mínimos 6 MW 12 MWh, que permitirá o funcionamento sem a componente térmica por períodos limitados, sempre que houver potência renovável disponível para alimentar a carga;
- Prevê-se que a curto prazo a eólica Onshore adicional seja na ordem dos 2 MW, face à potência atual instalada;
- Para a solar PV, admite-se que seja instalado uma potência adicional de 1 MW.

1.2.2. Porto Santo com ligação à ilha da Madeira.

Nesta alternativa, foram testadas as seguintes combinações do ponto de vista da configuração das plataformas escaladas para cerca 30/40 MW

- 3 x 2 x 5,2 MW – TWD 139 (considerando curvas de potência genérica)
 - Total 31,2 MW.
- 2 x 2 x 10 MW – TWD 198 (considerando curvas de potência genérica)
 - Total 40 MW.

No seguinte gráfico, indica-se as curvas dos aerogeradores considerados.

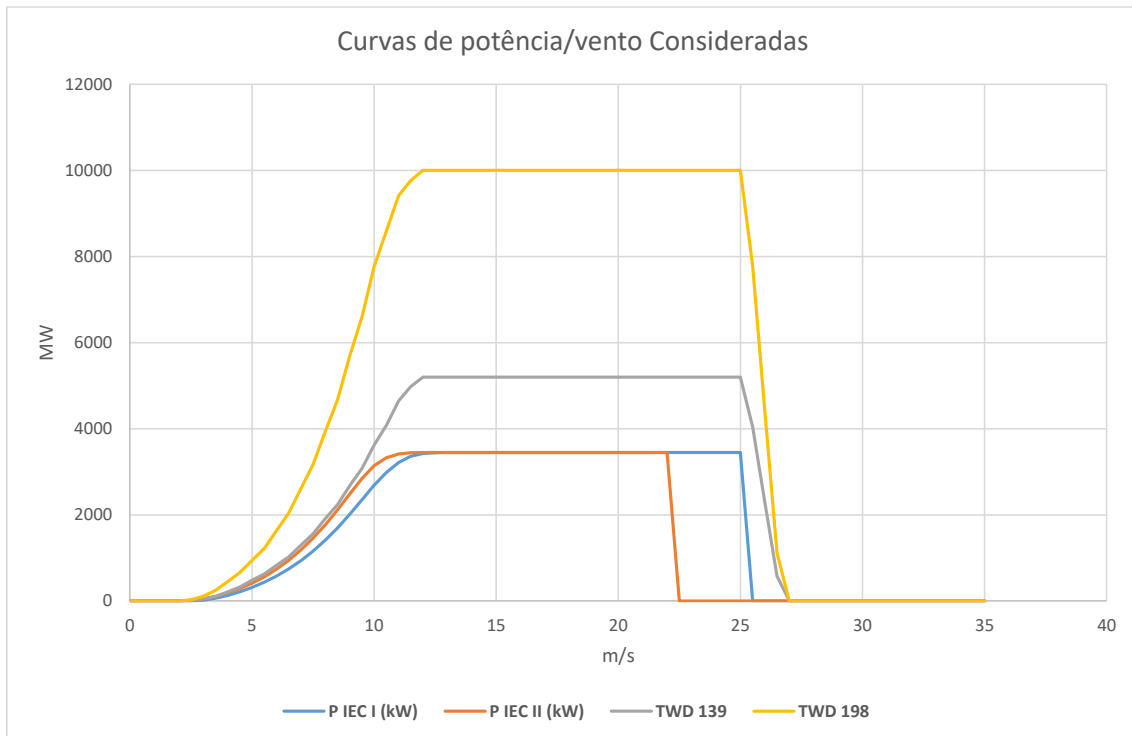


Figura 1: Curvas de potencia dos aerogeradores

1.2.2.1. Sistema electroprodutor da Madeira

Na ilha da Madeira, considera-se também os investimentos previstos para o período 2020-2025, na ilha da Madeira, que corresponde já, a um cenário definido para 50% de renováveis, mais relevantes tais como os seguintes:

1. A Ampliação do Aproveitamento Hidroelétrico da Calheta (Calheta III), em fase de ensaios, com um armazenamento equivalente a 1,5 GWh a montante, que conta com uma potência de produção de 30 MW e 16,5 MW de bombagem;
2. BESS1 - Sistema de Baterias de 15 MW/10 MWh (em construção 2021), na subestação da Vitória;
3. Mais 25 MW de eólica (18 MW já disponíveis em 2021);
4. Mais 50-60 MW de Solar instalada (em processo de enquadramento legal e de tarifário para RAM);
5. BESS2 - Sistema de Baterias de 15 MW/15 MWh (Prevista para 2022-24);
6. Instalação de um Compensador Síncrono com uma potência mínima na ordem dos 15 MVA (Prevista para 2022-24);
7. Remodelação da Central da Serra de Água, com ampliação para 10,5 MW, com grupos otimizados para fornecer serviços de sistema (em fase de projeto de execução).
8. Reforço da rede de transporte, que permitam o transporte da produção sem limitações.

Os pontos 3 e 4, serão os grandes responsáveis pelo aumento da produção de origem renovável.

Os restantes pontos são basicamente para permitir o encaixe de renováveis sobretudo de fontes intermitentes. A Calheta III, introduz a capacidade de armazenamento de energia via

bombagem, retenção de água e despacho de hídrica com horários mais convenientes, permitindo o encaixe adicional de outras renováveis.

Por outro lado, os sistemas de baterias “BESS”, juntamente com os compensadores síncronos, hídricos ou dedicados, permitem reduzir a componente térmica, pois elas possibilitam substituir a reserva girante mecânica, por reserva girante sintética e como tal a térmica pode ser desligada.

1.2.3. Sistema electroprodutor conjunto de ambas das ilhas

Basicamente, procurou-se integrar a ilha do Porto Santo na ilha da Madeira dada a dimensão desta última, mas limitando a interligação nominal de 30 MW.

Neste cenário, considera-se as opções indicadas nos pontos 1.2.1.1 e 1.2.2.1

1.3. Potencial eólico offshore

O consórcio forneceu um conjunto de dados de vento (m/s), que procura reproduzir o ano de vento típico meteorológico (TMY - *Typical Meteorological Year*), baseados nos dados registados no Aeroporto do Porto Santo, como demonstram os seguintes gráficos:

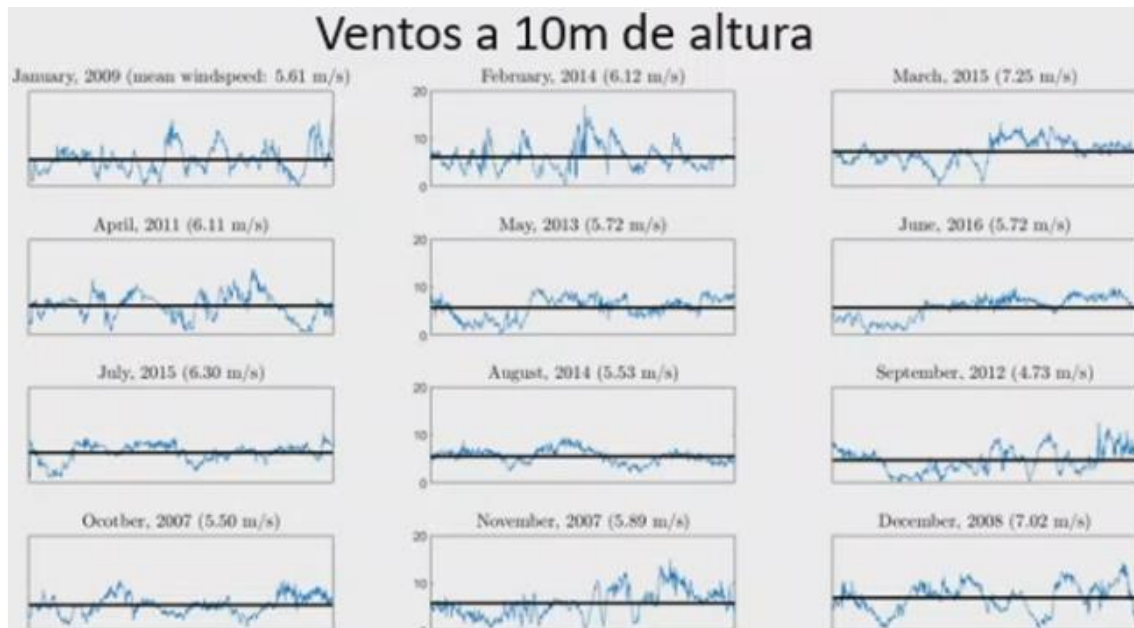


Figura 2: Dados de vento TMY a 10 m de altura.

Por outro lado, estes dados foram fornecidos já extrapolados para o local alvo e para as altitudes de 80 e 100 metros, conforme os seguintes gráficos:

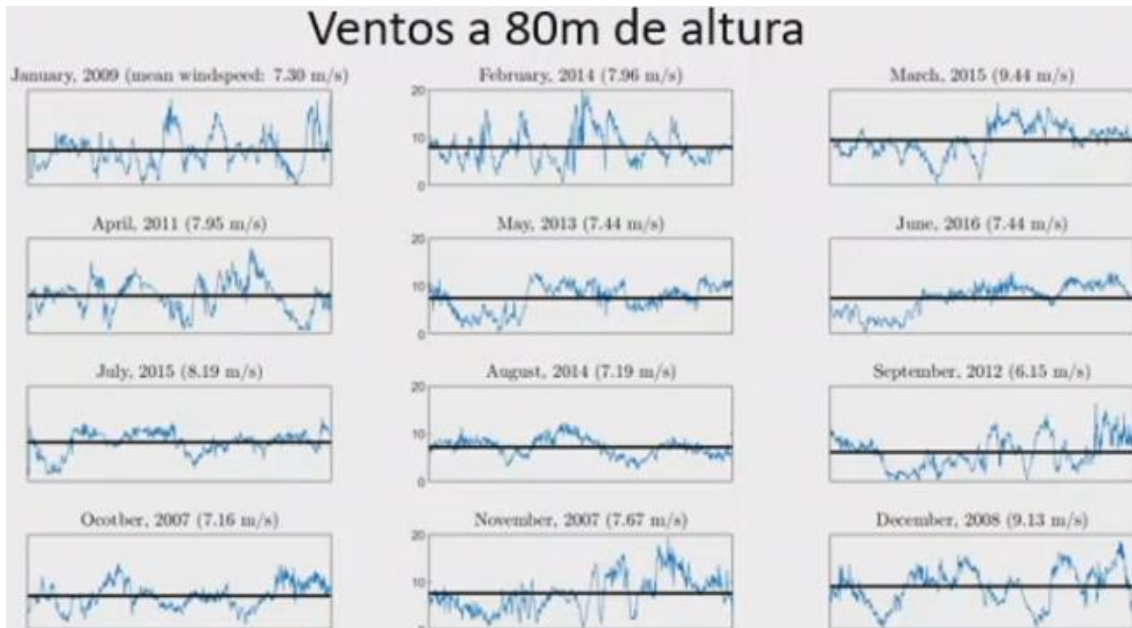


Figura 3: Dados de vento TMY a 80 m de altura.

Os valores médios estão resumidos na seguinte tabela:

	Average Wind at		
	10m	80m	110m *
january	5.61	7.3	7.55
february	6.12	7.96	8.24
march	7.25	9.44	9.77
april	6.11	7.95	8.23
may	5.72	7.44	7.71
june	5.72	7.44	7.7
july	6.3	8.19	8.48
august	5.53	7.19	7.44
september	4.73	6.15	6.37
october	5.5	7.16	7.41
november	5.89	7.67	7.94
december	7.02	9.13	9.45
	5.96	7.75	8.02

Figura 4: Médias mensais dos dados de vento TMY a 10, 80 e 110 m de altura.

No entanto, para integração da produção de qualquer renovável intermitente num contexto de redes isoladas, onde a carga verificada e os recursos disponíveis têm de ser geridos instantaneamente e de forma síncrona.

Se por um lado durante o dia, como a carga é maior, há mais espaço para encaixe de renováveis, durante a noite o efeito é ao contrário. Para além da carga, há os critérios de segurança do abastecimento dos consumos que no caso da ilha da Madeira assume um valor de 33 MW térmico, atualmente, mas que nos cenários estudados pode descer a 0 MW com os investimentos previstos. Como exemplo quando a carga do vazio é de 65 MW as renováveis

disponíveis são superiores a 40 MW, terá que haver despacho de renovável, ou seja, haverá corte de energia, que é tanto maior quanto maior for a penetração destas renováveis.

Assim, é fundamental avaliar a velocidade de vento do sítio offshore, sincronamente com o verificado nos parques existentes no mesmo período, pelo que a EEM procedeu à reavaliação do potencial eólico, baseado nos dados do Aeroporto do ano de 2016, mas reajustado linearmente para os valores fornecidos, em termos médios anuais.

Assim, os parques eólicos *off-shore* apenas se considerou para efeitos de simulação o ano de 2016, uma vez que o perfil de produção destes teve por base apenas a série de dados de vento de 2016 obtida pela estação de medição do Aeroporto. Esta série de dados consiste na velocidade e direção do vento medida a 10 m de altitude em intervalos de 1 hora. Devido à altura que as turbinas poderão vir a ter, recorreu-se à expressão seguinte para extrapolar a velocidade de vento a 10 m para 80 e para 110 m:

$$U(z) = U_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (2)$$

em que:

- $U(z)$ é a velocidade de vento para a altura que se pretende extrapolar;
- U_r velocidade do vento na altura de referência;
- z altura para a qual se pretende extrapolar a velocidade de vento;
- z_r altura de referência.

Adicionalmente para obter a série de vento síncrona ao minuto/5 minutos, com restante perfil de carga e produção do ano de 2016, recorreu-se a uma distribuição normal com desvio padrão de 10% para passar os valores de vento em intervalos de 1 hora para intervalos de 1 minuto/5 minutos.

A conversão de vento para potência obteve-se através de duas curvas de potência de turbinas eólicas típicas de classe I e II, conforme cada cenário considerado.

Os quadros seguintes, procuram comparar os dados iniciais e os dados utilizados para a simulação:

Tabela 1: Dados médios de vento a 10 anos

Dados OIPS - Valores médios a 10 anos com referência dos dados registados no Aeroporto

Ano Ref	Mês	Média de 10m Wind velocity [m/s]	Média de 80m Wind velocity [m/s]	Média de 110m Wind velocity [m/s]
2009	1	5,52	7,18	7,55
2014	2	6,12	7,96	8,24
2015	3	7,23	9,41	9,77
2011	4	6,11	7,95	8,23
2013	5	5,64	7,34	7,71
2016	6	5,72	7,44	7,70
2015	7	6,23	8,10	8,48
2014	8	5,56	7,23	7,44
2012	9	4,73	6,15	6,37
2007	10	5,47	7,11	7,41
2007	11	5,89	7,67	7,94
2008	12	7,06	9,19	9,45
Total Geral		5,94	7,73	8,02

Tabela 2: Dados horários de vento de 2016

Dados horários do Aeroporto do Porto Santo de 2016, ajustados à média de 10 anos

Ano Ref	Mês	Média de 10m Wind velocity [m/s]	Média de 80m Wind velocity [m/s]	Média de 110m Wind velocity [m/s]
2016	1	4,65	6,04	6,27
2016	2	6,64	8,64	8,97
2016	3	5,64	7,33	7,61
2016	4	6,30	8,20	8,51
2016	5	6,20	8,07	8,37
2016	6	5,70	7,44	7,72
2016	7	6,87	8,94	9,28
2016	8	6,71	8,73	9,06
2016	9	5,42	7,04	7,31
2016	10	4,99	6,49	6,74
2016	11	5,74	7,47	7,75
2016	12	6,44	8,38	8,70
	Total Geral	5,94	7,73	8,02

O seguinte gráfico procura comparar as diferenças dos dois modelos de dados:

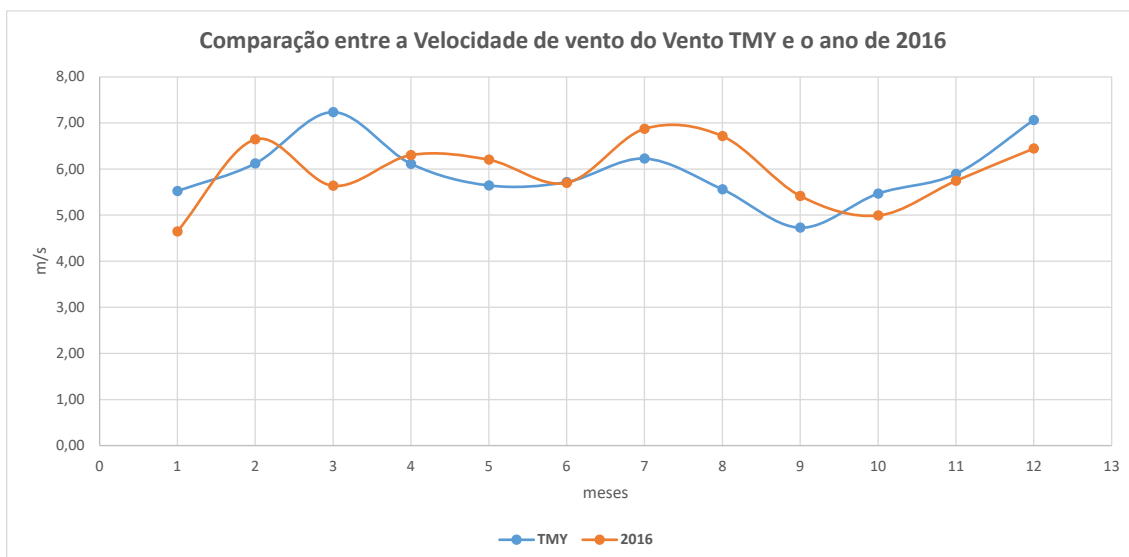


Figura 5: Comparação entre velocidade de vento

Verifica-se que, em março, o ano típico costuma ter uma velocidade de vento mais elevado do que o verificado em 2016. Por outro lado, a velocidade de vento foi mais intensa nos meses de verão em 2016, do que no ano típico.

Apesar das diferenças serem marginais, poderão ter impactos consideráveis na produção mensal e na integração na rede, pois é mais fácil, tipicamente entregar mais eólica de verão do que de inverno. Acresce que a energia do vento é proporcional ao cubo da mesma.

A forma de contornar esta questão seria simular mais anos e com isso apresentar valores mais representativos. No entanto, para efeitos deste estudo, considerou-se apenas o ano de 2016.

Como se trata de plataformas flutuantes, é de esperar tempos de indisponibilidade associada à agitação marítima/ondulação, que deveriam também ser previstos de uma forma síncrona com

os restantes dados de vento, mas não foi possível apurar os mesmos, pelos parceiros do consórcio responsáveis por esta tarefa.

1.4. Simulação das alternativas para o Porto Santo não interligado

Neste capítulo apresentam-se a metodologia utilizada nas simulações bem como os resultados obtidos no encaixe de eólica nas alternativas consideradas.

Simulador do sistema de gestão de energia do Porto Santo

O simulador de gestão da energia da ilha do Porto Santo, tem como objetivo estimar o encaixe de energia por fonte, através do incremento da potência solar e eólica instalada e da integração de sistemas de armazenamento energético com baterias (BESS – Battery Energy Storage Systems). A simulação tem por base os registos síncronos ao minuto da carga e produção renovável verificados para a ilha do Porto Santo nos anos 2016-2019.

Na simulação de cenários com sistemas de baterias superiores ao atual no Porto Santo (4 MW / 3 MWh) é possível explorar o sistema com térmica zero, cenário que o sistema atual ainda não permite.

1.4.1.1. Considerações iniciais

Produção dos novos investimentos de solar PV e eólica (on-shore)

O simulador tem como referência os diagramas de consumo e produção ao minuto dos anos de 2016 a 2019 fornecidos pelo Serviço de Despacho da EEM. Estes diagramas são a base dos cenários de carga e geração renovável da simulação. A produção de energia dos novos investimentos nas componentes de solar e eólica no simulador são calculados através das séries de potência verificadas no parque solar PV de 2 MW e no parque eólico de 0,66 MW. A expressão seguinte descreve como é obtido a produção dos novos parques (solar e eólico) com base na produção verificada:

$$P_{novo}(i) = P_{Ver}(i) \times \frac{P_{add}}{P_{inst}} \quad (1)$$

em que:

- $P_{novo}(i)$ é a potência produzida dos novos parques para cada minuto i ;
- $P_{Ver}(i)$ é a potência produzida pelos parques atuais em cada minuto i ;
- P_{add} é a potência instalada do novo parque;
- P_{inst} é a potência instalada dos parques atuais.

Os dados de produção dos novos investimentos eólicos também podem ser estimados através das séries de vento (velocidade e direção) obtidas pela estação de medição do Aeroporto do Porto Santo, nos anos considerados para a simulação.

Produção dos novos investimentos de eólica (off-shore)

Conforme previsto em:

Componente Térmica

Para esta componente considerou-se 4 grupos térmicos iguais, com uma potência mínima de funcionamento de 0,8 MW e máxima de 3,5 MW. Sempre que um grupo está em operação, quando a potência do mesmo atinge o máximo é dada a ordem para ligar um novo grupo. Também se estabeleceu um intervalo mínimo de funcionamento de 30 minutos para esta componente, ou seja, sempre que é necessário recorrer a potência térmica, esta opera continuamente no mínimo 30 minutos.

Para cálculos de consumo de combustíveis por parte da central térmica, considerou-se os grupos como dual-fuel, em que para potências de funcionamento inferiores a 1,296 MW o combustível utilizado é o diesel e para potências superiores é o fuelóleo.

Sistema de baterias

Nesta componente de armazenamento energético, considerou-se sistemas de baterias caracterizados pela sua potência nominal em MW e capacidade em MWh, com resposta instantânea tanto em cenários de carga como de descarga. Tem-se como base do sistema de armazenamento, o sistema de baterias atual do Porto Santo, 3 MWh / 4 MW. Na simulação considerou-se o sistema de baterias como um só, que engloba o atual com os futuros investimentos nesta componente. Os limites de funcionamento do sistema de baterias estão relacionados com a potência de carga/descarga e a energia armazenada. No caso da potência, o sistema pode descarregar até à sua potência nominal, enquanto que durante a carga considerou-se que pode carregar à potência nominal enquanto que o SoC (*State of Charge*) for inferior a 90%. Para valores de SoC superiores a 90 %, a potência máxima de carregamento reduz-se para metade da sua potência nominal. Relativamente os limites sobre o armazenamento de energia, considerou-se como mínimo 1,2 MWh e como máximo a energia equivalente a 98% de SoC. Considerou-se uma eficiência de 90% nos ciclos de carga/descarga.

1.4.1.2. Algoritmo de gestão de energia

Toda a produção renovável, a atual e a futura, no simulador assumiu-se como despachável, isto é, quando não for possível ser encaixada na sua totalidade fica sujeita ao corte. Para cada iteração da simulação (intervalos de 1 minuto), consoante o nível de carga e de energia na bateria, é calculado a energia encaixada por fonte (solar, eólica e térmica) como também a energia que não foi possível ser encaixada. O primeiro passo realizado pelo simulador é verificar a diferença entre a carga e a produção renovável ao minuto:

$$Diff = Carga(i) - PRE_{disp}(i) \quad (3)$$

Sendo $Diff$ a diferença entre a carga e a produção renovável para cada instante i , $Carga(i)$ potência consumida e $PRE_{disp}(i)$ o somatório da potência solar e eólica disponível no instante i . Para diferentes valores de $Diff$, o simulador tem diferentes comportamentos:

- $Diff < 0$: excesso de produção em relação à carga – nesta situação o simulador verifica o nível de energia de bateria e se não estiver totalmente carregada, o excesso de energia renovável é utilizado para carregar a bateria. Caso a bateria esteja totalmente carregada, esse excesso de energia é considerado como rejeitado.
- $Diff = 0$: produção é igual à carga – bateria não carrega, nem descarrega e não há energia rejeitada.
- $Diff > 0$: Carga superior à produção – neste caso, se a bateria tiver armazenada energia suficiente, esta irá descarregar para compensar o défice de produção, ou seja, a potência de descarga igual a $Diff$. Na situação em que o nível de energia da bateria é inferior ao mínimo requerido, o simulador recorre à térmica, ou seja, a potência térmica é igual a $Diff$ (desde que cumpra com o mínimo térmico).

Térmica

Para as situações em que é necessário recorrer à térmica, teve-se que ter em consideração o valor de potência térmica mínimo de 0,8 MW:

$$Diff = Carga(i) - PRE_{disp}(i) - 0,8 \quad (4)$$

O valor da componente térmica é calculado com base no diferencial entre a carga e o total da produção renovável mais o mínimo térmico:

- $Diff < 0$: excesso de produção em relação à carga – neste cenário o valor da componente térmica é igual ao mínimo térmico, 0,8 MW. A produção que não é possível encaixar, é utilizada para carregar a bateria e rejeitada caso o excesso de potência for superior à potência de carregamento.
- $Diff = 0$: produção igual à carga – o valor de componente térmica é igual ao seu mínimo térmico.
- $Diff > 0$: carga superior à produção – neste caso o valor da componente térmica é igual ao seu mínimo mais o défice de produção.

No simulador implementou-se um intervalo de histerese que controla quando é que a térmica deve ligar e voltar a se desligar: quando a energia da bateria é inferior a 1,2 MWh, a térmica é ligada, mas apenas esta só se desliga quando a energia da bateria for superior a 2 MWh. Este controlo por histerese evita que a térmica se desligue instantes depois de se ter ligado (comportamento pouco próximo do real).

Bateria

A energia da bateria em cada instante da simulação é obtida consoante o seu comportamento de carga/descarga:

$$E_{Bat}(i) = E_{Bat}(i - 1) + \frac{P_{Bat}(i)}{60} \quad (5)$$

em que $E_{Bat}(i)$ é a energia da bateria no instante i e P_{Bat} a potência a ser pedida à bateria no instante i , que pode ser positiva quando está a carregar, negativa a descarregar ou zero quando

não atua. Também se considerou para a potência de carga e descarga, um rendimento de 90%, obtendo-se assim as perdas de energia devido à carga e descarga da bateria:

$$E_{Bateria_{perdas}} = \sum_i \frac{|P_{Bat}(i)|}{60} \times (1 - 90\%) \quad (6)$$

Corte de renovável

Na rejeição de energia renovável não se considerou nenhuma ordem de mérito para o corte, isto é, o corte de energia solar e eólica é realizado de igual forma, com base na sua produção em cada instante de simulação:

$$Solar_{rej}(i) = \frac{Solar(i)}{PRE_{disp}(i)} \times PRE_{rej}(i) \quad (7)$$

$$Eolica_{rej}(i) = \frac{Eolica(i)}{PRE_{disp}(i)} \times PRE_{rej}(i) \quad (8)$$

em que:

- $Solar_{rej}(i)$: potência solar rejeitada;
- $Solar(i)$: potência solar disponível;
- $PRE_{disp}(i)$: somatório da potência solar e eólica disponível;
- $PRE_{rej}(i)$: potência renovável rejeitada;
- $Eolica_{rej}(i)$: potência eólica rejeitada;
- $Eolica(i)$: potência eólica disponível.

1.4.1.3. Resultados da simulação

Tabela 3: Resultados da simulação do ano 2016

Plataforma	Com sistemas de armazenamento instalados na ilha				Unidades
	P IEC I	P IEC II	P IEC I	P IEC II	
	2 x 3,45 MW	2 x 3,45 MW	2 x 5 MW	2 x 5 MW	
Eólica adicional _Offshore	6,90	6,90	10,00	10,00	MW
Eólica adicional _Onshore	2,0	2,0	2,0	2,0	
Solar adicional	1,0	1,0	1,0	1,0	MW
PRE encaixada	76,5%	79,8%	83,1%	85,9%	%
Eólica rejeitada	31%	34%	50%	53%	%
Solar rejeitada	3,2%	3,7%	2,3%	2,1%	%
BESS atual e prevista					
Bateria Energia	15,0	15,0	15,0	15,0	MWh
Bateria Potência	10,0	10,0	10,0	10,0	MW
Térmica	7,7	6,6	5,5	4,6	GWh
Solar encaixada (Global)	4,8	4,8	4,8	4,8	GWh
Eólica encaixada (Global)	20,4	21,5	22,5	23,4	GWh
Horas Equiv. Encaixada**	2129	2246	1777	1846	Horas

Resultados da simulação obtidos considerando apenas o ano de 2016. Conforme se pode verificar, as perdas de produção podem oscilar entre os 30% para os cenários de uma plataforma com turbinas de 3,45 MW ou de 50% para cenários com uma plataforma de duas turbinas de 5 MW.

Por outro lado, o potencial eólico offshore não é muito elevado, pelo que, com os custos atuais destas tecnologias, só com participação especial é que pode viabilizar este tipo de projetos.

No entanto, é possível abastecer a ilha com renováveis na ordem dos 75 a 85%, nestes cenários que são valores bastante ambiciosos.

No estado atual da arte em sistemas de armazenamento, poderá ser mais interessante para o LCOE global, apostar em rejeições elevadas minimizando o custo em sistemas de armazenamento, mas em sistemas *on-shore* para a eólica e solar.

Para uma ilha com o Porto Santo, onde não há sistemas hídricos, qualquer sistema hidroelétrico reversível teria que ser construído de raiz. Por outro lado, as localizações para a instalação desde sistema não são adequadas, quer por quedas baixas, quer por falta de locais para volumes considerados, pelo que esta opção não é alternativa.

A mobilidade elétrica com “*smart charging*” poderá ser uma opção interessante para valores elevados de PRE, a par da eletrificação dos consumos possíveis, como o aquecimento de águas sanitárias e confeção de alimentos.

Outras soluções poderão surgir, entretanto como baterias em segunda vida, combustíveis sintéticos, microalgas, sistemas de armazenamento térmico, ar comprimido, ar liquefeito e, eventualmente hidrogénio.

1.5. Simulação das alternativas para o Porto Santo interligado

O **Simulador de Produção Renovável (EMS)** desenvolvido pela EEM, visa estimar o encaixe adicional de energia eólica e solar PV, devolvendo a energia que é possível encaixar no sistema e a que é rejeitada, por fonte primária, face ao recurso disponível, para um ano futuro, com base em um ano (ou mais) de referência do passado, assumindo-se que: o comportamento da carga e de produção renovável do passado são representativos para os anos futuros; são considerados os novos investimentos programados no período 2018-2025, nomeadamente: a Central hidroelétrica da Calheta III, a adição de compensação síncrona nas centrais de Socorridos e Calheta II, a instalação de um sistema de Baterias BESS (1 e 2) e a operacionalização da acumulação dos túneis da Ameixeira/São Vicente, bem como todos os pontos descritos em: 1.2.1 e em 1.2.2.1, garantindo, todavia, os critérios de segurança existentes.

Neste estudo em concreto, considerou-se a adaptação do modelo existente, com a interligação com o Porto Santo, limitado a 30 MW, com a carga conjunta de ambas as ilhas e das produções renováveis de ambas as ilhas. Para o cabo, considerou-se também as respetivas perdas do mesmo.

1.5.1. Considerações iniciais

Entre 2016-2018, foi desenvolvido um simulador para avaliar o impacto da Ampliação do Aproveitamento Hidroelétrico da Calheta (Calheta III), que consiste na transformação de uma central existente (Calheta I) num sistema reversível, com 30 MW de potência e 16,5 MW de Bombagem, tendo a barragem do Pico da Urze (a montante) uma capacidade de 1.000.000 m³ (860.000 m³ úteis) e uma câmara a jusante de 70.000 m³, incluindo a instalação de mais 25 MW de potência eólica. Com essa avaliação pretendeu-se estimar/validar a produção, consumo de bombagem e encaixe da potência eólica atual e futura, para um ano de referência base, onde foi considerado o ano de 2014, pois foi um ano médio hidrológico, sendo que o recente upgrade do SCADA instalado no Serviço de Despacho da EEM, já permitiu registar os dados mínimos necessários para o efeito.

No processo foram acrescentadas novas capacidades de simulação, nomeadamente a componente solar, do sistema de baterias BESS (1 e agora o 2), bem como a possibilidade de usar outros anos de referência e simular diagramas de anos futuros (até 40 anos), incluindo novo tipo de cargas como EV's, modelação das escorrências hídricas do Paul da Serra, via precipitação e orografia local, assim como introduzir os impactos previstos para alterações climáticas. Acresce que podem ser simulados outros locais que não o Paul da Serra para a eólica/solar/outras, desde que se obtenham dados síncronos credíveis com os dados atuais.

A componente hídrica com o novo sistema da Calheta III irá aumentar significativamente de complexidade da gestão do sistema electroprodutor, que o Simulador procura antever, pois a gestão do sistema hídrico passará de uma gestão a fio de água (já que as atuais acumulações nas restantes centrais apenas permitem algumas horas de gestão) para um sistema de gestão de armazenamento de energia, via Barragem do Pico da Urze, tendo esta uma capacidade de energia bruta na ordem dos 2,3 GWh (considerando a Calheta II em cascata), face aos atuais 100 MWh (hídricos). Por outro lado, existem outras questões como a gestão da água para outros usos (consumo humano e regadio) à cota 650, a bombagem e a gestão da central da Calheta I e da Calheta II. A Calheta I ficará com os dois escalões da Rocha Vermelha e do Rabaçal, funcionando a fio de água, pelo que o simulador procura decidir o que fazer com a água que chega à cota 650. Se por um lado o simulador procura encaixar o máximo de energias renováveis, através da retenção de água à cota 1350 e bombeando da cota 650 para a cota 1350, também procura maximizar a produção hídrica na Calheta II, que é limitada pela sua potência de 7,1 MW, face à potência da CTA III (30 MW e quedas idênticas). Pelas simulações, quanto mais vazia a barragem do Pico da Urze estiver, menor é a energia rejeitada quer na eólica, quer na hídrica e eventualmente solar PV (menor impacto). No entanto, nos meses que antecedem o verão, a barragem deverá estar o mais cheia possível, de modo a garantir uma reserva estratégica de água para outros usos.

O seguinte esquema procura exemplificar a complexidade do sistema hidroelétrico da Calheta, com a Calheta III:

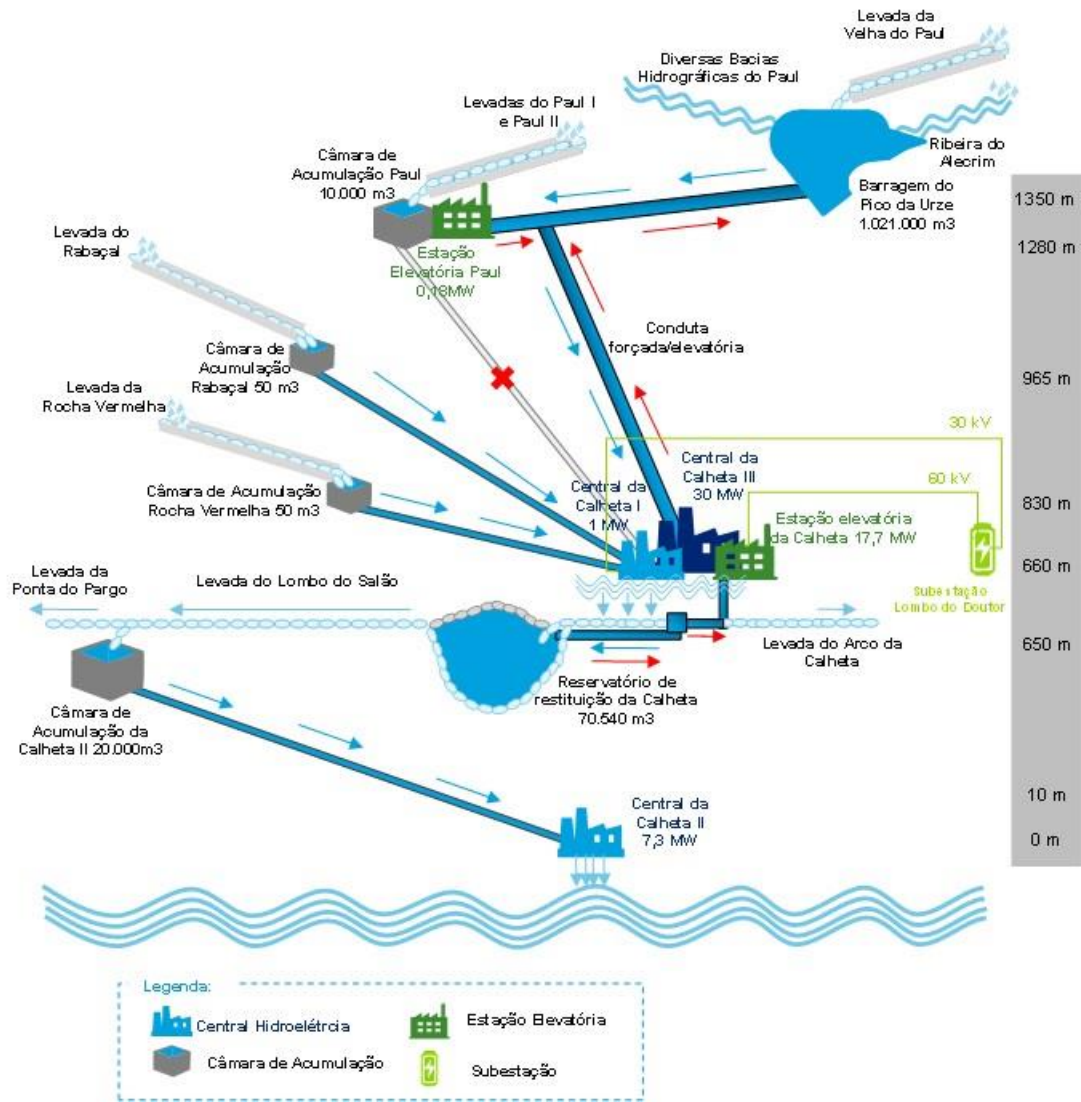


Figura 6: Esquema do sistema hidroelétrico da Calheta



Figura 7: Construção da estação elevatória



Figura 8: Imagem aérea das obras

1.5.2. Principais pressupostos

A simulação é realizada em médias de 5 em 5 minutos, baseada nos dados recolhidos pelo sistema de SCADA da EEM, ao minuto, para assim ser possível lidar, com maior precisão, com a intermitência das fontes renováveis. O sistema SCADA, não só recolhe os dados de produção de todas as centrais, como também regista o potencial de produção existente, indicado pelos aerogeradores operacionais, no caso da eólica. A solar PV atual (15 MW em dois parques com localizações distintas), não é atualmente sujeita a despacho (não está

implementado nenhum sistema de set-points), pelo que a energia produzida é assumida como a energia disponível, servindo de referencial para produções futuras.

Podem ser criados outros parques solares ou eólicos virtuais, com recurso a reanálise climática que procura estimar, de forma síncrona os dados existentes nos períodos de simulação.

Os anos de referência (para as renováveis e procura) utilizados no simulador, vão desde 2014 até 2016, sendo os anos de 2014 e 2016 os mais representativos, dado terem sido anos médios em termos do recurso hídrico, os quais condicionam fortemente as outras componentes, nomeadamente a eólica, dada a correlação elevada existente entre estas duas fontes.

Há, contudo, um conjunto de pressupostos assumidos nas simulações, pois não é possível reproduzir todas as situações que o Despacho enfrenta diariamente, no que diz respeito à potência térmica mínima, pois depende de um conjunto de fatores tais como: a disponibilidade dos grupos térmicos existentes, mínimos operacionais por grupo, a previsão assertiva/incerteza dos recursos renováveis, produção hídrica, estrangulamentos no uso do gás natural, estrangulamentos da rede, etc., pelo que se normalizou um mínimo térmico representativo, para cada opção de simulação. No caso da Calheta III e da remodelação das centrais dos Socorridos e Calheta II, assume-se que estes projetos irão reduzir a térmica mínima, em termos médios, da ordem dos 7 MW, devido à sua componente de compensação síncrona (reserva operacional) e inércia adicional, resultando numa maior flexibilidade de exploração do parque térmico.

Atualmente, quando a componente hídrica é elevada, também é possível reduzir em cerca de 6 MW a térmica mínima (dada a inércia associada e reserva operacional).

Os sistemas de baterias deverão reduzir a térmica mínima em igual valor a sua capacidade, que se estima ser na ordem dos 15 MW para a BESS 1 e mais 15 MW para a BESS.

O simulador está também preparado para:

- Estimar o impacto das alterações climáticas, na componente hídrica, uma vez que tem impacto na produção hídrica, em dois períodos distintos (2020-2039 e 2040-2069);
- A evolução da carga, não só na expectativa de crescimento do consumo, mas também em outros fatores que alteram o perfil do diagrama de cargas futuro face aos anos de referência a utilizar, tais como:
 - Carregamento de veículos elétricos;
 - Eficiência na iluminação pública;
 - Transferência de cargas do período fora de vazio para o período de vazio, nos sectores doméstico e comercial;
 - Autoconsumo (impacto no crescimento da carga anual).

Contudo, estas últimas considerações só terão impacto significativo a longo prazo, pois a contribuição de cada componente indicada é, ainda, marginal a curto prazo (5 anos). Portanto, para o período 2020 a 2025, os impactos serão marginais. Por outro lado, verifica-se que o padrão diário e sazonal do diagrama de cargas altera-se marginalmente quando se considera um intervalo de tempo na ordem dos cinco anos, pelo que se pode assumir que o padrão das cargas não se altera significativamente para os anos alvo de simulação (2020-2021).

1.5.3. Pressupostos assumidos

No Simulador, foram estabelecidos os seguintes pressupostos:

1.5.4. Dados para simulação:

- A simulação poderá utilizar como base os dados de produção e procura os anos 2014, 2015 e 2016, em médias de 5 minutos (criados a partir de médias ao minuto pelo Serviço de Despacho da EEM);
- A produtividade da potência eólica adicional é baseada no perfil da eólica existente (eólica disponível) acrescida em 10%, para considerar a melhoria da eficiência devido à evolução tecnológica dos equipamentos;
- Considera-se um fator de simultaneidade da produção eólica de 95%, dado os parques atuais e previstos serem instalados na mesma região;
- A produtividade da potência fotovoltaica adicional é baseada no perfil das instalações existentes, acrescida em 5%, para considerar a melhoria da eficiência devido à evolução tecnológica dos equipamentos;
- Considera-se que está sempre disponível a totalidade da potência instalada das fontes renováveis;
- Os caudais das levadas da Rocha Vermelha, do Rabaçal e do escalão do Paul da Serra, da central da Calheta I e dos caudais da CTA II são calculados através da produção diária média (para estimar os caudais a fio), através da seguinte expressão:
 - $Q = P / (8 \times H)$, sendo: Q o caudal em m³/s, P a potência média diária em MW e o H a queda representativa média por cada central ou escalão.
- Com base na diferença de caudais entre a Calheta I e a Calheta II, define-se o caudal médio diário, que é destinado para outros usos, à cota 650. O caudal para outros usos permanece inalterado para as simulações dos anos futuros;
- As afluições futuras previstas no projeto da Calheta III, à cota 1350 foram estimadas com base na precipitação no Paul da Serra, a respetiva orografia das bacias de drenagem, afetadas pela capacidade de adução da Levada Velha do Paul, da Levada do Paul I e II e pela ribeira do Alecrim, que descarrega diretamente na barragem. Neste cálculo, foi utilizado o método SCS (Soil Conservation Service) para o cálculo das escorrências superficiais. Para o cálculo das escorrências subterrâneas utilizou-se os dados síncronos de produção do escalão do Paul da Serra, convertidos em caudais (valores mínimos por trimestre). Os resultados agregados são apresentados em médias horárias de caudal afluente e introduzidos no Simulador.

1.5.5. Critérios da procura (cargas do ano alvo):

- Para cada ano de simulação é utilizado o diagrama de cargas ajustado pelos critérios da procura, do lado da emissão (produção) para a rede, conforme o seguinte quadro.

Tabela 4: Dados de emissão geral a 10 anos

Ano	Verificado				Estimativas*							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Emissão Geral	829,3	826,3	828,9	831,0	835,2	839,3	843,5	847,8	852,0	856,3	860,5	864,8
Emissão Geral**	829,3	826,3	828,9	831,3	835,7	840,0	844,5	844,7	845,0	841,2	837,6	830,0

*Estimativas realizadas no início de 2018 (RMSA -V2 (EEM/AREAM - âmbito CTA III)).

**Com medidas de impacto na emissão de energias, tais como Eficiência na Iluminação Pública, autoconsumo e veículos elétricos

1.5.6. Pressupostos de definição da potência térmica mínima:

Atualmente, a potência térmica mínima média anual, quando a eólica elevada, mesmo com alguma rejeição de energia disponível ronda os 43 MW (sem hídrica), pelos motivos já apontados nos “pressupostos Gerais;

- Com a CTA III e compensação síncrona dos Socorridos e Calheta II, deverá ser possível baixar, em termos médios, a potência mínima em cerca de 7 MW, resultando um mínimo 33 MW;
- Quando a potência hídrica do ano de referência for superior ou igual a 12 MW, assume-se que é possível baixar a potência térmica em cerca de 6 MW, o que poderá resultar uma potência mínima de 37 MW, ou 30 MW (combinando com o ponto anterior);
- Com um sistema de Baterias (BESS1), de 15 MW, a potência térmica mínima desce para cerca de 15 MW,
- Com um sistema de Baterias (BESS2), de 15 MW, a potência térmica mínima desce para cerca de 0 MW. Ou seja, quando as renováveis excedem a procura de energia de forma segura, podem ser desligadas as centrais térmicas.

Em todo o caso, a térmica mínima não pode baixar dos 30 MW (sem o sistema BESS), dado que este valor corresponde ao valor mínimo de uma seleção criteriosa de máquinas térmicas, que garante, simultaneamente a inércia mínima necessária, a reserva girante mínima e a reserva operacional térmica mínima, necessárias para a garantia dos níveis mínimos que qualidade de serviço.

Com os novos grupos hídricos a funcionar como compensadores síncronos, é possível fazer praticamente qualquer combinação dos grupos térmicos, mas não é possível baixar o valor de 30 MW, aumentando, assim, a flexibilidade do sistema térmico electroprodutor.

1.5.7. Algoritmo de encaixe de fontes de energia renovável

A produção das renováveis a cada 5 minutos, são encaixadas no sistema, segundo a seguinte abordagem:

- Renováveis despacháveis:

- Toda a potência eólica disponível (atual e futura);
- Futura (apenas) Solar PV definida como despachável.
- Renováveis não despacháveis:
 - Total solar atual (grandes parques e micro e mini geração (+/-18 MW 2014-2016));
 - Solar PV futura de pequena dimensão (unidades com potência até 100 kW);
 - Queima de Resíduos Sólidos da Meia Serra.

Assim, são encaixadas a cada 5 minutos, todas as energias renováveis disponíveis não despacháveis, salvo situações de segurança.

O saldo remanescente, por período de cada 5 minutos, entre a potência da carga, menos a potência disponível das renováveis não despacháveis, menos a potência da hídrica clássica e menos a potência de térmica mínima (consoante cada opção), mais a potência em baterias (reduz a térmica mínima), é classificada como capacidade de encaixe para as restantes renováveis despacháveis.

- É dada prioridade à hídrica clássica (toda a produção hídrica por cada intervalo menos a Calheta I (escalão do Paul da Serra), Calheta III e Calheta II), ou seja, não são objeto de qualquer re-despacho.

Se a energia renovável disponível for superior à capacidade de encaixe de renováveis, então entra em operação o **Algoritmo de gestão hídrica da Calheta III e II** e o **Algoritmo de Gestão da Bombagem no Sistema dos Socorridos**.

O **algoritmo de simulação para a hídrica da Calheta III e II**, para encaixe de novas renováveis, utiliza a seguinte abordagem:

- Maximizar o aproveitamento das fontes de energia renovável, recorrendo, numa primeira fase, ao armazenamento de caudais afluentes à Albufeira do Pico da Urze, sempre que esta tenha capacidade disponível e, numa segunda fase, recorrendo a bombagem, sempre que a albufeira tenha capacidade disponível, até à capacidade existente e afluente na câmara de restituição (origem da água a bombear).
- Os recursos energéticos disponíveis e não encaixáveis no sistema elétrico, esgotada capacidade do ponto anterior são contabilizados como energia rejeitada.
- A energia renovável rejeitada tem origem na componente eólica ou fotovoltaica, sendo repartida proporcionalmente à energia disponível de cada fonte primária, a cada 5 minutos.
- Quando a Albufeira do Pico da Urze estiver a 99,8% da sua capacidade é dada a prioridade à produção hídrica, não permitindo a bombagem.
- No esvaziamento da Albufeira do Pico da Urze, tem-se em conta, sempre que possível, a capacidade de a Central Hidroelétrica da Calheta II (central de inverno) poder returbinar essas águas, de modo a maximizar a produção hídrica.
- Quando a Albufeira do Pico da Urze estiver cheia e o caudal afluente exceder a capacidade da Central Hidroelétrica da Calheta II, a Central Hidroelétrica da Calheta III turbinar os caudais afluentes até à sua capacidade máxima, desde que a produção termoelétrica não seja inferior ao limite mínimo.
- O nível de enchimento de referência da Albufeira do Pico da Urze considera uma distribuição provável, que tende a ser mínimo no período fora de verão (para acomodar as aflúências de água em períodos de maior precipitação e a bombagem) e

tendencialmente crescente nos meses que antecedem o verão, como ilustrado na figura seguinte:

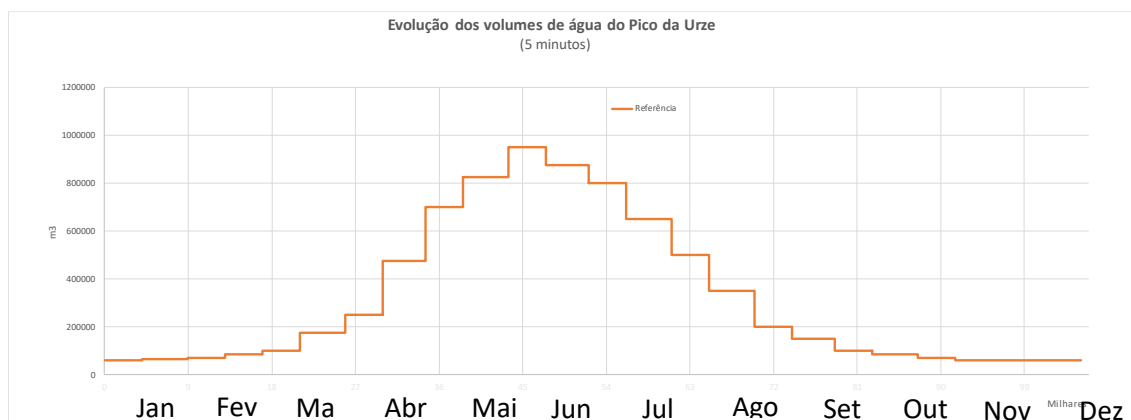


Figura 9: Volume planeado mínimo/previsto do armazenamento da barragem do Pico da Urze ao longo do ano: Calheta

- A bombagem é realizada de acordo com as necessidades (encaixe de energias renováveis), até ao limite da sua potência, respeitando o volume mínimo do Reservatório de Restituição da Calheta, mais afluências da CTA I. Este reservatório recebe, além das águas turbinadas na AAHC, as afluências locais da Levada da Rocha Vermelha, da Levada do Rabaçal e da ribeira local.
- O sistema de bombagem da Calheta é acionado quando a potência de energia renovável rejeitada ultrapassa 2,5 MW, durante 5 minutos consecutivos, que é a potência a partir da qual é aceitável ligar uma bomba.
- O tempo mínimo de operação de bombagem assumido foi de 20 minutos.
- Considera-se que o rendimento máximo do ciclo de bombagem/produção é de 74,46%, afetado por uma perda adicional de 5%, pelo funcionamento com velocidade variável, que será necessário para auxiliar as variações da produção de energia eólica, e pelas perdas nos transformadores e nas redes de transporte.
- Face à pequena dimensão da bombagem da estação elevatória do Paul da Serra, a mesma não foi considerada para efeitos de encaixe de renováveis.

A título indicativo, ilustra-se, nos gráficos seguintes, o nível da Albufeira do Pico da Urze e no Reservatório de Restituição da Calheta, com 25 MW de potência eólica adicional 15 MW de Solar PV não despachável, 45 MW de solar PV despachável e um sistema Baterias (BESS), para a simulação do ano de 2020.

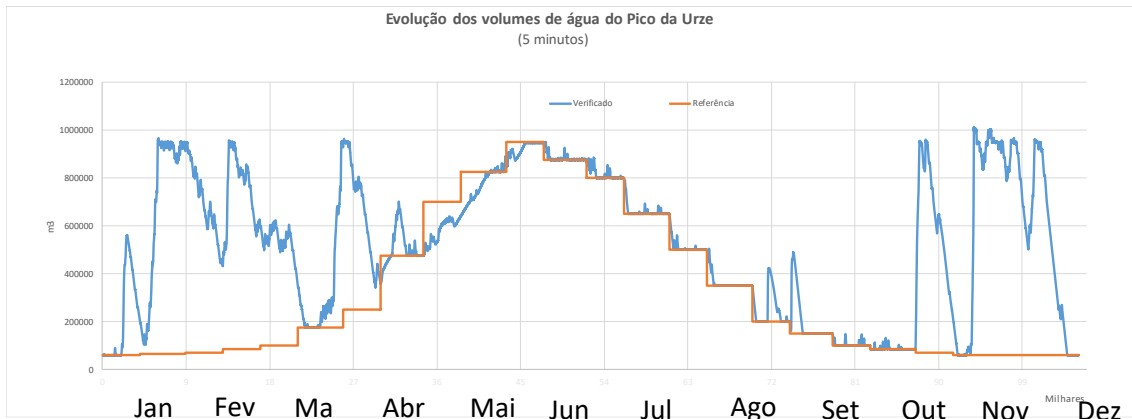


Figura 10: Níveis de referência e resultado de simulação de um ano: Calheta

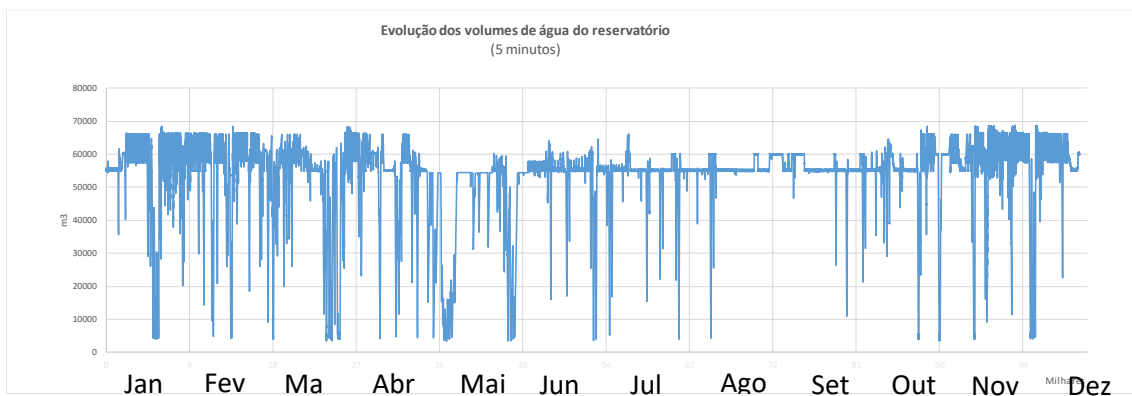


Figura 11: Resultado de simulação de um ano no Reservatório de Restituição: Calheta

1.5.8. Algoritmo de Gestão da Bombagem no Sistema dos Socorridos.

No que respeita à Central Hídrica Reversível dos Socorridos, em finais de 2017 entraram em exploração as comportas dos túneis da Ameixeira e do túnel de São Vicente, garantindo uma reserva adicional de água na ordem dos 40.000 m³, sendo, possível, para caudais intermédios, isto é quando a produção hídrica total não excede os 12,5 MW, realizar bombagem na central dos Socorridos durante o período noturno, o que anteriormente não era possível com estas afluências, com uma ou duas bombas, maximizando o encaixe de renováveis.

A bombagem dos Socorridos é realizada quando a capacidade de bombagem da Calheta III já se encontra esgotada e há, ainda, energia rejeitada, por cada intervalo de 5 minutos. Aqui os tempos mínimos de ligação e de permanência ligados são idênticos aos definidos para a Calheta III.

1.5.9. Limitações adicionais de encaixe de energia eólica

Com a atual potência eólica instalada, mesmo quando são garantidos os pressupostos anteriormente definidos, considera-se que não é possível encaixar cerca de 3,6 GWh de energia eólica (valores indicativos e discutidos com o Serviço de Despacho), pelas seguintes razões:

- O envio de set-points de 3 em 3 minutos poderá originar uma perda de produção, dado que as condições de encaixe podem ser mais favoráveis entre os set-points;

- Quando a intermitência é muito elevada, são enviados set-points mais restritivos para diminuir as flutuações de frequência sentidas no sistema electroprodutor;
- Os parques eólicos nem sempre atingem os set-points enviados, mesmo quando indicam que há disponibilidade do recurso, que se supõe deverem-se a limitações intrínsecas de cada tecnologia/aerogerador;
- Razões de segurança e estrangulamentos de rede;
- No caso do Porto Santo, poderá haver indisponibilidades associadas as plataformas flutuantes, mas que não foram consideradas por falta de dados.

Ainda assim, considera-se que este valor não deverá aumentar com os novos aerogeradores, dado que a evolução tecnológica eólica minimiza as limitações indicadas.

Com a instalação do sistema de baterias BESS, que se prevê ser na ordem dos 15 MW, este valor deverá ser na ordem dos 0,0 a 0,5 GWh (valores indicativos).

1.6. Resultados obtidos na simulação combinada

Dadas as limitações de dados, apenas foi simulado o ano de 2016, em termos de renováveis e da carga estimada para 2020, em 2018, de ambas as ilhas. Seguem assim os resultados obtidos:

Tabela 5: Resultados obtidos na simulação do ano 2016

Simulação síncrona ente as ilhas da Madeira e do Porto Santo de 5 em 5 minutos, baseados na produção/carga e disponibilidade de recursos de 2016

Tipo de turbina offshore	TWD 139 5,2 MW			TWD 198 10 MW			Unidades
V vento Offshore (altura)	80,0			110,0			m
V vento Offshore (2016 ajustado a média de 10 anos (TMY))	7,7			8,0			m/s
Número de turbinas Offshore	6			4			2 por plat.
Porto Santo Eólica adicional _Offshore	31,2			40,0			MW
Porto Santo Eólica adicional _Onshore	2,0			2,0			MW
Porto Santo Solar adicional	1,0			1,0			MW
Madeira Eólica adicional	25,0			25,0			MW
Madeira Solar adicional	60,0			60,0			MW
	Disponível	Rejeitada (EMS)*		Disponível	Rejeitada (EMS)*		
	GWh	GWh	%	GWh	GWh	%	
Eólica Disponível Global	272,1	22,3	8,2%	309,6	41,0	13,2%	
Madeira Paul da Serra	159,3	9,7	6,1%	159,3	11,0	6,9%	
Porto Santo Onshore	7,0	0,6	8,5%	7,0	0,5	7,1%	
<i>Perdas Interligação (Perdas e limites)</i>		5,4			22,1		
<i>Limite (até 30 MW)</i>		3,2			18,9		
<i>Perdas da interligação Porto Santo => Madeira</i>		2,2			3,2		
Porto Santo Offshore Bruta	105,8	6,6	6,2%	143,3	7,4	5,2%	
Porto Santo Offshore com Perdas Interligação (Perdas e limites)**	105,8	12,0	11,3%	143,3	29,5	20,6%	
Eólica Produzida	249,8	27,9%		268,6	30,0%		
Solar Disponível Global	132,4	3,1	2,3%	132,4	3,5	2,6%	
Madeira	127,5	3,0	2,3%	127,5	3,4	2,6%	
Porto Santo	4,9	0,1	2,4%	4,9	0,1	2,7%	
Solar encaixada (Global)	129,3	14,5%		128,9	14,4%		
Hídrica (beneficiada com a bombagem)	131,3	14,7%		131,8	14,7%		
<i>Bombagem (SCR e CTA III e Baterias e Comp. Síncrona)***</i>	17,5			19,4			
Resíduos	35,1	3,9%		35,1	3,9%		
Térmica necessária	349,1	39,0%		332,1	37,1%		
Carga total Ilhas da Madeira e Porto Santo (Estimada para 2020 em 2018)	877,1			877,1			
Total PRE	545,5	61,0%		564,4	63,1%		
Horas Equiv. Encaixada Offshore	3006			2845			

* Energy Management System
 ** Estão incluídas as perdas do cabo e de limitação por serem as mais representativas, face as produções Onshore
 *** Estima-se 1 GWh/ano por bateria na Madeira e 0,5 GWh/ano nas Baterias do Porto Santo e 1 GWh em CS (4 GWh/ano)

Simulação em ambiente Excel (5 em 5 minutos)
 No caso do Porto Santo, as condições de carga e renováveis, são as previstas na folha Px0
 Para a Madeira, utilizou-se as produções como fonte de dados síncronos para as novas instalações.
 Considera-se ainda a conclusão da CTA III e dois sistemas de baterias em ambas as ilhas
 Não foram consideradas cargas/descargas das baterias da Madeira e Porto Santo, para encaixe de renováveis. Apenas como garantia de reserva girante

Como já afirmado, a interligação foi limitada a 30 MW, porque foi considerado nos estudos anteriores como a solução técnica e económica mais vantajosa. Dada a carga da ilha ser na ordem dos 8 MW em ponta, esta capacidade só seria útil para a produção de energia renovável em larga escala na ilha do Porto Santo, que foi o objeto das simulações tidas neste estudo.

Como se pode verificar, a produção destas plataformas é muito mais bem aceite pela rede, uma vez que a ilha da Madeira tem capacidade de receção de uma potência desta ordem (30 MW) face a carga.

Assim verifica-se perdas nos parques do Porto Santo na ordem dos 11 a 20%, quando são consideradas as perdas do cabo e a limitação do mesmo. Estes valores descem para metade caso não fossem os tópicos dos pontos anteriores.



Daqui realça que as baterias têm um impacto significativo no encaixe de renováveis e que existem uma desconexão entre a produção eólica entre as ilhas. Muitas vezes verifica-se vento forte em ambas, mas também é habitual ora mais vento junta ao mar e calma no Paul da Serra e vice-versa.

Ainda assim, verifica-se produções efetivas na ordem das 3000 horas/ano o que é um valor baixo quando se compara parques offshore existentes no norte da Europa. Acresce que o cabo seria praticamente construído para um fim desta natureza e como tal deverá estar associado a este investimento, pelo que pode tornar o investimento não interessante a não ser que sejam atribuídos apoios.

Não obstante, verifica-se que o encaixe de renováveis poderia ascender aos 61 a 62% do total encaixado da RAM, com este sistema implementado.

Simulação síncrona ente as ilhas da Madeira e do Porto Santo de 5 em 5 minutos, baseados na produção/carga e disponibilidade de recursos de 2016

Tipo de turbina offshore	TWD 139 5,2 MW			TWD 198 10 MW			Unidades
V vento Offshore (altura)	80.0			110.0			m
V vento Offshore (2016 ajustado a média de 10 anos (TMY))	7.7			8.0			m/s
Número de turbinas Offshore	6			4			2 por plataforma
Porto Santo Eólica adicional _Offshore	31.2			40.0			MW
Porto Santo Eólica adicional _Onshore	2.0			2.0			MW
Porto Santo Solar adicional	1.0			1.0			MW
Madeira Eólica adicional	25.0			25.0			MW
Madeira Solar adicional	60.0			60.0			MW
	Disponível	Rejeitada (EMS)*		Disponível	Rejeitada (EMS)*		
	GWh	GWh	%	GWh	GWh	%	
Eólica Disponível Global	272.1	22.3	8.2%	309.6	41.0	13.2%	
Madeira Paul da Serra	159.3	9.7	6.1%	159.3	11.0	6.9%	
Porto Santo Onshore	7.0	0.6	8.5%	7.0	0.5	7.1%	
<i>Perdas Interligação (Perdas e limites)</i>		5.4			22.1		
<i>Limite (até 30 MW)</i>		3.2			18.9		
<i>Perdas da interligação Porto Santo => Madeira</i>		2.2			3.2		
Porto Santo Offshore	105.8	6.6	6.2%	143.3	7.4	5.2%	
Porto Santo Offshore com Perdas Interligação (Perdas e limites)**	105.8	12.0	11.3%	143.3	29.5	20.6%	
Eólica Produzida	249.8	27.9%		268.6	30.0%		
Solar Disponível Global	132.4	3.1	2.3%	132.4	3.5	2.6%	
Madeira	127.5	3.0	2.3%	127.5	3.4	2.6%	
Porto Santo	4.9	0.1	2.4%	4.9	0.1	2.7%	
Solar encaixada (Global)	129.3	14.5%		128.9	14.4%		
Hídrica (beneficiada com a bombagem)	131.3	14.7%		131.8	14.7%		
<i>Bombagem (SCR e CTA III e Baterias e Comp. Síncrona)***</i>	17.5			19.4			
Resíduos	35.1	3.9%		35.1	3.9%		
Térmica necessária	349.1	39.0%		332.1	37.1%		
Carga total Ilhas da Madeira e Porto Santo (Estimada para 2020 em 2018)	877.1			877.1			
Total PRE	545.5	61.0%		564.4	63.1%		
Horas Equív. Encaixada Offshore	3006			2845			

* Energy Management System

3.391025641

3.5825

** Estão incluídas as perdas do cabo e de limitação por serem as mais representativas, face as produções Onshore

*** Estima-se 1 GWh/ano por bateria na Madeira e 0,5 GWh/ano nas Baterias do Porto Santo e 1 GWh em CS (4 GWh/ano)

Simulação em ambiente Excel (5 em 5 minutos)

No caso do Porto Santo, as condições de carga e renováveis, são as previstas na folha Pxo

Para a Madeira, utilizou-se as produções como fonte de dados síncronos para as novas instalações. Considera-se ainda a conclusão da CTA III e dois sistemas de baterias

Não foram consideradas cargas/descargas das baterias da Madeira e Porto Santo, para encaixe de renováveis. Apenas como garantia de térmica zero

Resultados preliminares de simulação síncrona, do encaixe possível das plataformas offshore Porto Santo*

Plataforma	Com sistemas de armazenamento instalados na ilha				Unidades
	P IEC I	P IEC II	P IEC I	P IEC II	
	2 x 3,45 MW	2 x 3,45 MW	2 x 5 MW	2 x 5 MW	
Eólica adicional _Offshore	6.90	6.90	10.00	10.00	MW
Eólica adicional _Onshore	2.0	2.0	2.0	2.0	
Solar adicional	1.0	1.0	1.0	1.0	MW
PRE encaixada	76.5%	79.8%	83.1%	85.9%	%
Eólica rejeitada	31%	34%	50%	53%	%
Solar rejeitada	3.2%	3.7%	2.3%	2.1%	%
BESS atual e prevista					
Bateria Energia	15.0	15.0	15.0	15.0	MWh
Bateria Potência	10.0	10.0	10.0	10.0	MW
Térmica	7.7	6.6	5.5	4.6	GWh
Solar encaixada (Global)	4.8	4.8	4.8	4.8	GWh
Eólica encaixada (Global)	20.4	21.5	22.5	23.4	GWh
Horas Equiv. Encaixada**	2129	2246	1777	1846	Horas

Notas

* Considerando o ano de 2016, ao minuto, utilizando a produção local como referência (corrigida) + mais o sistema BESS instalado 2019 e assumindo térmica zero, quando a PRE é superior à carga. Simulação em ambiente Matlab

** Nesta fase, considera-se a eólica total, ou seja, a eólica já instalada mais a nova eólica.

Os dados de vento foram os do verificados na estação do Aeroporto, extrapolados para os 80 m (offshore)

ATIVIDADE 3.2

MODELAÇÃO DAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS LOCAIS

ARDITI

Maio 2021



Meteo-oceanographic characterization of Porto Santo

Report 1: Models and TMY calculation

Wundersight S.L.

Summary

In this report there is a detailed description of methodology used to develop the meteo-oceanographic characterization for north of Porto Santo Island. Model parametrizations and TMY climatology are discussed.

Technical Team

Rui Caldeira (rui.caldeira@oom.arditi.pt); Rui Vieira (rui.vieira@oom.arditi.pt); Ricardo Faria (ricardo.faria@oom.arditi.pt)

Table of Contents

Table of Contents	2
Introduction	3
Methodology	4
Typical Meteorological Year (TMY)	4
Numerical models	4
WRF.....	4
ROMS	5
SWAN	6
COAWST numerical Framework.....	6
Climatic data sources	7
Wind data	8
Wave data	9
Ocean circulation data	9
Results	9
Conclusions and future work	11
Bibliography	12
Annex I – Wind analysis	14
Annex II – Wave analysis	34
Annex III – Current analysis	39

Introduction

This report describes the methodology for the meteo-oceanographic numerical characterization requested for the OIPS project contract, which aims at developing an offshore wind farm platform in combination with aquaculture production. The main purpose of this study is to accomplish a (climatological) meteorological and oceanographic characterization for the oceanic region north of Porto Santo island.

The requested variables to be calculated are:

1. Atmosphere:

1.1. Wind (10m and 80m)

- 1.1.1. Typical conditions (based on 10 years of measured data);
- 1.1.2. Extreme conditions at 40 years;
- 1.1.3. Wind profile;
- 1.1.4. Wind gusts;
- 1.1.5. Wind spectrum and its parameters.

1.2. Auxiliary variables

- 1.2.1. Humidity;
- 1.2.2. Solar radiation;
- 1.2.3. Rain;
- 1.2.4. Air temperature;
- 1.2.5. Turbulence (80m);
- 1.2.6. Air density (80m).

2. Oceanographic:

2.1. Waves

- 2.1.1. Typical conditions (based on 10 years of measured data);
- 2.1.2. Extreme conditions;
- 2.1.3. Wave spectrum and its parameters.

2.2. Current (-60m and -100m)

- 2.2.1. Typical conditions (based on 10 years of measured data);
- 2.2.2. Extreme conditions at 40 years;
- 2.2.3. Depth profile.

2.3. Sea level

- 2.3.1. Tide;
- 2.3.2. Extreme sea level;
- 2.3.3. Water density.

The above variables are typically calculated using numerical weather prediction models (NWP). Considering the need to simulate both the atmosphere and the ocean a coupled numerical framework (COAWST) was used. The long-term, climatological conditions were achieved through the consideration of a typical meteorological year (TMY).

Methodology

The methodology used in this study consists of a long-term data analysis for the atmosphere and for the ocean, in order to constitute a TMY – Typical Meteorological Year. Measured data undergoes a quality check procedure to remove bad data points from the observational time-series before proceeding to the TMY analysis. After the TMY analysis is completed, we are able to represent one year considering different ‘typical months’ taking into account 10 years of observational data. Best reanalysis products are downloaded to force the regional models boundary conditions for such ‘typical months’. Best static data, such as topography and land-use are also considered.

Typical Meteorological Year (TMY)

To predict the potential of any energetic system, it depends on a local well-established and extensive climatic data base. This analysis must be done with the support of at least 10 years of quality measured data, when this type of data is not available reanalysis data can be used but with several limitations when compared to in-situ / observational data. Long-term analysis can be performed through really long simulation periods, but the computational cost and time for completing all the calculations increases. Nevertheless, interannual climatic variability is important for this study in order to represent mid and long-term signature, that can be represented by one TMY. A TMY is composed by the 12 more representative months from different years over a certain (long-term) period of observational data. Each month of the calendar year is calculated as the smallest weighted sum of the Finkelstein Schafer (FS) considering 10 years of observational data. Data from all meteorological masts are concatenated into one single dataset, this approach allows the consideration of the local and surrounding climatic features over a larger (or small) regions. See ([Finkelstein and Schafer 1971](#)), for more details.

Numerical models

The numerical models used at the regional scales, were the Coastal Ocean Atmosphere Wave Sediment Transport modeling system (COAWST), which is a numerical framework composed by the Weather Research and Forecast (WRF), the Regional Ocean Modeling System (ROMS) and the Simulating Waves Nearshore (SWAN), working in synchrony and in a coupled manner.

WRF

The weather prediction model (WRF V3.5.1), it is used by innumerous institutions around the world because of its versatility and ability to perform multiple real and ideal case studies. It consists in several modules specially created to assimilate observation data and

simulate real atmospheric conditions. It is based on solving several equations that describe the dynamics and thermodynamics of atmospheric and oceanic processes ([Skamarock et al. 2005](#)) ([Lo et al. 2008](#)).

The atmospheric forcing data was extracted from NCEP - FNL project, considering the Global Data Assimilation System (GDAS), it merges global observational data from Global Telecommunications System (GTS) program and other observational sources, such as traditional meteorological masts, buoys, satellites and other datasets ([Branch 2003](#)). FNL data are conceived with the same model that National Center for Environment Prediction (NCEP) produces Global Forecast System (GFS), nevertheless it has a time-delay so that more observational data can be assimilated. Data is available from 1999-07-30 to 2007-12-06 in GRIB1 format, and from 2007-12-06 to present date with a 1-day delay with GRIB2 format. FNL data describes the atmosphere with 52 vertical levels and a horizontal mesh resolution of 1°.

The Consortium for Spatial Information (CGIAR-CIS) program constructed the SRTM30 V2.0 digital elevation model that is used as topographic data into the atmospheric model. SRTM30 consists of a Digital Elevation Model (DEM) with detailed information about terrain elevation with an horizontal resolution of 1 arc-second (approximately 30 meters), measured by radar interferometry with an 80% global coverage ([Farr and Kobrick 2000](#)).

Land-use data was obtained from Corine Land Cover 2006 (CLC-06) from USGS, National Center for Earth Resources Observation and Science - EROS, Joint Research Center of the European Commission. This data was constructed using SPOT-4/5 and IRS P6 LISS III, during 2006 +/- 1 year with an accuracy greater than 85%. This data categorizes terrain characteristics with a horizontal resolution of 100 meters and it was conceived specifically for research and modeling purposes. Acquired from global observations of Advanced Very High Resolution Radiometer between April of 1992 and March of 1993 by NOAA satellite series ([Sellers et al. 1996](#), [Skamarock, 2005](#) e [em Gemmill, 2007](#)).

Sea Surface temperature (SST) is obtained from Daily Real-Time Global Sea Surface Temperature Analysis (RTG-SST), available by National Centers for Environment Prediction (NCEP), National Weather Service (NWS/NOAA). This dataset merges in situ data Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) SST, in a grid with 0.0833° (approx. 9 kilometers) horizontal resolution. This SST product was used as an initial condition, considering the lack of higher resolution data in FNL ([Sellers et al. 1996](#)).

WRF parametrizations and grid configurations follows those proposed for Madeira Archipelago by ([Tome et al. 2006](#)).

ROMS

The Regional Ocean Modeling System (ROMS), was developed by the ocean modeling groups at Rutgers University and UCLA (University of California, Los Angeles), it is an ocean model widely used in the scientific community that spans several branches of application. It is a three-dimensional model of primitive equations, in sigma-coordinates, free surface and with hydrostatic and Boussinesq approximations. The model includes an online nesting system, which is why it can be applied to regional or local systems. The model was successfully applied to the Madeira archipelago by ([Caldeira et al. 2016](#)). A

more detailed description of the algorithms can be found in (Shchepetkin and McWilliams 2005 e em Shchepetkin, 2009).

SWAN

Simulating WAVes Nearshore (SWAN) is a spectral wave model, developed specifically for shallow waters, based on the conservation equation of the wave behavior (Booij et al. 1999). It was developed at ‘Delft University of Technology’ and partially supported by ‘Office of Naval Research’. It was applied to the Madeira archipelago by (Rusu et al. 2008). SWAN simulates the generation and propagation of waves resulting from the wind in coastal waters, including refraction and diffraction processes; interaction between waves; as well as energy dissipation due to wave breaking and bottom friction (Warner et al. 2010). Forcing also takes into account ocean currents variations and the average sea surface level.

COAWST numerical Framework

The ‘Coupled-Ocean-Atmosphere-Wave-Sediment Transport Modeling System’ illustrated in Figure 1 couples the atmospheric model WRF, with the ocean model ROMS, SWAN wave model and a sediment transport module. The models exchange variables among themselves, each time-step, using the ‘Modeling Coupling Toolkit MCT’.

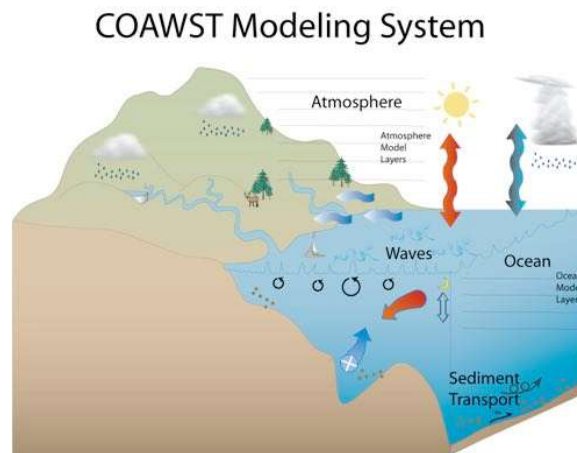


Figura 1 – COAWST modeling system that couples an atmospheric model, an ocean model, a waves model and a sediment transport model for coastal studies.

Spherical Coordinate Remapping and Interpolation Package (SCRIP) is a set of packages that allows re-mapping and interpolation of the variables between the meshes of different models, considering different spatial resolutions and coordinates.

The Model Coupling Toolkit (MCT) it is a set of open-source tools developed for the coupling between models (Larson et al. 2005). It is supported by the ‘Climate and Environmental Sciences Division of the Office of Biological & Environmental Research’, ‘Office of Science’ and ‘U. S. Department of Energy’. It is widely accepted that models that use MCT data can be coupled with minimum effort. It is supported by the ‘Climate and Environmental Sciences Division of the Office of Biological & Environmental

Research’, ‘Office of Science’ and ‘U. S. Department of Energy’. It is known that models that use MCT data can be coupled with minimum effort.

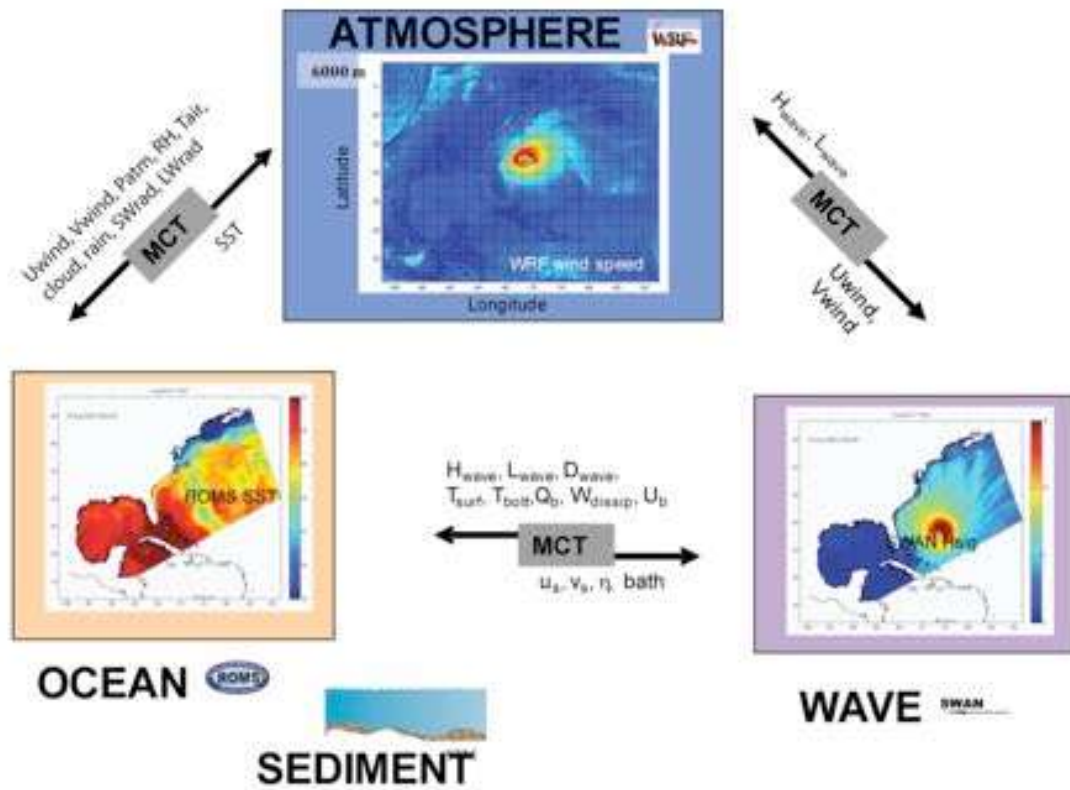


Figura 2 – MCT variables exchange between the used numerical models by COAWST.

The variables with which the COAWST coupled system exchanges information between models are shown in Figure 2

Climatic data sources

Initially a 30 years climatology data was considered for wind and waves using reanalysis from ERA-Interim, provided by (ECMWF 2017). Nevertheless, ERA-Interim spatial and temporal resolution of 0.75° and 6 hours are not representative of the local island processes, namely small and short-term events and variations.

Apart from ECMWF products there are no (easily accessible) re-analysis databases or measurements that encompasses the 30-year period for the local oceanographic conditions. The closest is the product 'GlobCurrent' (Chapron) which follows the same principles as OSCAR (Johnson, Bonjean et al. 2007). Founded by ESA Data User Element (ESA 2015), OSCAR uses advanced processing tools and models that incorporate satellite and in-situ data to calculate global ocean circulation patterns. It has a coverage period from 1993 to 2016 with a spatial resolution of $1 / 4^\circ$, producing daily outputs.

In order to obtain a TMY that characterizes the distribution and variability associated with the islands, hourly data of wind, waves and currents from the meteorological stations

were used. The data was extracted from a database from “*Instituto Português do Mar e da Atmosfera*” (IPMA), from 'ERA-Interim' and 'GlobCurrent' reanalysis. Approximately 10 years of data were used to select the 12 typical months that make up the TMY. Measurements from IPMA were favored in the TMY calculation to the detriment of reanalysis data, since it better represented the local features. Madeira has a good spatial coverage of weather stations with adequate temporal resolution. In order to maintain the coherence waves and currents from reanalysis match Wind IPMA data sources. After the Filkenstein Schafer (FS) analysis of the data, it was concluded that the most appropriate data source to be used for the characterization of the typical winds is the IPMA; for the characterization of the typical waves, the ERA-Interim was used; and for the mapping of the typical currents the 'GlobCurrent' product was considered.

Wind data

The wind data recorded by IPMA meteorological stations over the last 10 years is represented in Figure 3. The data coverage rate can be found in Annex-I. Also, in this annex tables related to the quality of coverage of the data measured in greater detail, time series graphs and histograms with the Weibull distribution ([Harris and Cook 2014](#)) ([Freeman et al. 2014](#)) and the TMY analysis for the intensity of the wind are also shown. A wind rose represents the wind direction variability for each weather station.



Figura 3 – Used IPMA meteorological stations with at least 10 years of recorded data and its spatial distribution.

Available data for wind speed and direction:

- Reanalysis (ERA-Interim): 30 years (1987 – 2016), 6 hours timestep;
- In-situ data (IPMA): 10 anos (2007 – 2016), 10 minutes timestep.

Wave data

The wave climatology characterization considered the ERA-Interim reanalysis with 100% coverage for the studied period. Appendix-II shows the time series, the histograms for the significant wave height and the TMY analysis.

Available data for wave:

- Reanalysis (ERA-Interim): 30 anos, 6 hours timestep;
- In-situ data (Funchal buoy): 7 years (2007 – 2013 e 2015 - 2016), 3 hours timestep.

Ocean circulation data

Ocean circulation climatology was derived from the 'GlobCurrent' reanalysis considering a 100% coverage for the studied period. Appendix-III includes the time series obtained, the detailed histogram and the TMY analysis.

Available data for current:

- Reanalysis (OSCAR): 23 years (1993 – 2016), 5-days timestep;
- Reanalysis ('Globcurrent'): 22 years (1993 – 2015), 1-day timestep;

Results

The results from the TMY study selected the 'typical' representative (climatological), as shown in Table. The error (BIAS) and the mean value of the absolute error (MAE) over for the wind is also shown.

Table 1 - TMY selected years, calculated long-term MAE, extreme years for each month and its BIAS for wind intensity and direction variables.

Months	TMY wind	Wind int. longterm MAE [%]	Wind dir. longterm MAE [%]	Extreme Wind int. years	Extreme Wind int. years BIAS to longterm [m/s]
Jan	2007	4.0	35.2	2010	0.8
Feb	2014	3.4	41.0	2010	1.1
Mar	2015	4.1	38.0	2013	1.4
Apr	2011	4.1	20.4	2008	0.8
May	2013	3.6	30.2	2016	0.5
Jun	2016	3.1	23.3	2014	0.3
Jul	2015	3.1	21.0	2011	0.5
Aug	2014	3.9	15.8	2016	0.5
Sep	2012	3.7	19.8	2013	0.4

Out	2007	5.6	40.0	2008	0.6
Nov	2007	5.2	23.7	2012	0.8
Dec	2008	6.1	33.4	2009	1.2

TMY results for waves and currents are shown in Tables 2 and 3, respectively. This information will be used in the future to simulate the climatological waves and currents conditions using COAWST.

Table 2 - TMY selected years, calculated MAE, extreme years for each month and its BIAS for the wave variable.

Months	TMY	longterm MAPE [%]	Extreme years	Extreme years BIAS to longterm [m]
Jan	2016	2.3	2014	0.61
Feb	2007	4.1	2014	0.59
Mar	2008	3.5	2013	0.57
Apr	2011	3.1	2008	0.46
May	2013	4.9	2011	0.26
Jun	2007	3.4	2013	0.19
Jul	2008	3.7	2011	0.31
Aug	2009	2.3	2007	0.21
Sep	2010	3.1	2012	0.14
Out	2014	4.2	2015	0.38
Nov	2008	3.4	2014	0.66
Dec	2008	2.6	2009	0.79

Table 3 – TMY selected years, calculated MAE, extreme years for each month and its BIAS for the ocean circulation variable.

Months	TMY	Longterm MAPE [%]	Extreme years	Extreme years BIAS to longterm [m/s]
Jan	2012	11.4	2007	0.04
Feb	2009	14.3	2011	0.07
Mar	2013	9.2	2014	0.09
Apr	2015	13.8	2009	0.08
May	2010	10.9	2009	0.04
Jun	2010	10.9	2012	0.09
Jul	2013	12.3	2012	0.18
Aug	2011	10.2	2013	0.09
Sep	2008	7.1	2007	0.13
Out	2015	7.9	2008	0.07
Nov	2009	11.0	2008	0.05
Dec	2011	12.4	2009	0.07

Conclusions and future work

The TMY methodology and calculation of extreme years periods (Table 4) was crucial to determine the boundary conditions to be use for the regional / local numerical simulations. In the next stages simulations data for Porto Santo island will be provided.

Table 4 – TMY and extreme years for wind, wave and current to simulate in the numerical models standalone WRF and COAWST.

Months	TMY wind	TMY wave	TMY ocean current	Extreme wind	Extreme wave	Extreme ocean current
Jan	2007	2016	2012	2010	2014	2007
Feb	2014	2007	2009	2010	2014	2011
Mar	2015	2008	2013	2013	2013	2014
Apr	2011	2011	2015	2008	2008	2009
May	2013	2013	2010	2016	2011	2009
Jun	2016	2007	2010	2014	2013	2012
Jul	2015	2008	2013	2011	2011	2012
Aug	2014	2009	2011	2016	2007	2013
Sep	2012	2010	2008	2013	2012	2007
Out	2007	2014	2015	2008	2015	2008
Nov	2007	2008	2009	2012	2014	2008
Dec	2008	2008	2011	2009	2009	2009
Numerical Model	WRF	COAWST		WRF	COAWST	

Bibliography

Booij, N., et al. (1999). "A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation." Journal of geophysical research: Oceans **104**(C4): 7649-7666.

Branch, W. M. (2003). "The GFS Atmospheric Model—NCEP Office Note 442." Global Climate and Weather Modeling Branch: Camp Springs, MD, USA.

Caldeira, R., et al. (2016). "Challenges of building an operational ocean forecasting system for small island regions: regional to local." Journal of Operational Oceanography **9**(1): 1-12.

Chapron, B. the GlobCurrent Team, January 2015, GlobCurrent Analyses and Interpretation Framework, Technical Report available at <http://www.globcurrent.org>.

Dee, D. P., et al. (2011). "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system." Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society **137**(656): 553-597.

ECMWF (2017). "ECMWF Publications." 2017, from <http://www.ecmwf.int/en/research/publications.html>.

ESA (2015). GlobCurrent Product Data Handbook: The Combined Geostrophy+Ekman Currents version 2.0. ftp://ftp.ifremer.fr/ifremer/cersat/projects/globcurrent/documents/handbooks/GlobCurrent_D-280_Product_Handbook_L4_combined_v2-signed.pdf, ESA – European Space Agency.

Farr, T. G. and M. Kobrick (2000). "Shuttle radar topography mission produces a wealth of data." Eos, Transactions American Geophysical Union **81**(48): 583-585.

Finkelstein, J. M. and R. E. Schafer (1971). "Improved goodness-of-fit tests." Biometrika **58**(3): 641-645.

Freeman, J., et al. (2014). Reference Manual for the System Advisor Model's Wind Power Performance Model, National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO.

Harris, R. I. and N. J. Cook (2014). "The parent wind speed distribution: Why Weibull?" Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics **131**: 72-87.

Johnson, E. S., et al. (2007). "Validation and error analysis of OSCAR sea surface currents." Journal of Atmospheric and Oceanic Technology **24**(4): 688-701.

Larson, J., et al. (2005). "The model coupling toolkit: a new Fortran90 toolkit for building multiphysics parallel coupled models." The International Journal of High Performance Computing Applications **19**(3): 277-292.

Lo, J. C. F., et al. (2008). "Assessment of three dynamical climate downscaling methods using the Weather Research and Forecasting (WRF) model." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **113**(D9).

Rusu, E., et al. (2008). "Evaluation of the wave conditions in Madeira Archipelago with spectral models." Ocean Engineering **35**(13): 1357-1371.

Sellers, P. J., et al. (1996). "A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMS. Part I: Model Formulation." Journal of Climate **9**(4): 676-705.

Shchepetkin, A. F. and J. C. McWilliams (2005). "The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model." Ocean Modelling **9**(4): 347-404.

Skamarock, W. C., et al. (2005). A description of the advanced research WRF version 2, National Center For Atmospheric Research Boulder Co Mesoscale and Microscale Meteorology Div.

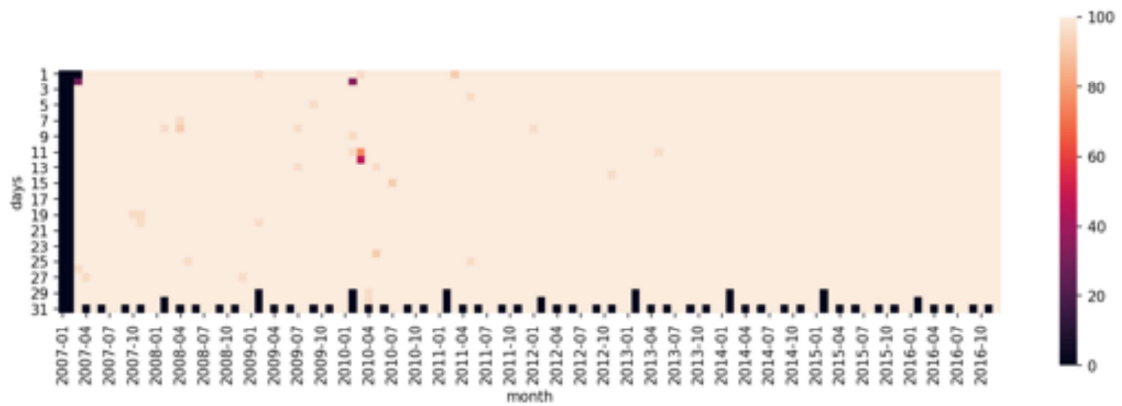
Tome, R., et al. (2006). Evaluating Simulations of Orographic Precipitation in the Island of Madeira. AGU Fall Meeting Abstracts.

Warner, J. C., et al. (2010). "Development of a coupled ocean–atmosphere–wave–sediment transport (COAWST) modeling system." Ocean Modelling **35**(3): 230-244.

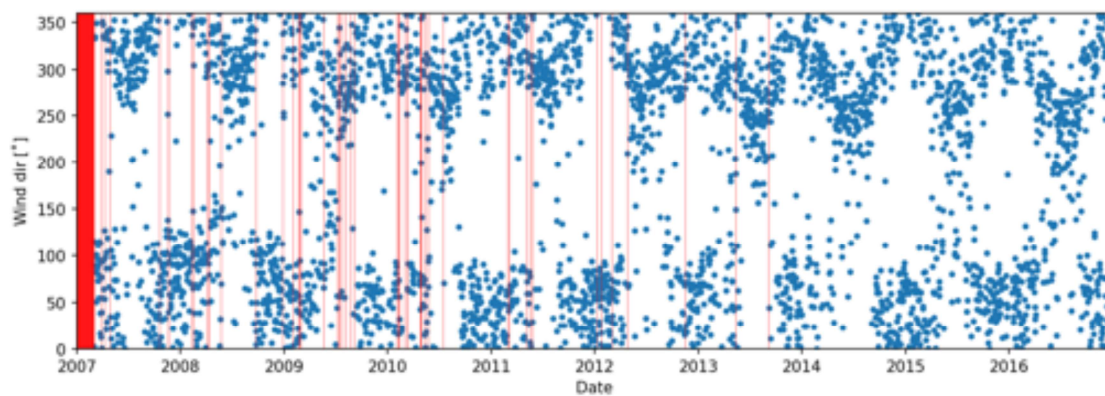
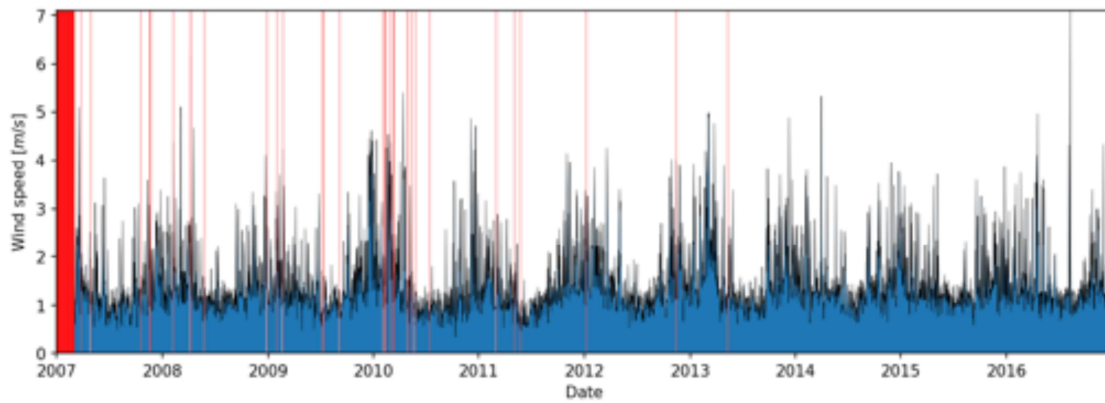
Annex I – Wind analysis

IPMA meteo station 1200522 (Funchal / Observatório) for the period between 2007 and 2016

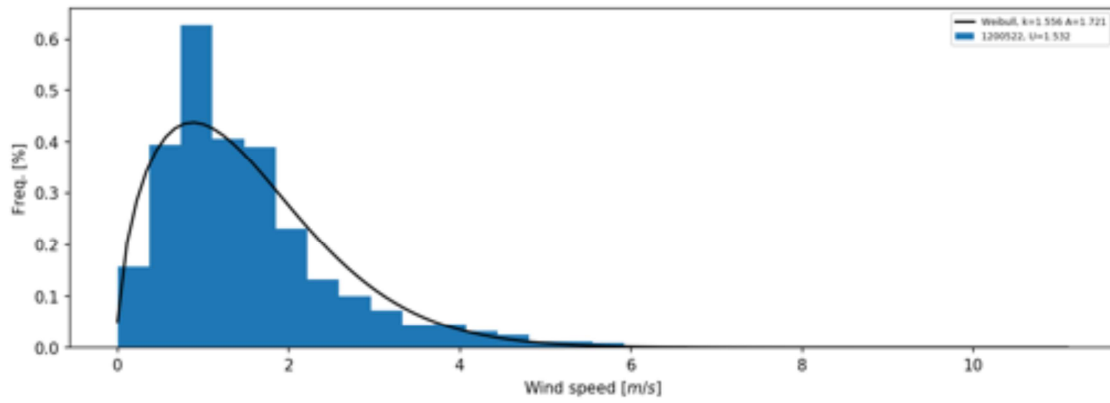
1. Data coverage [%]



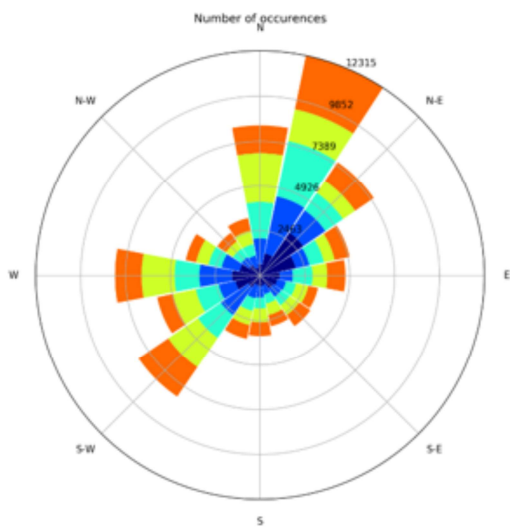
2. Time series



3. Histogram and weibull

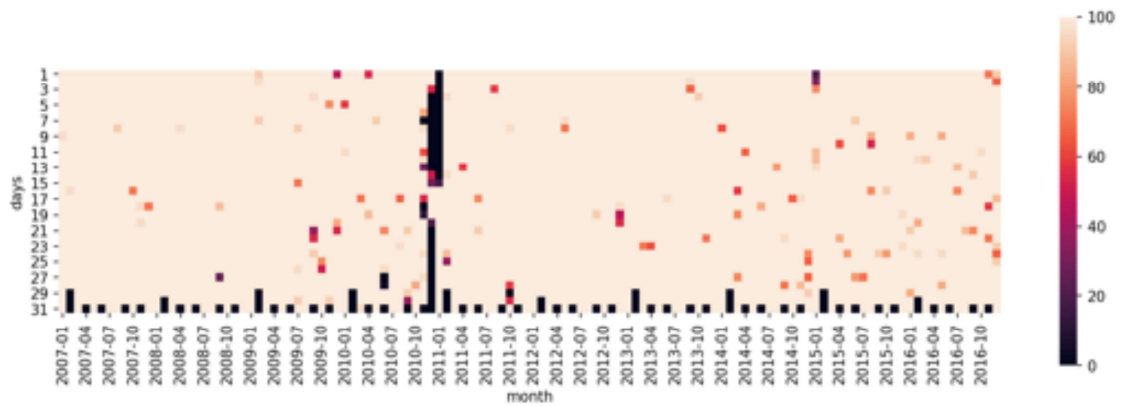


4. Frequency and wind direction

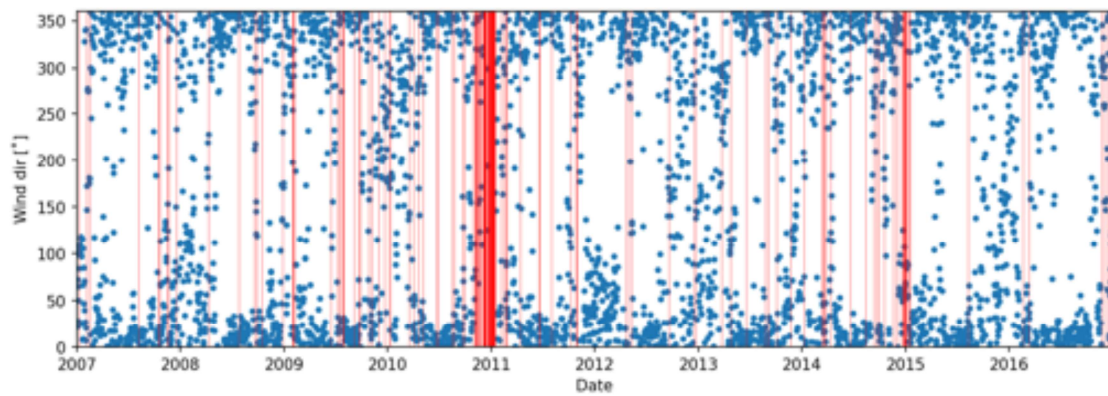
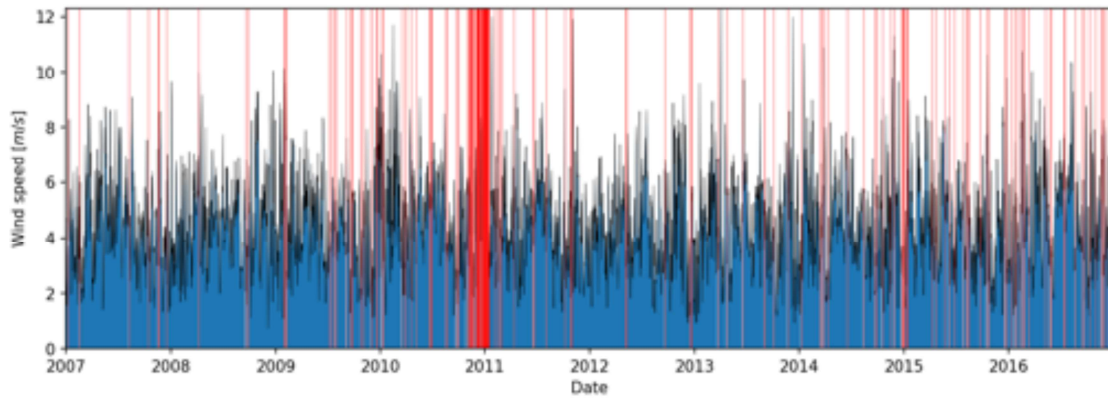


IPMA meteo station 1200524 (Porto Santo / Aeroporto) for period between 2007 and 2016

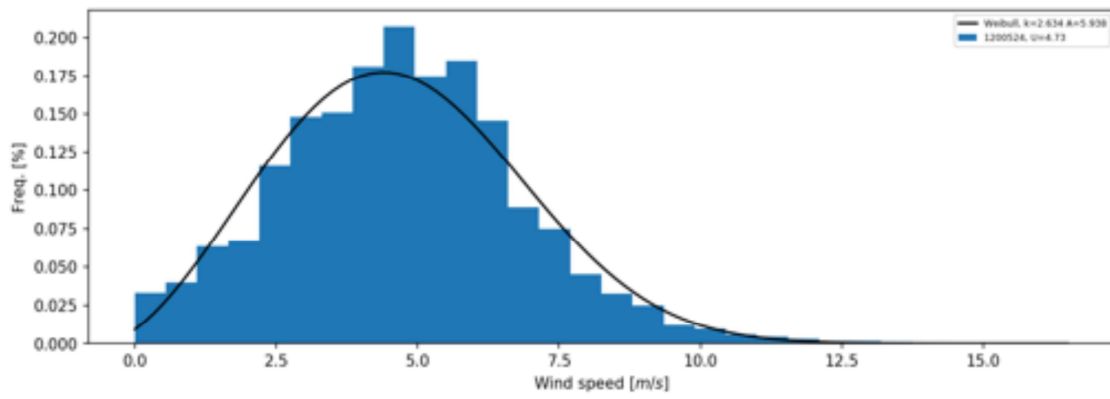
1. Data coverage [%]



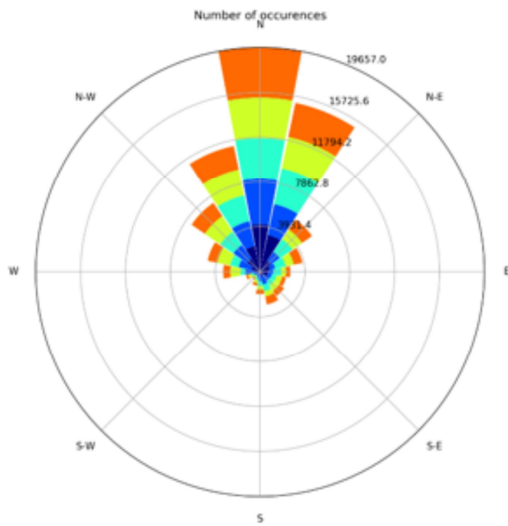
2. Time series



3. Histogram and weibull

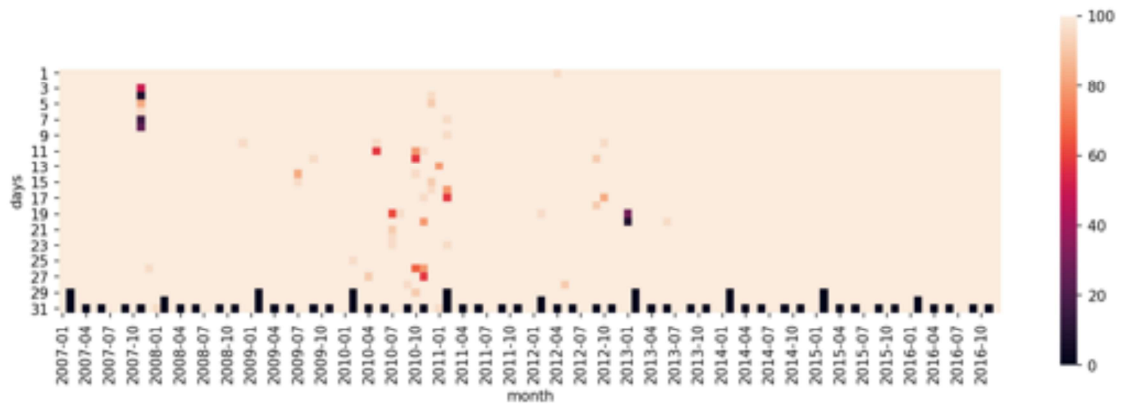


4. Frequency and wind direction

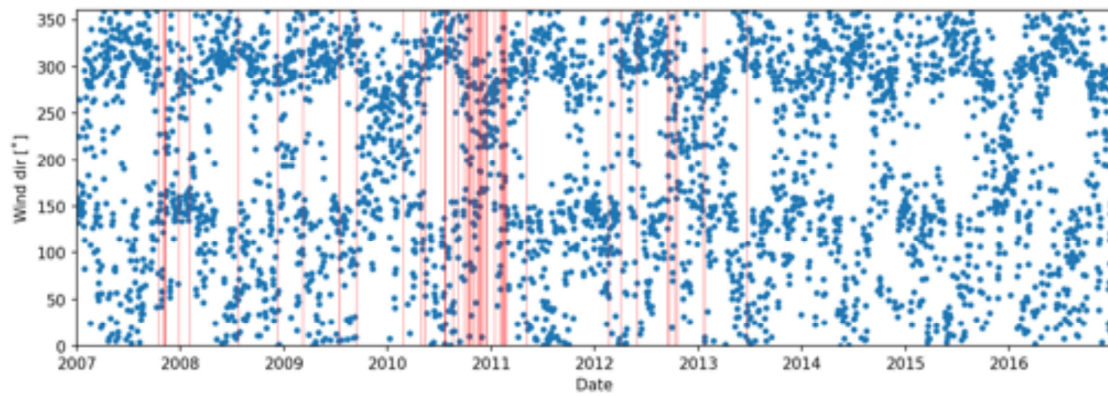
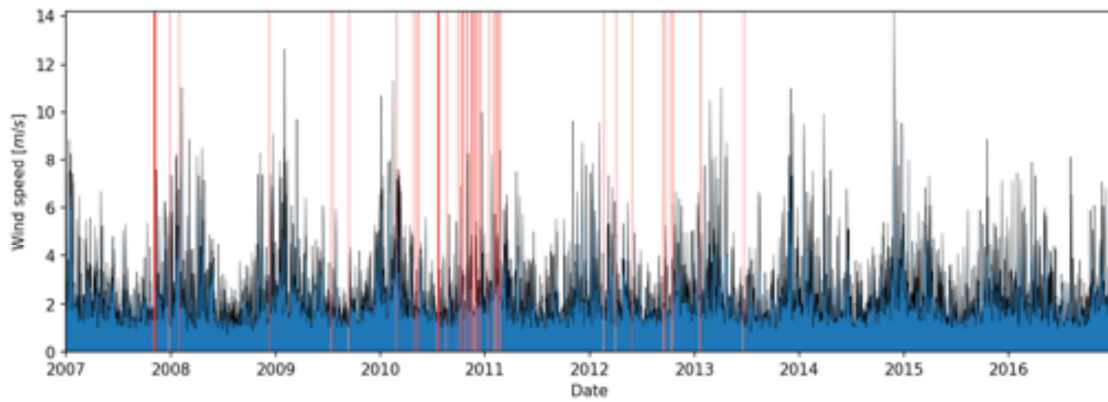


IPMA meteo station 1200960 (Ponta de S. Jorge) for period between 2007 and 2016

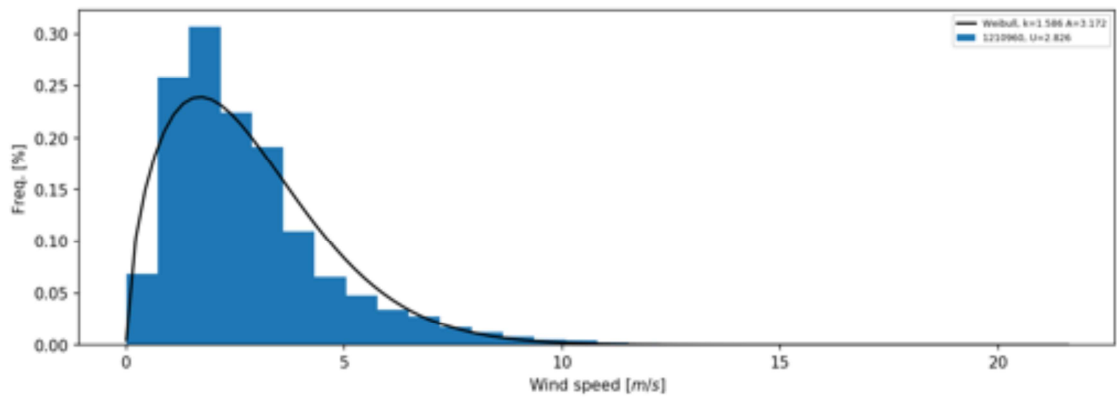
1. Data coverage [%]



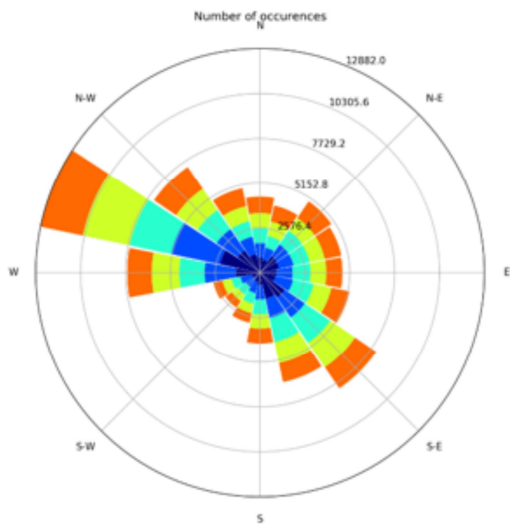
2. Time series



3. Histogram and weibull



4. Frequency and wind direction

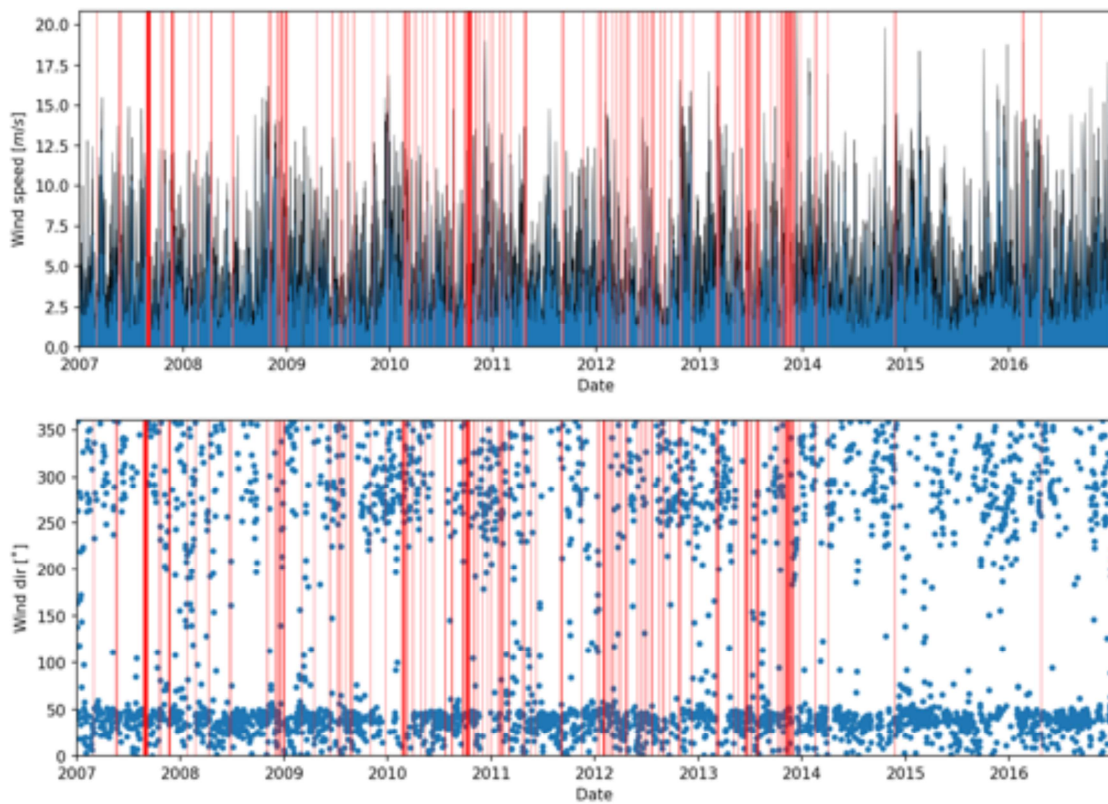


IPMA meteo station 1200973 (Chão do Areiro) for period between 2007 and 2016

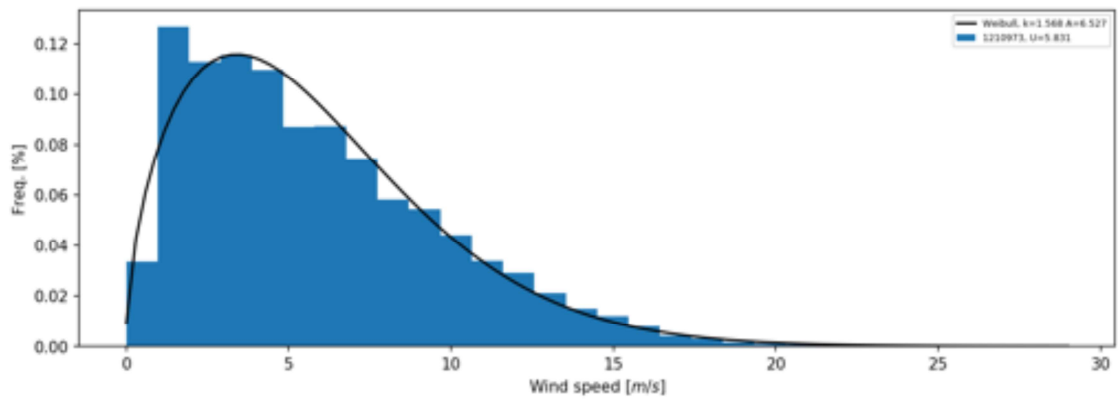
1. Data coverage [%]



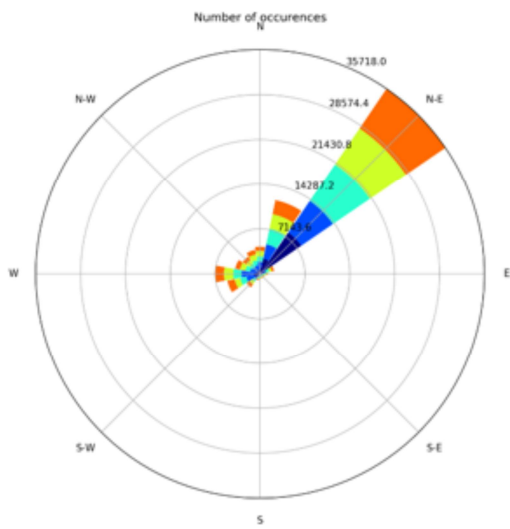
2. Time series



3. Histogram and weibull

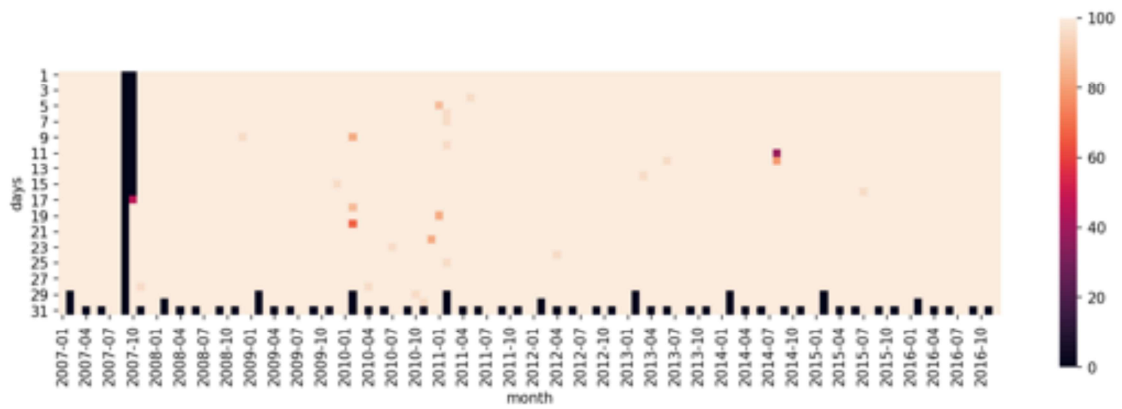


4. Frequency and wind direction

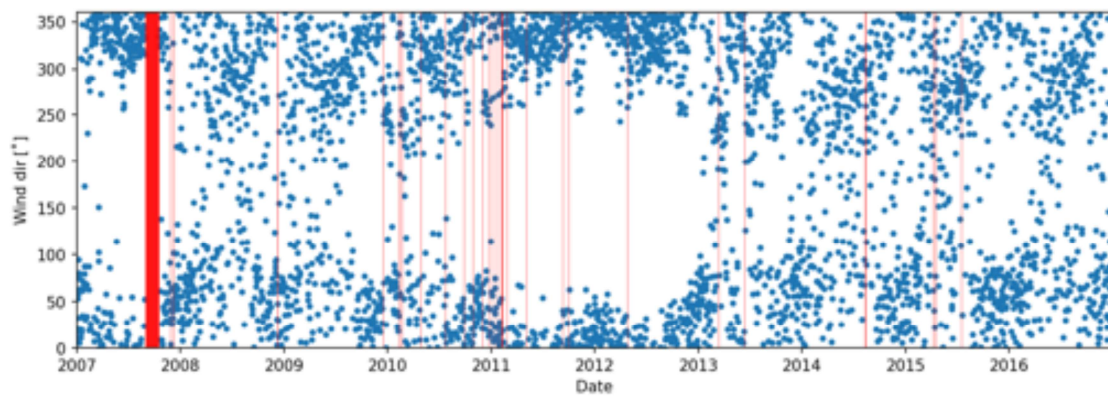
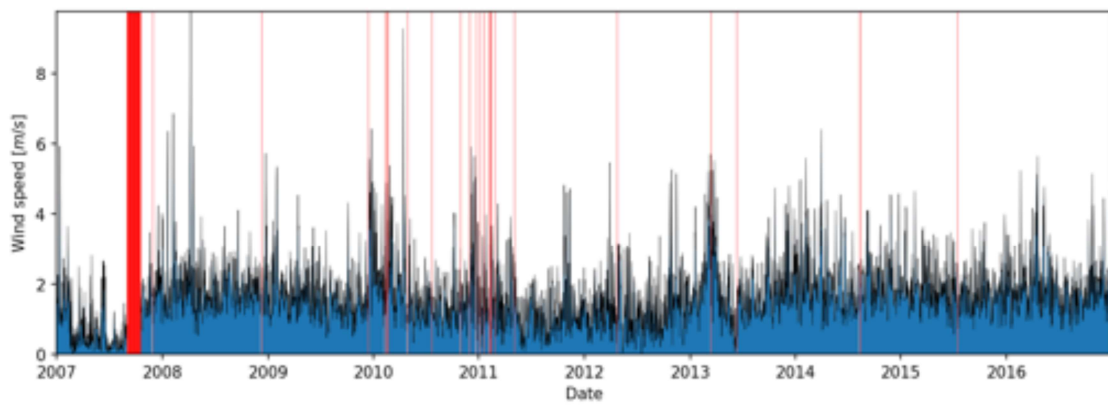


IPMA meteo station 1200986 (Lugar de Baixo) for period between 2007 and 2016

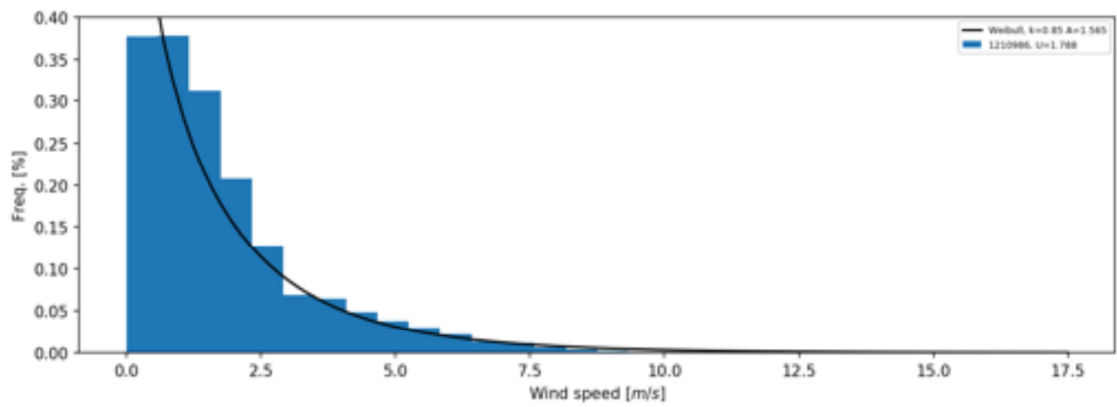
1. Data coverage [%]



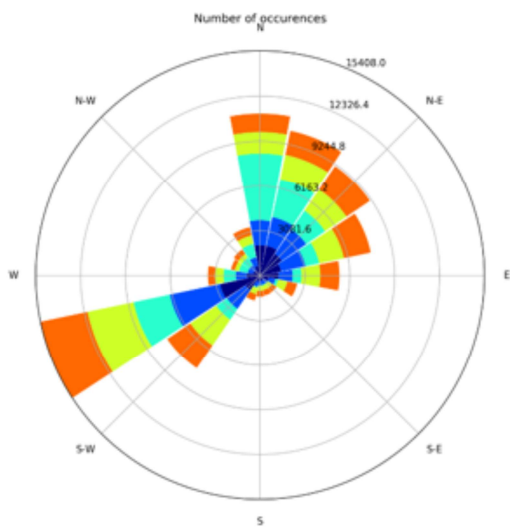
2. Time series



3. Histogram and weibull



4. Frequency and wind direction

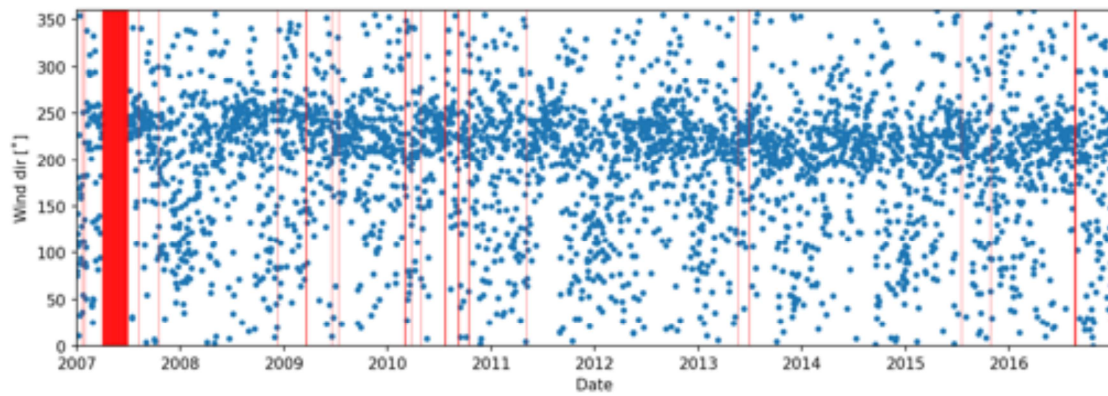
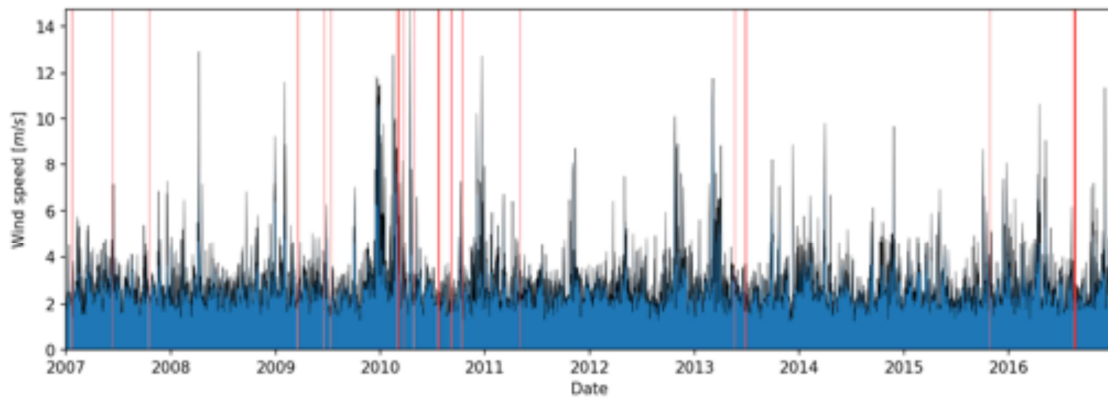


IPMA meteo station 1200990 (Ponta do Pargo) for period between 2007 and 2016

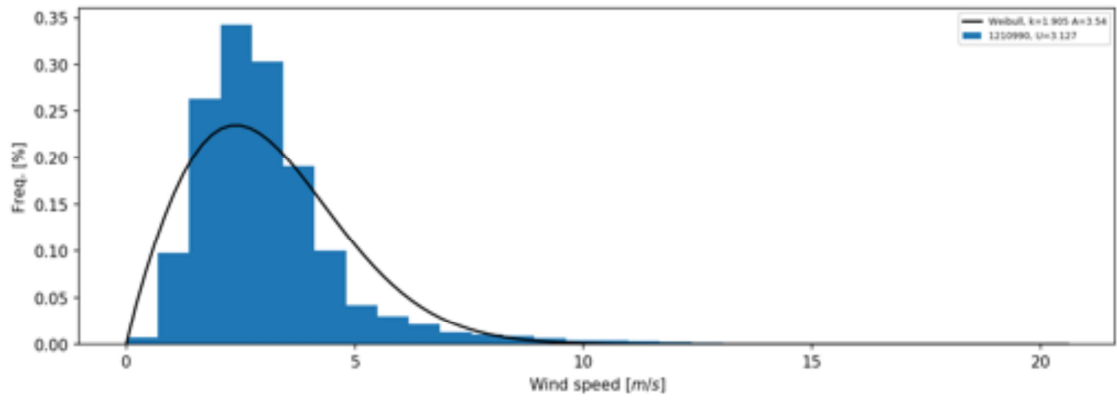
1. Data coverage [%]



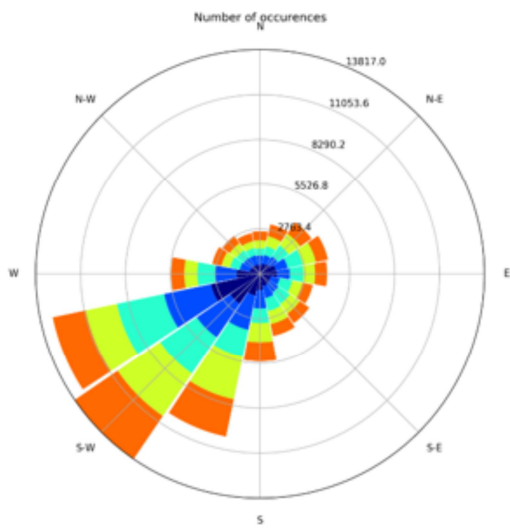
2. Time series



3. Histogram and weibull

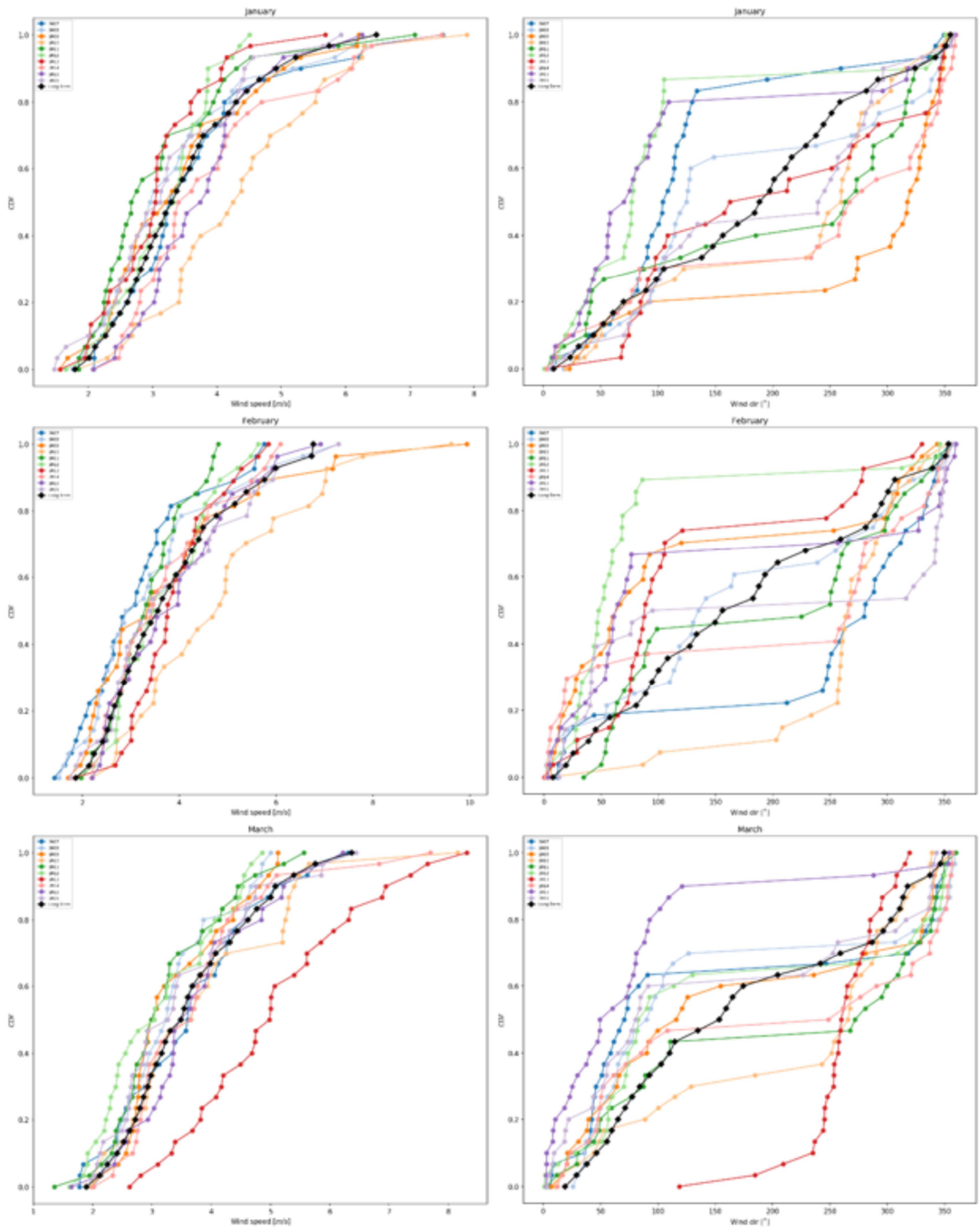


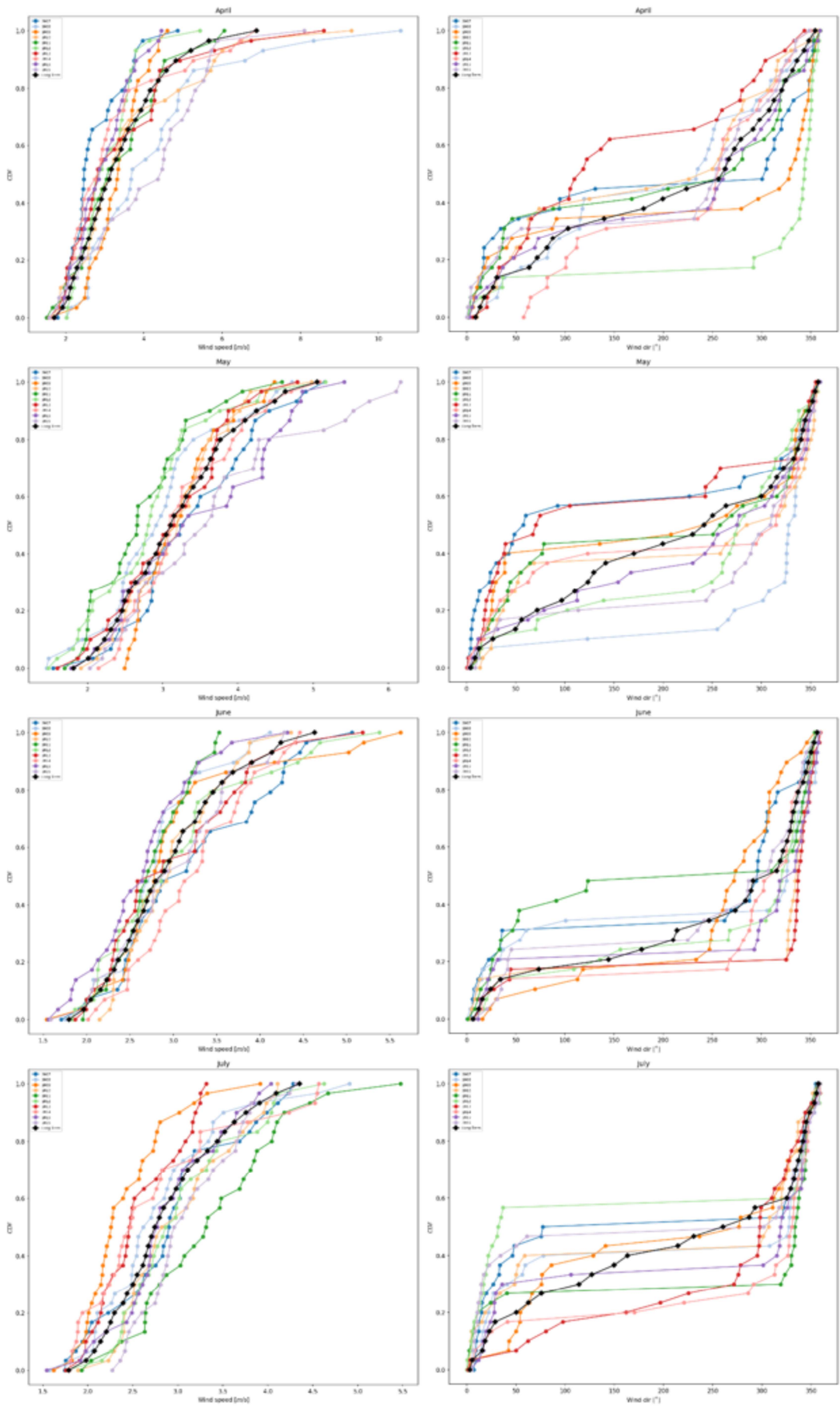
4. Frequency and wind direction

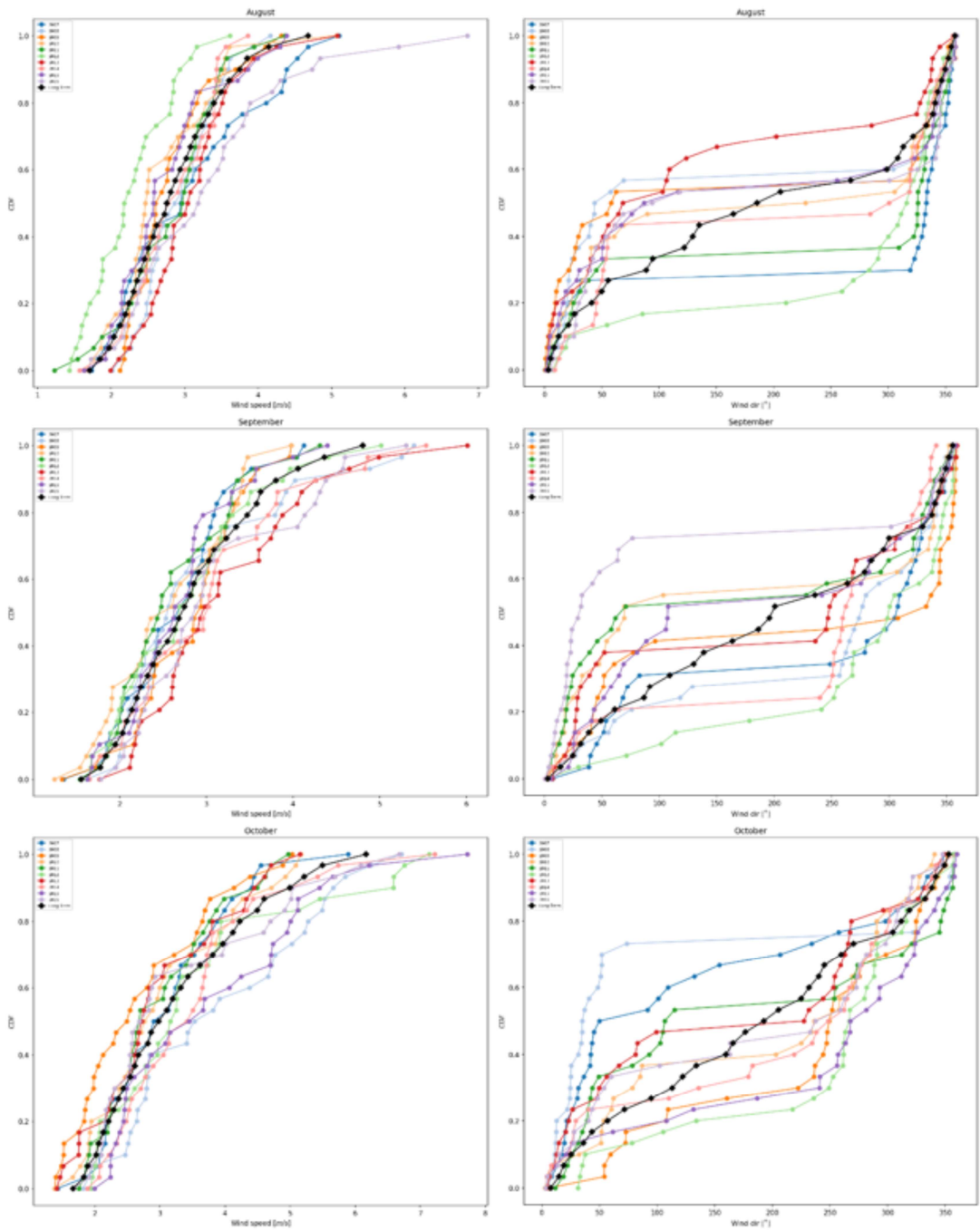


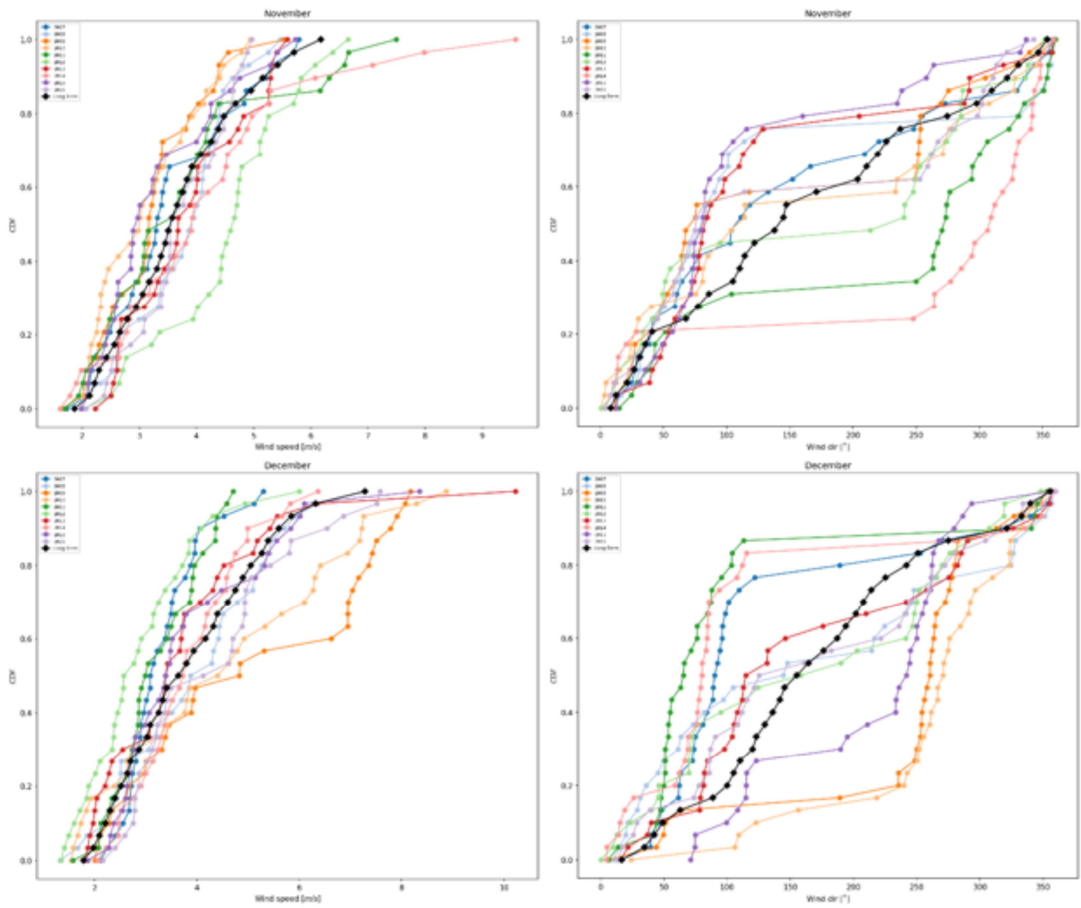
All IPMA meteorological stations averaged for period between 2007 and 2016

1. TMY

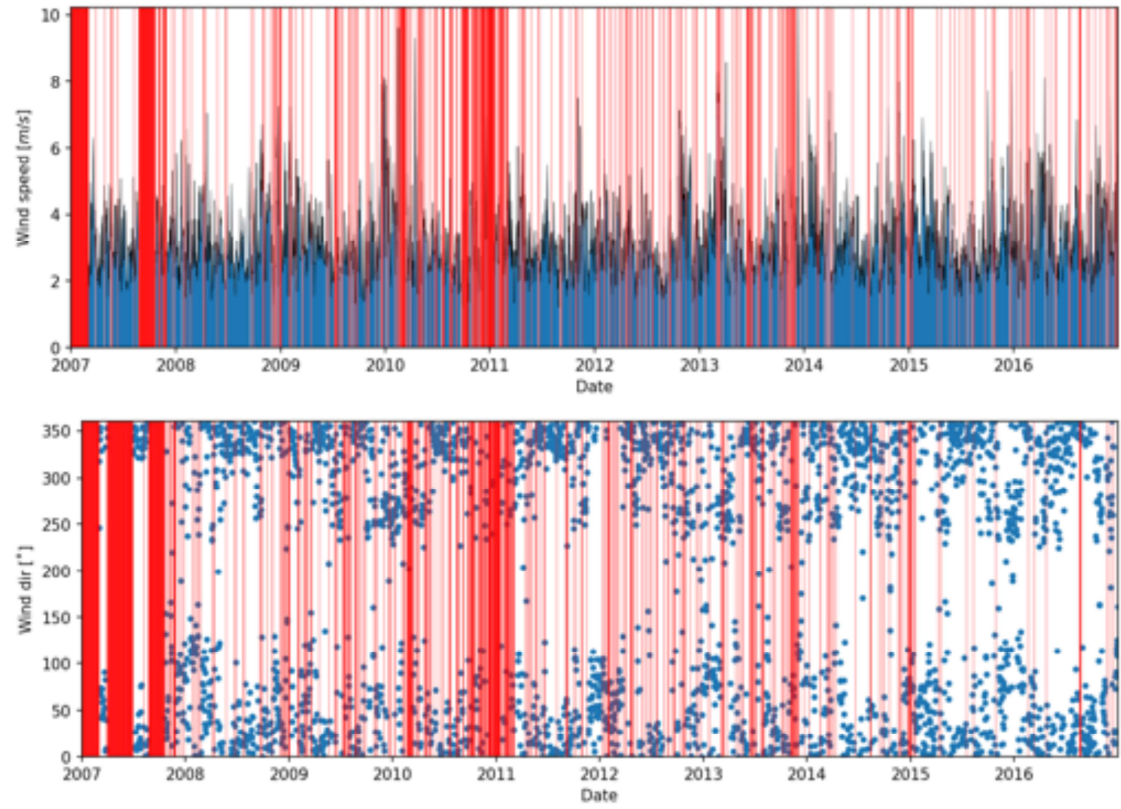




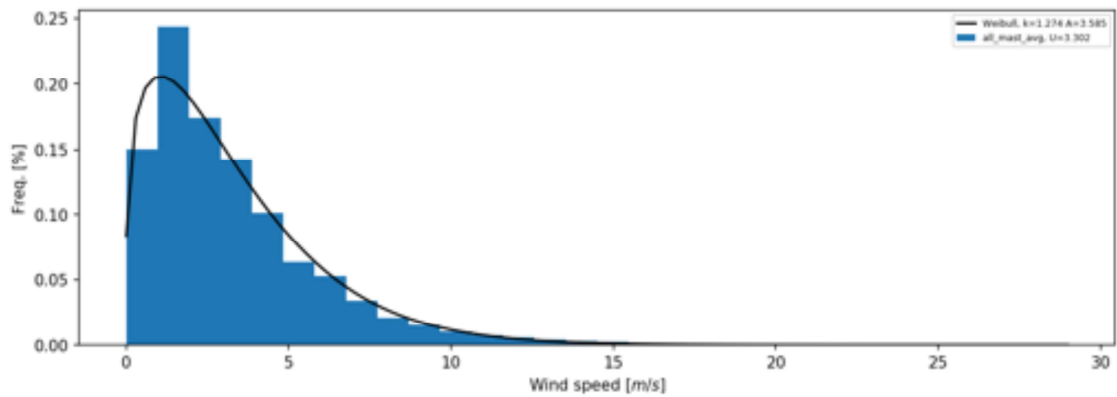




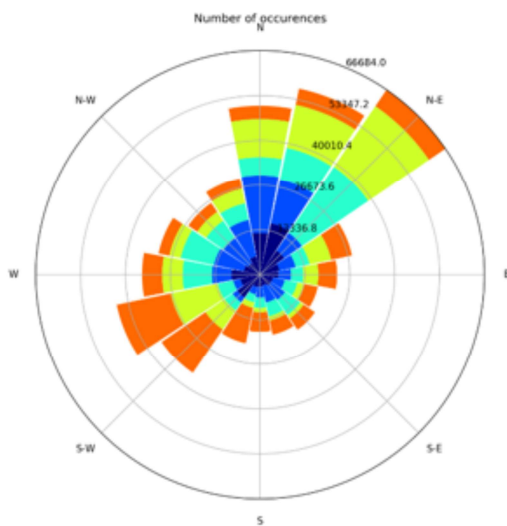
2. Time series



3. Histogram and weibull



4. Frequency and wind direction



5. Absolute mean error

[m/s]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	3.992	16.16	4.636	16.891	7.303	8.015	5.04	7.97	5.78	5.585	5.169	16.145
2008	7.183	12.912	8.363	21.495	7.97	5.777	5.103	6.514	6.231	18.365	7.248	6.114
2009	5.23	10.253	7.77	11.596	7.498	6.372	15.903	5.765	6.343	18.212	12.033	26.154
2010	23.459	28.681	5.758	8.142	3.615	4.057	5.338	6.375	9.56	7.117	15.598	19.852
2011	12.2	8.31	11.158	4.104	13.982	6.641	16.045	4.983	7.129	7.426	9.012	13.714
2012	7.159	5.459	14.835	9.662	12.152	4.825	5.106	20.677	3.729	8.408	23.545	25.703
2013	11.393	10.994	38.966	8.116	3.573	4.528	10.341	9.271	13.203	9.815	6.746	8.686
2014	11.836	3.383	5.069	10.404	5.103	9.792	9.515	3.888	6.544	9.004	13.029	8.613
2015	9.712	5.331	4.149	11.069	8.109	10.964	3.051	5.148	5.653	14.341	10.222	6.892
2016	8.446	5.067	6.279	20.404	14.234	3.126	9.667	13.684	8.693	6.356	7.263	12.259
TMY	2007	2014	2015	2011	2013	2016	2015	2014	2012	2007	2007	2008

[°]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	29.787	61.85	34.524	33.653	48.568	25.846	36.976	54.225	36.006	40.724	16.637	28.778
2008	22.725	20.666	26.067	13.009	84.899	28.367	26.76	31.188	29.602	54.436	29.652	31.935
2009	56.437	43.966	22.92	31.959	27.554	36.099	24.798	42.753	25.949	49.752	22.284	50.569
2010	24.715	115.54	39.729	16.252	34.178	24.952	28.67	24.542	36.004	21.875	26.96	76.508
2011	28.129	41.34	28.179	27.599	23.82	32.706	44.8	32.785	38.27	24.808	49.783	46.133
2012	49.925	59.766	27.214	76.628	28.509	8.943	48.478	99.873	79.284	63.902	29.026	29.123
2013	29.751	29.936	145.58	29.358	43.837	19.847	71.207	41.819	28.4	28.224	31.557	16.228
2014	34.193	51.459	30.837	64.929	27.377	18.318	51.224	35.205	35.233	23.274	80.139	46.252
2015	46.173	44.53	64.828	14.564	15.2	18.162	24.451	30.428	21.66	40.565	33.912	47.957
2016	17.391	41.86	35.564	28.978	37.01	15.582	34.873	26.941	59.38	22.021	24.468	18.452
tmy	2016	2008	2009	2008	2015	2012	2015	2010	2015	2010	2007	2013

6. Mean error

[%]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	0.121	-0.559	-0.032	-0.641	0.205	0.245	0.042	0.214	-0.175	-0.183	-0.152	-0.543
2008	-0.165	-0.401	-0.331	0.821	-0.234	-0.162	-0.084	0.079	0.062	0.614	0.056	0.105
2009	-0.09	0.096	-0.271	-0.08	0.042	0.034	-0.471	-0.046	-0.025	-0.571	-0.467	1.16
2010	0.823	1.111	0.192	0.248	-0.014	0.024	0.131	-0.161	-0.266	-0.237	-0.583	0.659
2011	-0.367	-0.365	-0.413	-0.041	-0.449	-0.215	0.474	-0.037	-0.216	-0.279	0.033	-0.63
2012	-0.317	-0.17	-0.528	-0.358	-0.36	0.062	0.143	-0.587	-0.054	0.269	0.824	-0.985
2013	-0.43	0.161	1.397	0.014	-0.076	0.041	-0.32	0.236	0.381	-0.323	0.157	-0.163
2014	0.428	-0.039	0.069	-0.182	0.102	0.266	-0.144	-0.035	0.195	0.203	0.466	-0.014
2015	0.252	0.162	0.083	-0.457	0.279	-0.323	-0.009	-0.112	-0.157	0.488	-0.362	-0.029
2016	-0.255	0.025	-0.167	0.676	0.505	0.028	0.239	0.45	0.256	0.019	0.028	0.44
min	2013	2007	2012	2007	2011	2015	2009	2012	2010	2009	2010	2012
max	2010	2010	2013	2008	2016	2014	2011	2016	2013	2008	2012	2009

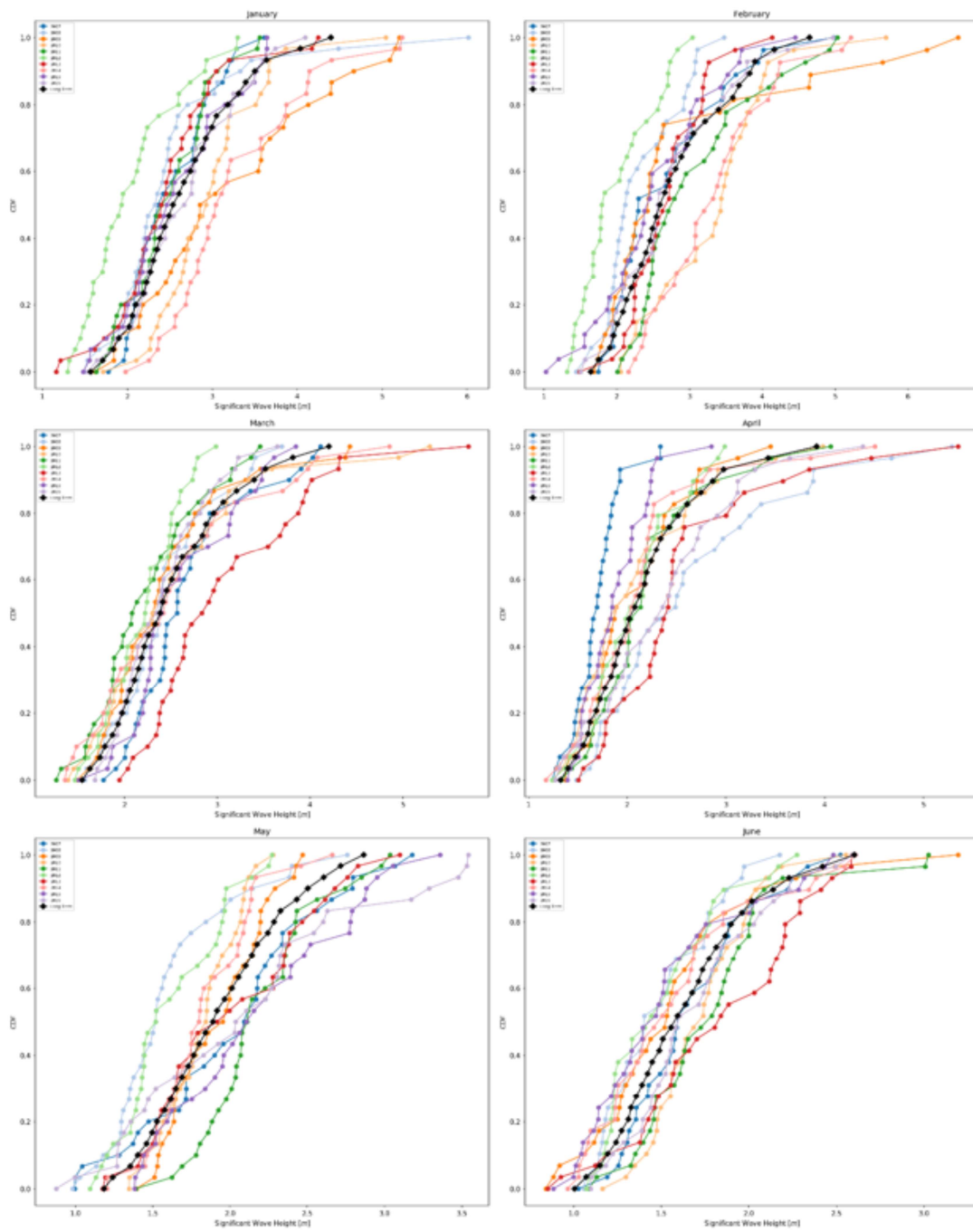
[%]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	-56.397	69.629	-21.789	-11.046	-60.429	-31.337	-33.706	53.973	32.801	-55.716	-13.853	-42.951
2008	-5.97	-4.207	-22.745	-14.106	78.423	-19.516	-2.872	-33.832	34.957	-74.694	-28.616	-5.322
2009	79.812	-45.047	-6.353	19.796	-23.956	-0.388	-5.901	-28.704	14.443	40.633	-17.13	64.017
2010	30.979	87.981	41.365	-23.501	4.176	30.787	-11.041	-8.015	-32.887	4.769	-1.103	86.729
2011	22.457	21.179	31.494	-12.945	-18.306	-52.548	32.319	33.474	-34.991	-9.541	59.841	-69.495
2012	-78.501	-96.687	-12.325	82.161	26.183	11.024	-57.484	68.186	70.377	52.247	7.859	-6.242
2013	16.375	-40.33	88.684	-53.618	-59.348	34.156	41.272	-55.953	-6.652	-20.542	-33.254	-5.309
2014	46.875	24.44	21.398	16.007	-0.807	21.889	51.43	6.299	29.435	15.305	85.501	-59.631
2015	-68.151	-27.756	-94.037	5.025	14.895	14.843	14.729	-21.204	-19.573	48.414	-46.876	39.28

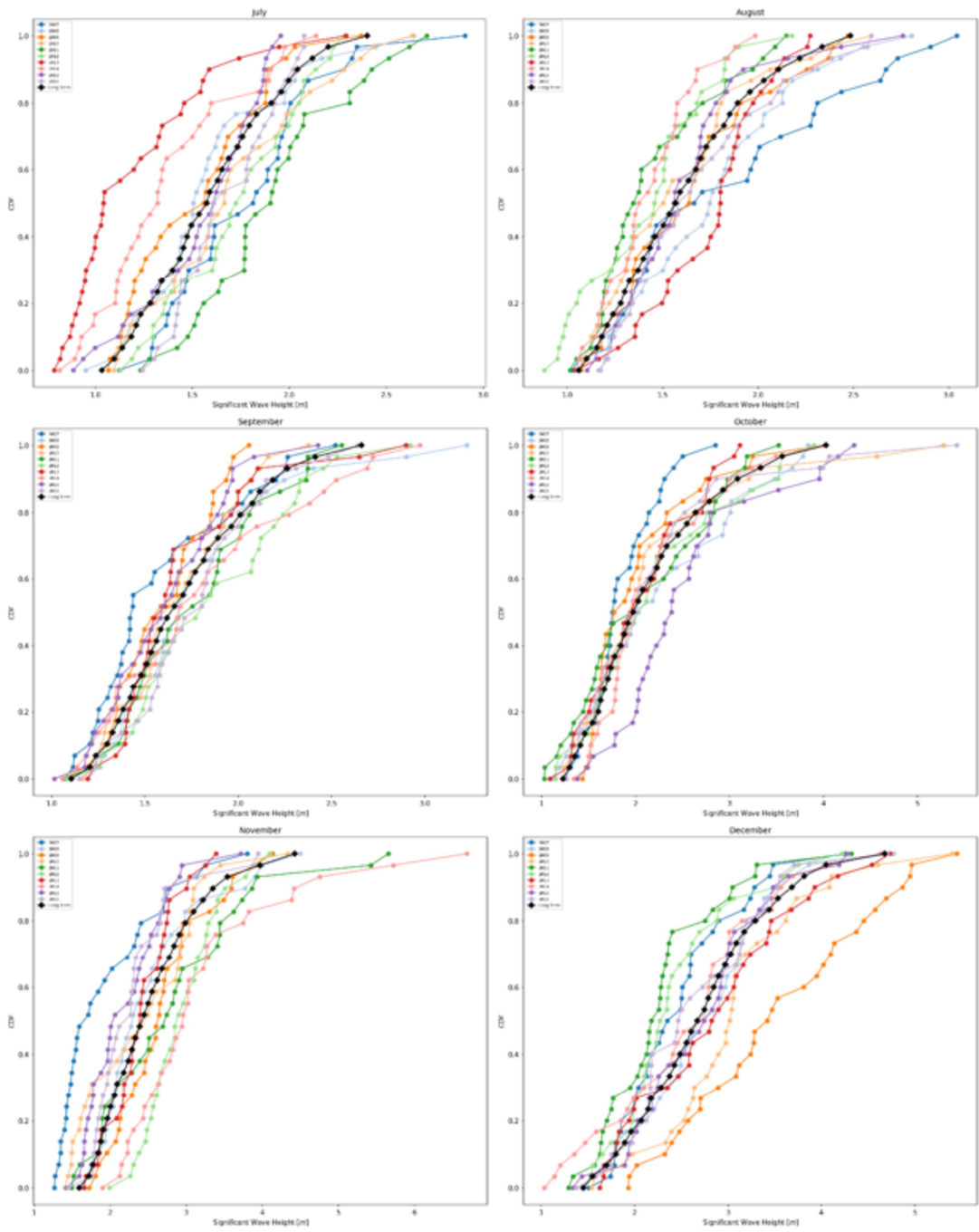
2016	12.52	13.903	-25.692	-7.774	39.169	-8.91	-28.745	-14.223	-87.909	-0.876	-12.369	-1.077
min	2012	2012	2015	2013	2007	2011	2012	2013	2016	2008	2015	2011
max	2009	2010	2013	2012	2008	2013	2014	2012	2012	2012	2014	2010

Annex II – Wave analysis

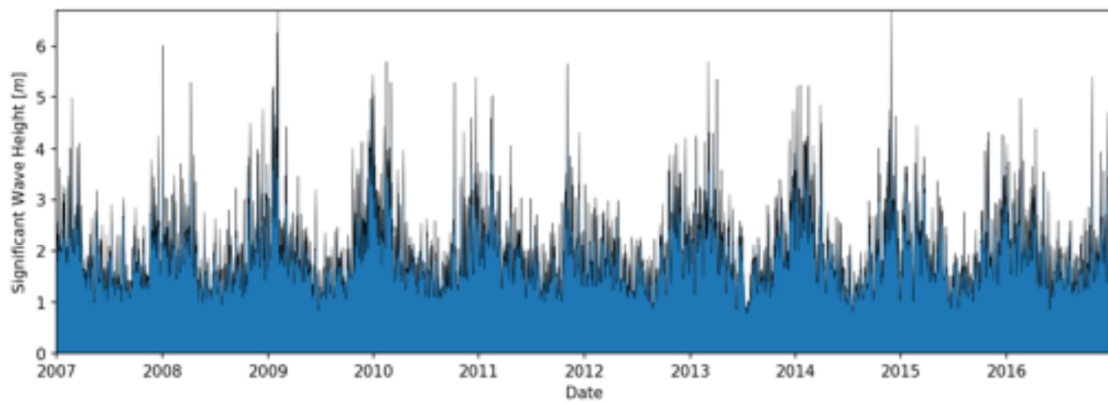
Significant wave height with ERA-Interim reanalysis for period between 2007 and 2016

1. TMY

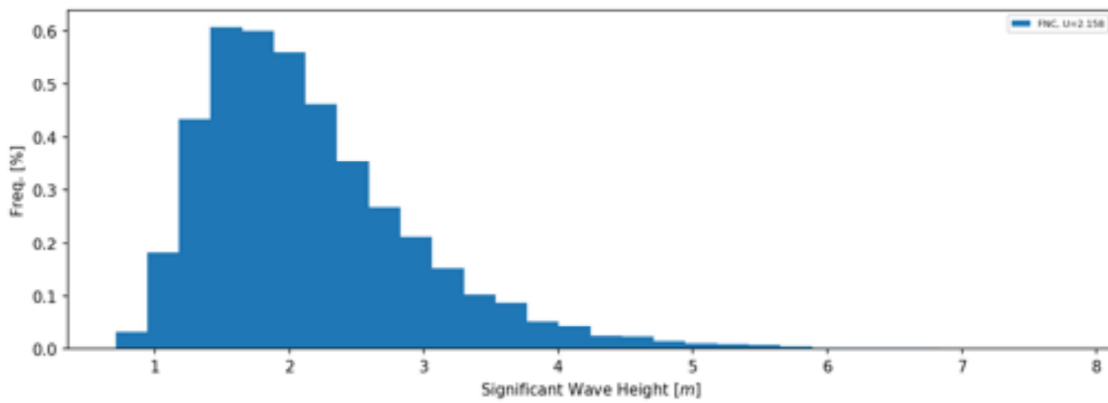




2. Time series



3. Histogram



4. Absolute mean error for the longterm

[%]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	7.153	4.141	7.98	19.42	8.81	3.357	11.033	11.887	7.855	11.333	24.562	9.765
2008	9.77	15.856	3.529	19.257	17.51	8.689	3.666	9.113	3.946	7.129	3.409	2.632
2009	17.628	12.912	4.767	4.203	5.417	7.613	5.178	2.313	6.218	8.048	6.88	29.012
2010	12.705	22.028	6.081	5.746	7.374	9.125	6.048	3.597	3.123	5.206	8.73	12.107
2011	6.22	12.248	11.283	3.134	15.014	9.695	19.828	9.902	3.729	8.381	11.048	16.416
2012	23.482	27.572	10.83	4.021	15.579	8.426	8.631	12.649	8.161	4.269	19.062	10.508
2013	8.949	6.167	22.631	16.371	4.875	12.907	26.049	10.473	4.768	5.044	6.026	6.297
2014	23.072	22.576	7.062	4.941	5.657	6.393	15.621	10.739	6.973	4.167	24.331	7.776
2015	4.273	9.375	5.379	11.806	12.362	9.065	5.121	3.569	5.826	18.295	13.158	3.479
2016	2.26	4.197	4.715	9.893	13.521	4.331	7.962	4.825	4.179	4.949	9.368	4.342
tmy	2016	2007	2008	2011	2013	2007	2008	2009	2010	2014	2008	2008

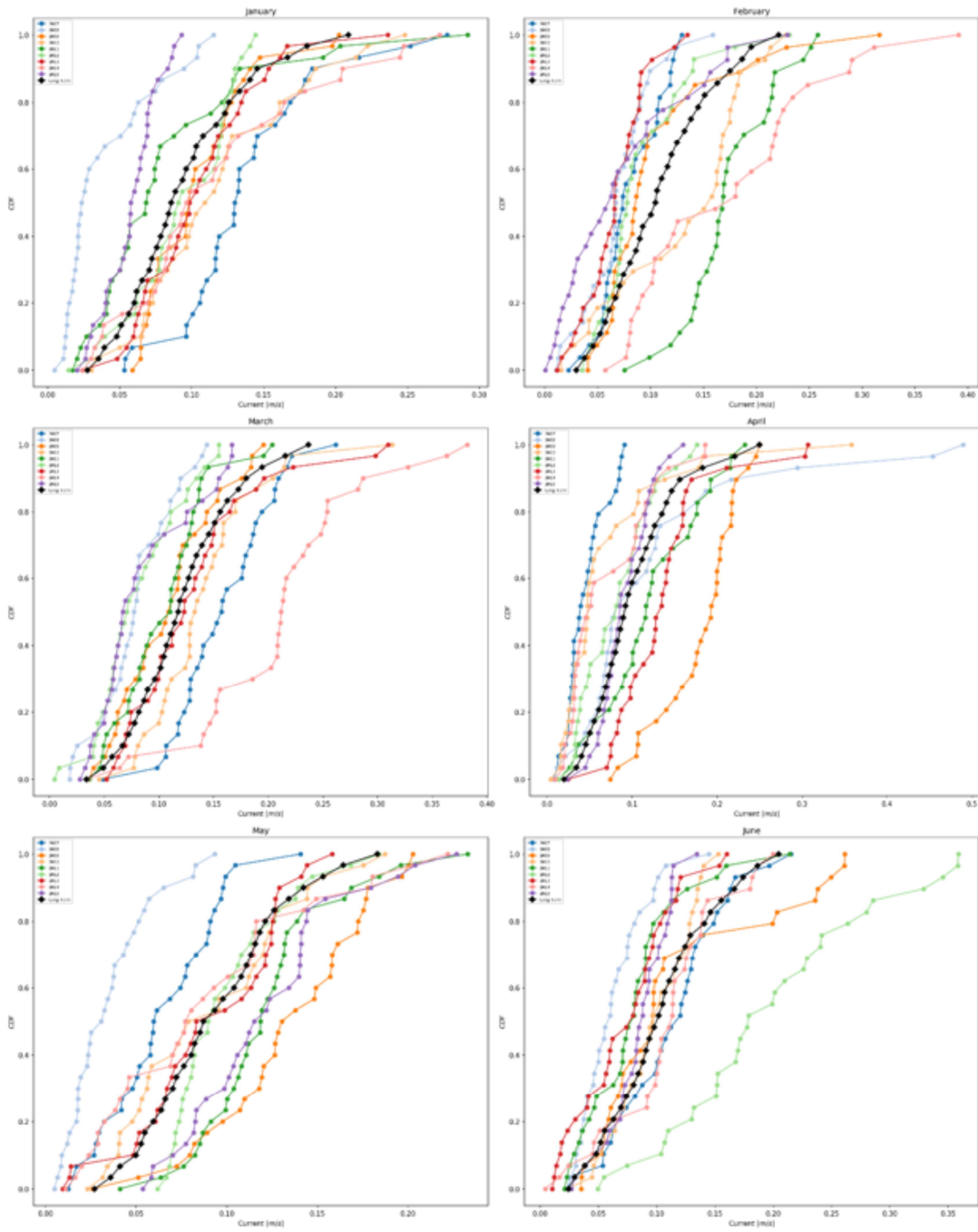
5. Mean error for the longterm

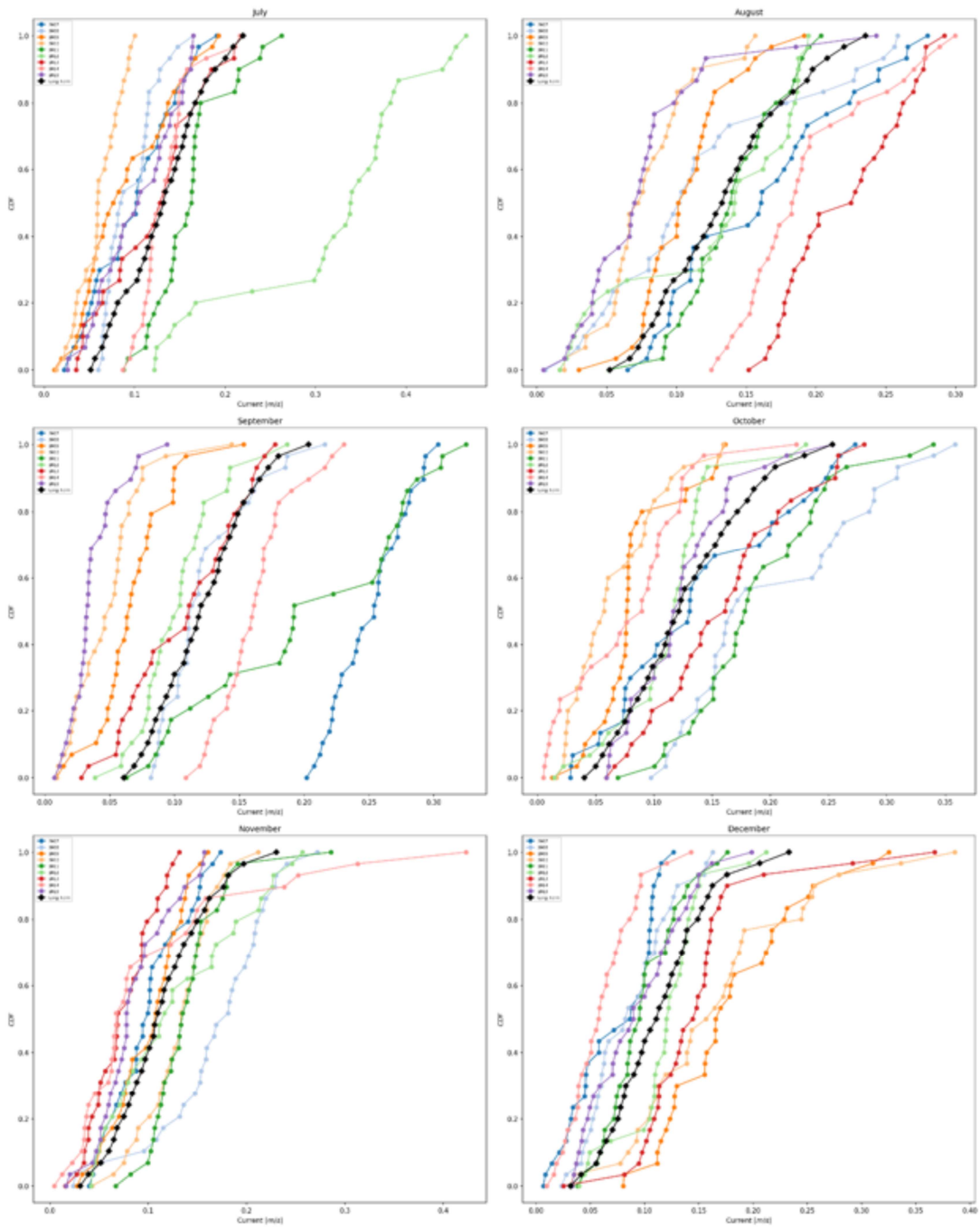
[m]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	-0.158	-0.063	0.173	-0.469	0.095	0.038	0.176	0.214	-0.127	-0.296	-0.594	-0.254
2008	-0.151	-0.469	-0.072	0.464	-0.332	-0.148	-0.012	0.151	0.067	0.099	-0.022	0.017
2009	0.524	0.161	-0.075	-0.087	-0.006	-0.072	-0.079	0.03	-0.122	-0.122	0.138	0.792
2010	0.302	0.578	0.007	-0.085	-0.112	0.096	0.101	-0.04	-0.041	0.02	-0.134	0.319
2011	-0.185	0.332	-0.278	0.036	0.262	0.15	0.31	-0.166	0.053	-0.077	0.283	-0.452
2012	-0.617	-0.775	-0.307	-0.099	-0.309	-0.136	0.126	-0.202	0.144	0.044	0.402	-0.299
2013	-0.22	-0.056	0.573	0.379	0.084	0.189	-0.402	0.131	-0.021	-0.119	-0.131	0.131
2014	0.605	0.59	0.006	-0.047	-0.098	-0.066	-0.238	-0.192	0.09	0.031	0.655	-0.151
2015	-0.103	-0.218	0.086	-0.287	0.252	-0.117	-0.058	-0.007	-0.105	0.378	-0.349	-0.018
2016	0.001	-0.035	-0.112	0.194	0.165	0.066	0.077	0.079	0.062	0.042	-0.249	-0.083
min	2012	2012	2012	2007	2008	2008	2013	2012	2007	2007	2007	2011
max	2014	2014	2013	2008	2011	2013	2011	2007	2012	2015	2014	2009

Annex III – Current analysis

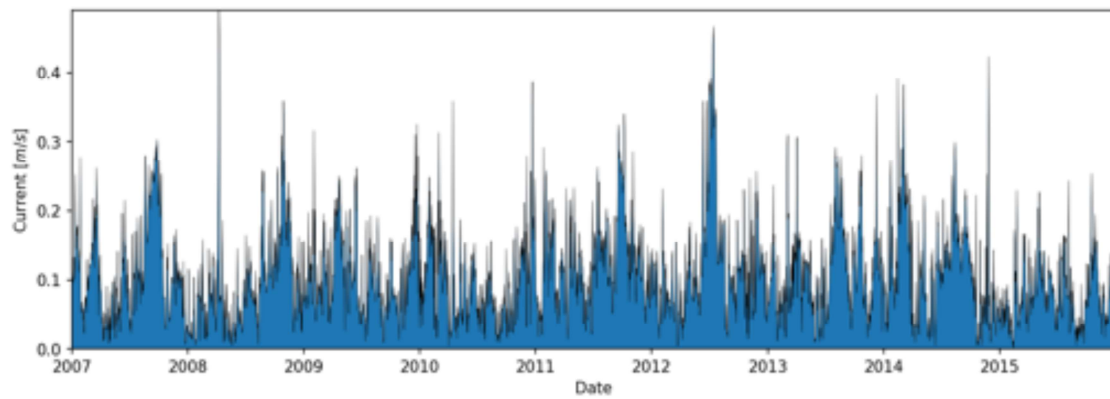
Current GlobCurrent reanalysis for period between 2007 and 2016

1. TMY

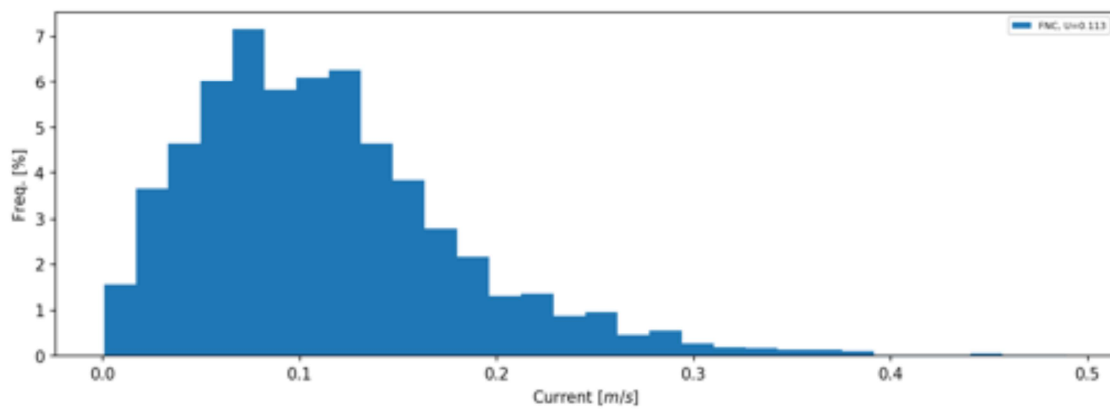




2. Time series



3. Histogram



4. Absolute mean error for the longterm

[%]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	51.889	20.989	37.003	56.599	34.526	11.223	27.903	17.377	117.254	15.978	13.788	41.268
2008	63.528	38.406	37.953	23.551	66.777	37.802	25.861	28.56	7.121	63.895	50.052	25.307
2009	19.29	14.327	12.278	101.112	46.962	16.81	36.143	20.33	47.518	35.104	11.017	64.277
2010	23.855	31.138	17.899	45.579	10.857	8.754	54.706	43.7	63.502	51.952	22.325	42.908
2011	24.198	81.269	14.928	22.688	36.556	24.758	29.727	10.202	58.378	54.444	32.634	12.433
2012	11.379	17.331	38.154	21.723	16.999	91.806	138.772	23.782	16.459	14.007	17.102	13.991
2013	13.59	38.059	9.153	40.271	11.516	34.919	12.269	74.853	15.627	27.274	35.617	34.104
2014	21.852	61.473	72.303	37.307	23.404	14.153	17.552	50.299	37.288	47.489	38.379	49.68
2015	36.198	43.158	32.594	13.805	33.802	14.824	23.865	49.516	72.014	7.852	26.331	20.46
tmy	2012	2009	2013	2015	2010	2010	2013	2011	2008	2015	2009	2011

5. Mean error for the longterm

[m/s]	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
2007	0.043	-0.025	0.037	-0.056	-0.03	0.009	-0.031	0.025	0.129	0.01	-0.015	-0.042
2008	-0.055	-0.04	-0.044	0.022	-0.059	-0.041	-0.035	-0.019	0.001	0.074	0.052	-0.027
2009	0.009	-0.001	-0.014	0.078	0.04	0.013	-0.04	-0.029	-0.055	-0.045	-0.014	0.066
2010	0.023	0.024	0.019	-0.032	-0.003	-0.006	-0.07	-0.056	-0.074	-0.061	0.016	0.053
2011	-0.012	0.067	-0.018	0.018	0.028	-0.023	0.031	0.005	0.078	0.06	0.025	-0.015
2012	-0.002	-0.018	-0.042	-0.02	0.006	0.092	0.18	-0.009	-0.019	-0.015	0.015	0.006
2013	0.009	-0.039	0.011	0.034	-0.003	-0.03	-0.01	0.086	-0.015	0.032	-0.04	0.034
2014	0.021	0.066	0.088	-0.031	-0.006	0.004	0.003	0.058	0.04	-0.05	-0.011	-0.053
2015	-0.037	-0.032	-0.037	-0.011	0.027	-0.018	-0.028	-0.06	-0.085	-0.005	-0.029	-0.021
min	2008	2008	2008	2007	2008	2008	2010	2015	2015	2010	2013	2014
max	2007	2011	2014	2009	2009	2012	2012	2013	2007	2008	2008	2009

ATIVIDADE 3.4

MODELAÇÃO DO SISTEMA ENERGÉTICO INTEGRADO COM AQUACULTURA

ARDITI

Junho 2021

PROJETO OFFSHORE ISLAND PORTO SANTO (OIPS)

Avaliação e validação de sistemas de aquicultura compatíveis e com sinergias expectáveis com a plataforma de produção de energia eólica

Parte 3

Potencias e constrangimentos na sinergia dos sistemas de cultura mais apropriados com os componentes de amarração e flutuantes do sistema de produção de energia eólica

Equipa Técnica

Abílio Ferreira (abilio.m.ferreira@madeira.gov.pt)

Maria Ferreira (ml.ferreira.2000@gmail.com)

Carlos Andrade (carlos.a.andrade@madeira.gov.pt)

Projeto OIPS



Trabalho Proposto

outubro a novembro (2020-10-01 a 2020-11-30)

O trabalho proposto constará da avaliação e validação dos sistemas de aquacultura que sejam compatíveis e em que se verifiquem as sinergias expectáveis com a plataforma de produção de energia eólica, a nível de instalação e a nível da operação. O trabalho será baseado nas seguintes temáticas de estudo:

3. Potencias e constrangimentos na sinergia dos sistemas de cultura mais apropriados com os componentes de amarração e flutuantes do sistema de produção de energia eólica.

Resumo

- É feito um estudo da Flutuabilidade tendo em conta a necessidade de stock de alimentação piscícola para 21 dias, em dois cenários de produção anual de peixe:
 - 2000 Ton/ano;
 - 6000 Ton/ano que se mostrou não estar dentro das possibilidades da plataforma eólica, tendo-se então mudado para 4000 Ton/ano.

Consideraram-se ainda:

- *Os equipamentos associados ao sistema de alimentação piscícola;*
 - *Outros equipamentos de apoio, nomeadamente instalações na plataforma.*
- É feito um estudo das Amarrações que existem em uso, no que respeita a:
 - *Componentes;*
 - *Materiais*
 - *Tipos.*

Tentou abordar-se uma “Solução de Amarração mais adequada ao local”, todavia, o desconhecimento do tipo e número de ECOs - Estruturas de Culturas Offshore utilizadas no sistema aquícola e o tipo de amarração a utilizar pela Plataforma Eólica que condiciona e determina em grande parte as soluções, levou a que esse objetivo ficasse em aberto.

Índice

Resumo	3
Índice de Figuras	5
Índice de Tabelas	6
3.1 Flutuabilidade	7
3.1.1. Análise da capacidade de cultura	7
3.1.1.1. Stock de Rações	8
3.1.1.2. Necessidades do Sistema de Alimentação.....	10
3.1.2. Equipamentos associados ao sistema de alimentação piscícola	13
3.1.3. Outros equipamentos	18
3.2 Amarração	19
3.2.1. Componentes de amarração	21
3.2.1.1. Cabo de Amarração	21
3.2.1.2. Âncora	23
3.2.1.2.1. Poita (Peso morto)	24
3.2.1.2.2. Estaca escavada e cimentada (Grouted Pile).....	25
3.2.1.2.3. Âncora de Arraste ou Convencional (DEA – Drag Embedment Anchor)	25
3.2.1.2.4. Ancora para carga vertical (VLA – Vertical Load Anchor).....	26
3.2.1.2.5. Estaca Torpedo.....	27
3.2.1.2.6. Estaca de Sucção	27
3.2.1.3. Boias do sistema	28
3.2.1.4. Placa de manilha	29
3.2.1.5. Manilha.....	29
3.2.1.6. Laço de ligação	30
3.2.1.7. Anilhas de ligação flexíveis	31
3.2.1.8. Boias de sinalização com luzes.....	31
3.2.2. Tipos de amarração	32
3.2.2.1. Amarração em Catenária (<i>Catenary moorings</i>)	33
3.2.2.2. Amarração de Perna Esticada (<i>Taut Leg moorings</i>)	34
3.2.2.3. Amarração de Perna em Tensão (<i>Tension Leg (TL) mooring</i>)	35
3.2.2.4. Amarração de Ponto Único (<i>Single point mooring</i>)	36
3.2.2.5. Amarração de Extensão (<i>SM - Spread Mooring</i>)	38
3.2.2.6. Posicionamento Dinâmico (<i>DP - Dynamic Positioning</i>)	38
3.2.3. Soluções de amarração mais adequadas ao local	39
3.3 Referências Bibliográficas	42
3.3.1. Bibliografia	42
3.3.2. Links Internet	42

Índice de Figuras

Fig. 1 - Curva de Crescimento - Dourada.....	9
Fig. 2 - Curva de Crescimento - Dourada (Pormenor Pré-Engorda).....	9
Fig. 3 - Curva de Crescimento da dourada - Pormenor do Período Inicial.....	10
Fig. 4 - Estadia no Mar / Ração por Peixe.....	11
Fig. 5 - Unidades de expulsão de sistema de alimentação.....	13
Fig. 6 - Sistema de alimentação (partes)	13
Fig. 7 - Equipamentos do sistema de alimentação	14
Fig. 8 - Alimentação de ração subsea feeding.....	15
Fig. 9 - Alimentadores automáticos	16
Fig. 10 - Alimentador de aquacultura.....	17
Fig. 11 - Sistema de alimentação completo	18
Fig. 12 - Boia de Navegação ou Sinalização.....	19
Fig. 13 - Linhas de amarração	20
Fig. 14 - Sistema de linhas de amarração num módulo.....	20
Fig. 15 - Cabo de Amarração.....	22
Fig. 16 - Tipos de Âncoras	23
Fig. 17 - Poita e seu processo de fabrico	24
Fig. 18 - Esquema de âncora de arado simples.....	25
Fig. 19 - Esquema da âncora SeaCureHold da Gael Force.....	25
Fig. 20 - Tipos de Âncoras de "Arado"	26
Fig. 21 - Estaca Torpedo.....	27
Fig. 22 - Estaca de Sucção	27
Fig. 23 - Boias do Sistema de Amarração	28
Fig. 24 - Placa de manilha	29
Fig. 25 - Diversos troços de fecho das manilhas.....	30
Fig. 26 - Manilha com troço trancado com um fio	30
Fig. 27 - Manilha	30
Fig. 28 - Laço de Ligação.....	31
Fig. 29 - Amarra utilizada para ancoragem de sistema offshore.....	31

Fig. 30 - Boia de sinalização.....	31
Fig. 31 - Tipos de amarração	33
Fig. 32 - Amarração em Catenária.....	33
Fig. 33 - Amarração de Perna Esticada "Taut-Leg"	34
Fig. 34 - Amarração em catenária vs taut-leg	35
Fig. 35 - Amarração de 'Perna em Tensão.....	36
Fig. 36 - Amarração de Ponto Único - Sistema de Torre.....	37
Fig. 37 - Amarração de Extensão	38
Fig. 38 - Posicionamento Dinâmico	38

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Pressupostos na utilização das estruturas de cultura offshore.....	8
Tabela 2 - Cálculo de Necessidades Estruturas de cultura offshore/Rações.....	11
Tabela 3 - Cálculos de Estruturas de cultura offshore, Peixes e Rações	12
Tabela 4 - Tempo de alimentação em cada período - Equipamento 1	16
Tabela 5 - Tempo de alimentação em cada período - Equipamento 2	17

Nomenclatura

AUV	- Veículos Autónomos Submarinos
ECO	- Estrutura de Cultura Offshore
FCR	- Rácio de conversão de alimentação dos peixes
PE	- Plataforma Eólica
PO	- Plataforma Oceânica
SCA	- Sistema Cultura Apropriado

3.1 Flutuabilidade

A Flutuabilidade, neste caso, diz respeito à PE – Plataforma Eólica.

A compatibilidade dos sistemas (estruturas de cultura offshore de aquacultura e plataforma de energia eólica), em termos de flutuabilidade está balizada pela capacidade apresentada pela plataforma eólica de suportar as necessidades logísticas inerentes ao sistema de estruturas de cultura offshore mais apropriado às condições do local:

Flutuabilidade

- Máxima carga sobre a plataforma? Possível considerar 150 a 450 toneladas para armazenamento de rações e alimentador automático?
 - As dimensões da plataforma não são fixas e serão alteradas consoante o projecto. A adição de 150 a 450 toneladas de impulsão parece-nos não ser um entrave ao projecto. Os tanques de balastro podem por sua vez ser usados para compensar variações da carga na plataforma.

Fonte: Ficheiro "Informações da Plataforma" - 2020-05-18 ; 16:46

3.1.1. Análise da capacidade de cultura

Vão considerar-se 2 cenários:

- ✓ Produção de 2000 Ton de peixe/ano
- ✓ Produção de 6000 Ton de peixe/ano

No sentido de se avaliarem as necessidades do sistema, tem de se avançar com alguns pressupostos:

- ✓ Volume da Estrutura de cultura offshore
- ✓ Densidade de Estabulagem dos Peixes
- ✓ Mortalidade dos Peixes
- ✓ Peso dos Juvenis
- ✓ Tempo Crescimento na Estrutura de cultura offshore
- ✓ Peso do Peixe Graúdo
- ✓ Fator de Conversão da Ração
- ✓ Tempo de Stock de Ração
- ✓ Densidade da Ração

3.1.1.1. Stock de Rações

O *stock de rações* foi considerado ser de 21 dias, sendo que, também foram considerados outros pressupostos, absolutamente necessários à definição do sistema, que se encontram registados na Tabela 1.

Em mar aberto, para condições mais adversas de mar, são aconselhadas estruturas de cultura offshore com maior diâmetro, pelo que se consideram duas alternativas, com $\varnothing \approx 32$ m e $\varnothing \approx 41$ m; em qualquer dos casos, a variação de capacidade para as duas hipóteses (2 000 e 6 000 Ton/ano), será também obtida, fazendo variar a altura da rede.

Consideram-se medidas standard de estruturas de cultura offshore da Gael Force.

Tabela 1 – Pressupostos na utilização das estruturas de cultura offshore

Jaulas OIPS

Pressupostos				
Diâmetro da ECO		m	31.8	41.4
Altura da ECO	Altura admissível da Rede	m	10 - 20	15 - 40
	Altura da Rede		20	30
Densidade de Estabulagem dos Peixes		Kg/m ³	16	
Mortalidade dos Peixes		%	10	
Peso dos Juvenis		g	25	
Tempo de Crescimento na ECO		meses	12	
Peso do Peixe Graúdo		g	330	
Fator de Conversão da Ração		KgRa _g /KgPx	1.7	
Tempo de Stock de Ração		dias	21	
Densidade da Ração			0.44	
Nº de Alimentações diárias		nº	2	

ECO - Estrutura de Cultura Offshore

Todos os pressupostos (Tabela 1), são considerandos de base realista, com exceção do peso dos juvenis que foi calculado, utilizando os gráficos: Fig. 1 e Fig. 2.

- Considera-se como referência o cultivo de "Dourada";
- O peso dos juvenis é resultante do *tempo de engorda considerado de 1 ano*, para chegar ao peso de 330 g;
- Entra-se no gráfico da Fig. 1 e conclui-se que são necessárias 82 semanas para que o peixe atinja as 330 g;
- Considerando que se pretende que o peixe tenha uma engorda, em mar, de 52 semanas,

fica que, a pré-engorda será de 30 semanas;

- Entrando com esse valor na Fig. 2 chega-se à conclusão que com esse tempo de pré-engorda, os juvenis atingem o peso de 25 g.

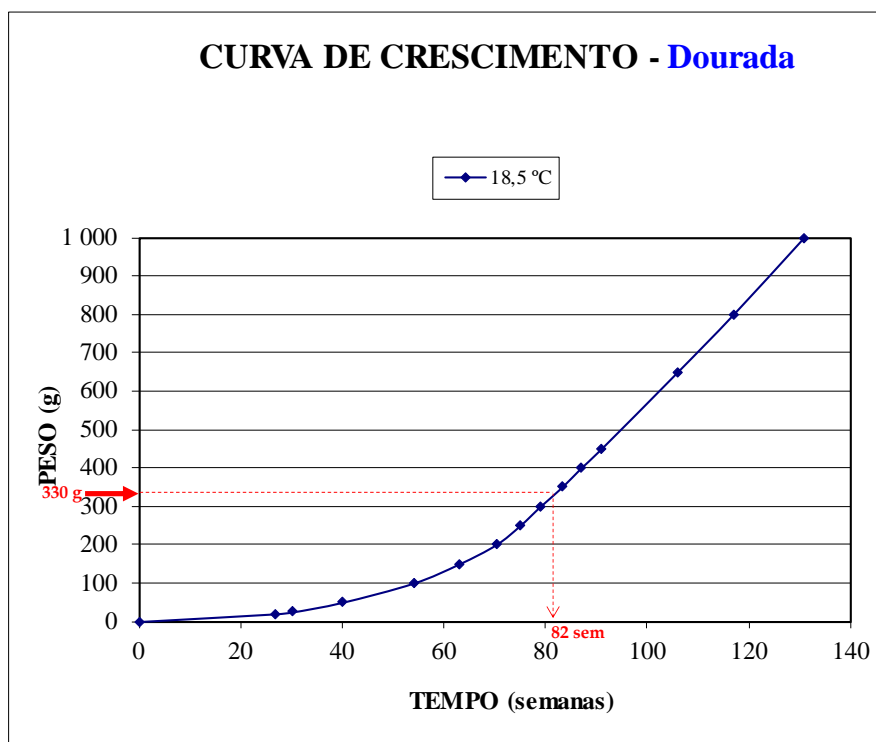


Fig. 1 - Curva de Crescimento - Dourada

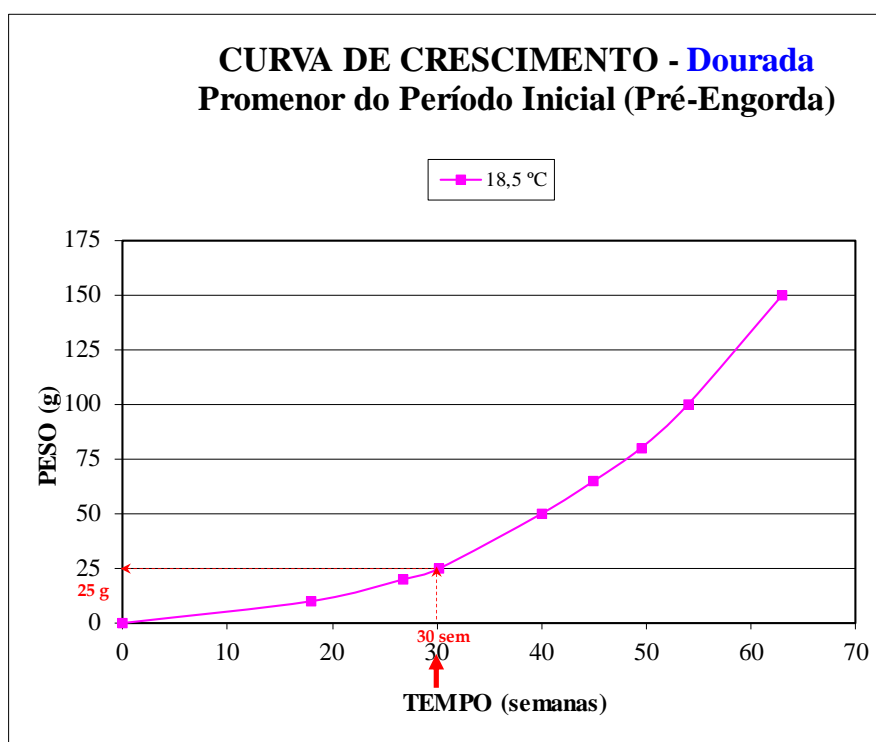


Fig. 2 - Curva de Crescimento - Dourada (Promenor Pré-Engorda)

3.1.1.2. Necessidades do Sistema de Alimentação

Tendo em conta os pressupostos, e por uma questão de cautela, o sistema de alimentação foi majorado, considerando-se que todos os juvenis introduzidos foram sempre alimentados (não se considerando para o cálculo da alimentação total, as baixas por mortalidade de 10%).

Os cálculos assentam nos seguintes pressupostos:

- Os peixes juvenis a alimentar no mar vão de 25 g até 100 g;
- Os peixes adultos a alimentar no mar vão de 100 g até 330 g.

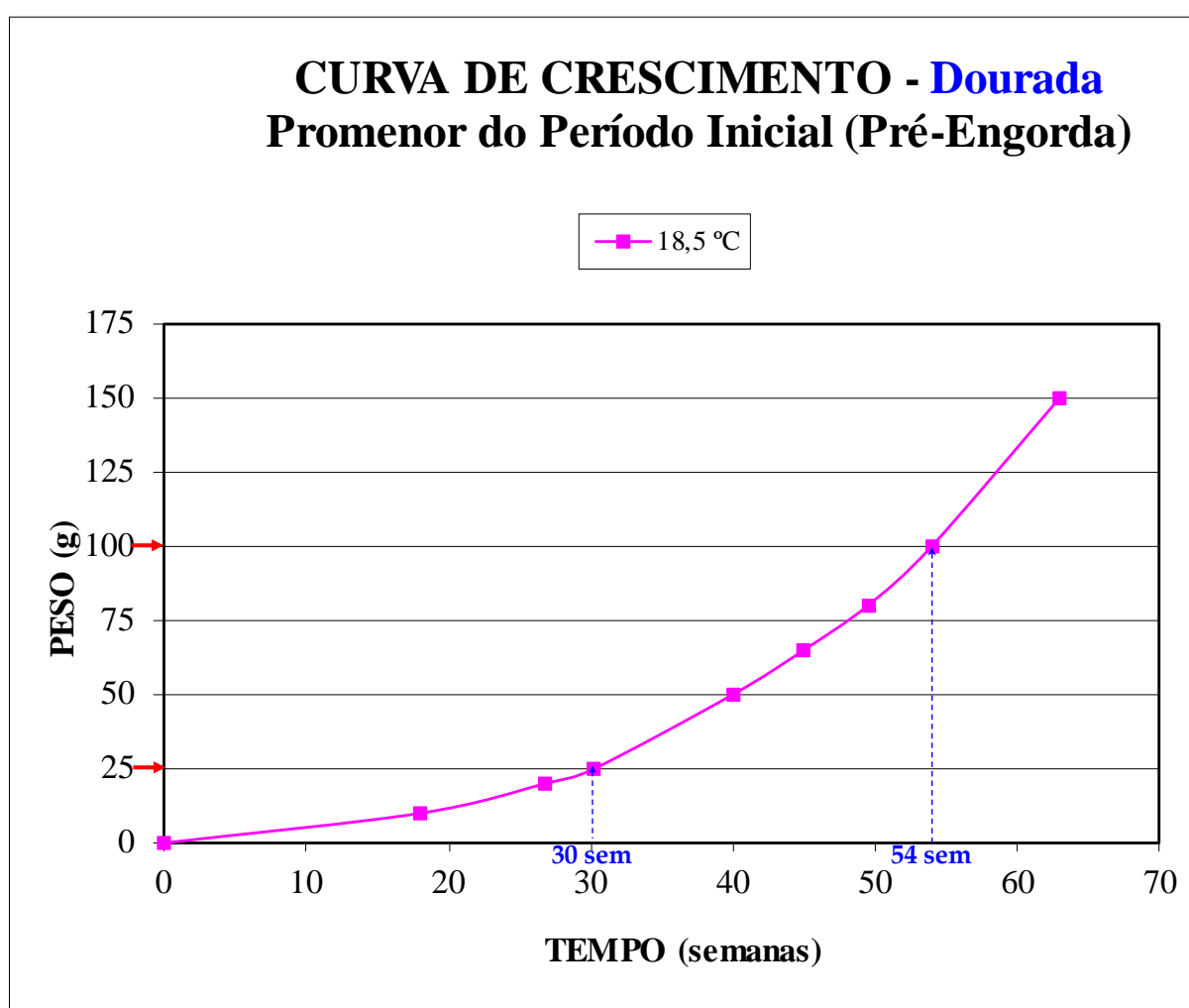


Fig. 3 - Curva de Crescimento da dourada - Pormenor do Período Inicial

Com base nas fig. 1 e 7, temos que os peixes estarão no mar, no estado de:

- Juvenis - 24 semanas (54-30);
- Adultos - 28 semanas (82-54).

Embora o consumo de ração seja progressivo, considera-se um valor médio em cada fase, para os juvenis e para os adultos.

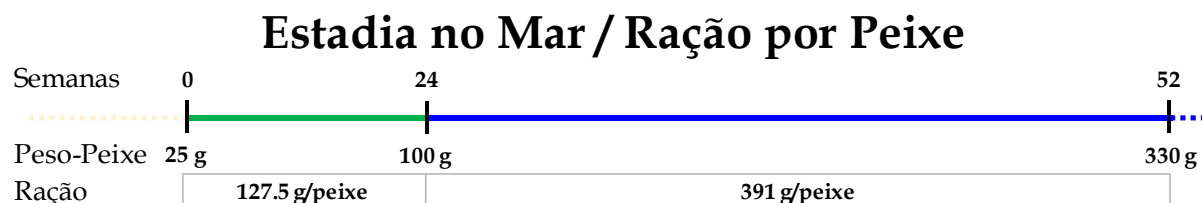


Fig. 4 - Estadia no Mar / Ração por Peixe

Conjugando os pressupostos considerados, chega-se aos valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo de Necessidades Estruturas de cultura offshore/Rações

Espécie - Dourada Sparus aurata (guilthead seabream)		Unidades	2 000 Ton Px/Ano	6 000 Ton Px/Ano		
ECOs	Diâmetro da ECO	m	31.8	31.8	41.4	
	Volume por ECO	m ³	15 924	15 924	40 366	
	Volume habitat necessário	m ³	125 000	375 000		
	Nº de ECOs <small>(Com +1 jaula por cada 10, para atrasos nas capturas com antecipação de chegada de juvenis)</small>	nº	8	24	9	
			9	27	10	
Peixes	Nº total de Peixes a capturar	nº	6 060 606	18 181 818		
	Nº de Juvenis a alimentar	nº	6 734 007	20 202 020		
	Nº de Juvenis a alimentar por ECO	nº	857 835	857 835	2 244 669	
Rações	Necessidade de ração/Px na fase juvenil	g	127.5			
	Necessidade de ração/Px na fase adulta	g	391			
	Necessidade Total de Ração	Ton	3 492	10 475		
	Ração por ECO	Ton	445	445	1 164	
	Nº de Períodos de Alimentação	nº	730			
	Ração por ECO e Período de Alimentação					
	fase Juvenil	kg/ECO*Período	150	150	392	
	fase Adulta		459	459	1 202	
	Juvenis	Peso de Ração em Stock	Ton	49	148	
		Volume de Ração em Stock	m ³	112	337	
Adultos	Peso de Ração em Stock	Ton	151	454		
	Volume de Ração em Stock	m ³	344	1 033		

ECO - Estrutura de Cultura Offshore

Resumindo, as necessidades a compatibilizar entre o SCA - sistema de cultura mais apropriado e a PO - Plataforma Oceânica (onde está instalado o sistema de produção de energia eólica), considerando a situação mais penalizadora, ou seja, a fase adulta:

Produção Piscícola de

2 000 Ton Px/Ano

6 000 Ton Px/Ano

- *Peso de Ração em Stock* 151 Ton 454 Ton
- *Volume de Ração em Stock*..... 344 m3 1 033 m3

O peso da ração em stock, é um fator limitante à produção de peixe de 6 000 Ton Px/Ano, dado que a capacidade disponível para a aquicultura, pelo Promotor do Projeto na plataforma, é inferior ao necessário, assim, consideram-se os cenários de 2 000 e 4 000 Ton Px/Ano, ambos comportáveis pela capacidade disponível à aquicultura (stock de ração e equipamentos) na Plataforma Eólica.

Tabela 3 - Cálculos de Estruturas de cultura offshore, Peixes e Rações

Espécie - Dourada Sparus aurata (guilthead seabream)		Unidades	2 000 Ton Px/Ano	4 000 Ton Px/Ano		
ECOs	Diâmetro da ECO	m	31.8	31.8	41.4	
	Volume por ECO	m3	15 924	15 924	40 366	
	Volume habitat necessário	m3	125 000	250 000		
	Nº de ECOs <i>(Com +1 jaula por cada 10, para atrasos nas capturas com antecipação de chegada de juvenis)</i>	nº	8	16	6	
			9	18	7	
Peixes	Nº total de Peixes a capturar	nº	6 060 606	12 121 212		
	Nº de Juvenis a alimentar	nº	6 734 007	13 468 013		
	Nº de Juvenis a alimentar por ECO	nº	857 835	857 835	2 244 669	
Rações	Necessidade de ração/Px na fase juvenil	g	127.5			
	Necessidade de ração/Px na fase adulta	g	391			
	Necessidade Total de Ração	Ton	3 492	6 983		
	Ração por ECO	Ton	445	445	1 164	
	Nº de Períodos de Alimentação	nº	730			
	Ração por ECO e Período de Alimentação					
	fase Juvenil	kg/ECO*Período	150	150	392	
	fase Adulta		459	459	1 202	
	Juvenis	Peso de Ração em Stock	Ton	49	99	
		Volume de Ração em Stock	m3	112	225	
Adultos	Peso de Ração em Stock	Ton	151	303		
	Volume de Ração em Stock	m3	344	689		

ECO - Estrutura de Cultura Offshore

Produção Piscícola de:

	<u>2 000 Ton Px/Ano</u>	<u>4 000 Ton Px/Ano</u>
○ <i>Peso de Ração em Stock</i>	151 Ton	303 Ton
○ <i>Volume de Ração em Stock</i>	344 m3	689 m3

O tamanho das estruturas de cultura offshore ou o seu número, pode ser outro; consoante os tamanhos de ECO e rede considerados, mas o stock de ração mantém-se, porque depende somente da produção piscícola anual que se pretende.

3.1.2. Equipamentos associados ao sistema de alimentação piscícola

Para este item já é importante o tamanho de estruturas de cultura offshore considerado e o seu número, pois disso depende o nº de equipamentos de alimentação de ração a considerar.

Independentemente dos equipamentos considerados, quer no que respeita às estruturas de cultura offshore e equipamentos do sistema de alimentação, parece-nos realista considerar para todo o sistema de alimentação, por majoração, 50 Ton.

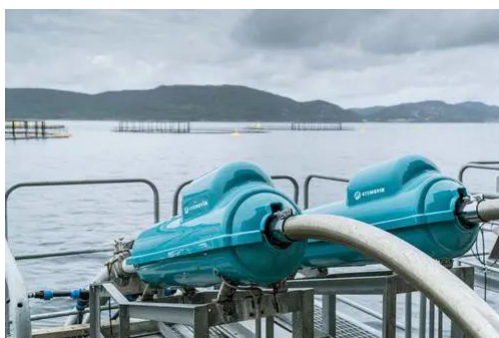


Fig. 5 – Unidades de expulsão de sistema de alimentação

Fonte: <https://www.agriexpo.online/pt/prod/steinsvik/product-174656-105257.html>



Fig. 6 – Sistema de alimentação (partes)

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/feed-systems/>

Cada elemento do sistema de alimentação offshore é projetado para reduzir o desperdício de ração, economizar energia, minimizar a manutenção e ter a segurança do operador.

Os modernos sistemas de alimentação, colocam os gestores da instalação aquícola e operadores de ração firmemente no controle, apoiados por um sistema de software que permite que cada instalação controle e personalize a forma como se alimentam, de acordo com planos individuais de alimentação.



Fig. 7 – Equipamentos do sistema de alimentação

a) Contentor de stocagem; b) Distribuidores de alimentação; c) Soprador de canal lateral
 Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/feed-systems/containerised-feed-system/>

De entre os vários sistemas de distribuição da ração, parece ser o “*subsea feeding*” (Fig. 8), aquele que mais vantagens reporta:

- *É um sistema de alimentação subaquático que alimenta peixes a uma profundidade de aproximadamente oito metros;*
- *Fácil de operar e manter - a ração é transportada para os viveiros de peixe offshore, por meio de uma mangueira de ar normal;*
- *Boa higiene - a água é adicionada, por meio de uma bomba que retira águas profundas de boa higiene, de forma a garantir a velocidade de alimentação necessária e passando por um tubo principal;*
- *Boa distribuição de ração - a ração é espalhada por meio de uma unidade de dispersão circular, de 17 metros de perímetro, com 12 unidades de alimentação, de modo que a ração seja espalhada nas estruturas de cultura offshore de forma satisfatória;*
- *Alimentação subaquática rápida e eficiente - a taxa de alimentação é de ≈ 50 kg de ração por minuto.*



Fig. 8 - Alimentação de ração subsea feeding

Fonte: <https://www.akvagroup.com/pen-based-aquaculture/feed-systems/subsea-feeding>

Para a determinação do nº de bocas de alimentação no sistema, tem de se calcular o tempo que cada estrutura de cultura offshore leva a ser alimentada.

O cálculo do tempo de alimentação em cada período (2 por dia), por estrutura de cultura offshore, depende do equipamento considerado, a título de exemplo consideram-se 2 situações com equipamentos distintos:

- ❖ Equipamento 1 - taxa de alimentação fixa de 50 Kg/min;
- ❖ Equipamento 2 - rendimento diferenciado:
 - *Juvenis - 3 min saco de 25 Kg*
 - *Adultos - 1 min saco de 25 Kg*

➤ *Equipamento 1 - taxa de alimentação fixa de 50 Kg/min:*

Segundo o fornecedor deste tipo de equipamento, este pode funcionar a um caudal de 50Kg/min, independentemente do tamanho dos pellets.



Fig. 9 – Alimentadores automáticos

Cada alimentador pode alimentar várias jaulas, sendo efetuado um programa para passar a alimentação dum as para outras.

Tabela 4 – Tempo de alimentação em cada período – Equipamento 1

Espécie - Dourada Sparus aurata (guilthead seabream)		Situação mais penalizadora - Fase Adulta			
		Unidades	2 000 Ton Px/Ano	4 000 Ton Px/Ano	
Rações	Diâmetro da ECO	m	28.6	28.6	50.0
	Nº de ECOs com Peixe	nº	8	16	6
	Ração por ECO e Período de Alimentação	kg/ECO*Período	459	459	1 202
	Velocidade de alimentação	Kg/min	50		
	Tempo de alimentação em cada período por ECO	min	9	9	24
	Tempo de alimentação em cada período para todo o Sistema	min	72	144	144

ECO - Estrutura de Cultura Offshore

➤ *Equipamento 2 - rendimento diferenciado:*

- *Juvenis - 3 min saco de 25 Kg*
- *Adultos - 1 min saco de 25 Kg*

Este equipamento é um clássico, em que o caudal depende do tamanho dos pellets.



Fig. 10 - Alimentador de aquacultura

A tabela 5 regista os resultados obtidos para esta situação.

Tabela 5 - Tempo de alimentação em cada período - Equipamento 2

		Espécie - Dourada Sparus aurata (guilthead seabream)		Situação mais penalizadora - Fase Adulta		
		Unidades	2 000 Ton Px/Ano	4 000 Ton Px/Ano		
		Diâmetro da ECO	m	28.6	28.6	50.0
		Nº de ECOs com Peixe	nº	8	16	6
Rações	Juvenis	Ração por Jaula e Período de Alimentação	kg/jaula*Período	150	150	392
		Velocidade de alimentação (1 saco 25 Kg - 3 minutos)	Kg/min	8.4		
		Tempo de alimentação em cada período por ECO	min	18	18	47
		Tempo de alimentação em cada período para todo o Sistema	min	140	280	280
	Adultos	Ração por Jaula e Período de Alimentação	kg/jaula*Período	459	459	1 202
		Velocidade de alimentação	Kg/min	25		
		Tempo de alimentação em cada período por ECO	min	18	18	48
		Tempo de alimentação em cada período para todo o Sistema	min	144	289	289

ECO - Estrutura de Cultura Offshore

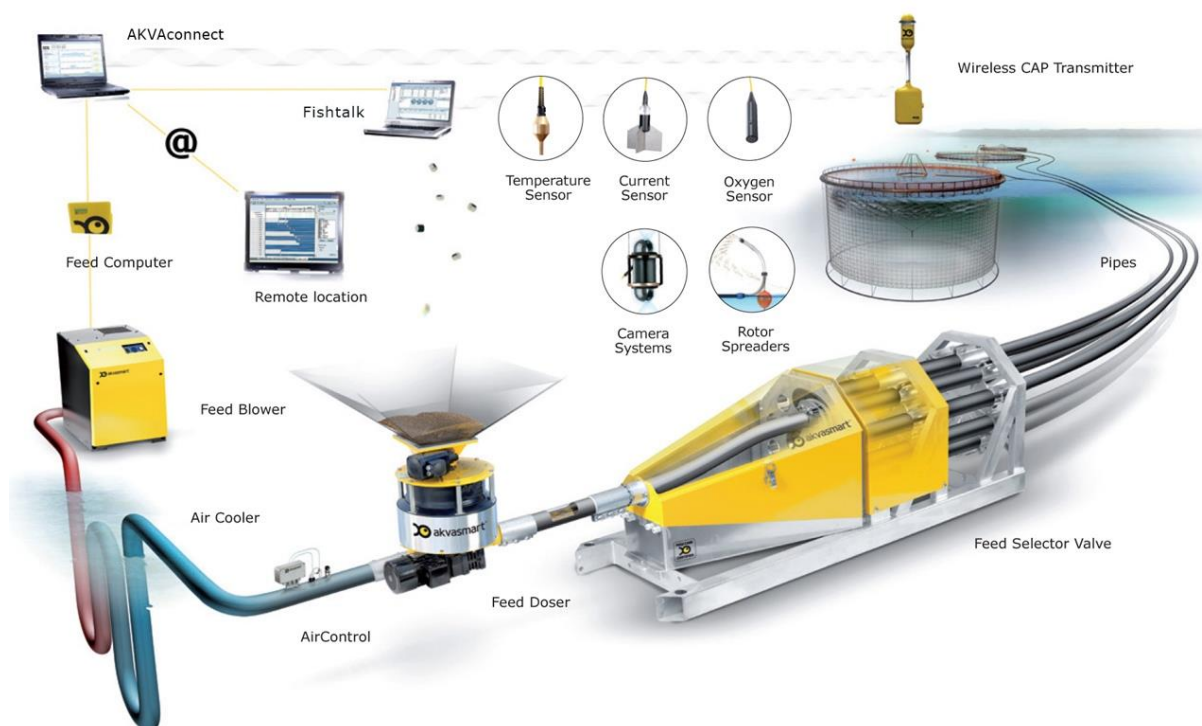


Fig. 11 – Sistema de alimentação completo

Fonte: <https://www.akvagroup.com/pen-based-aquaculture/feed-systems>

Qualquer sistema de alimentação automática, independentemente do fornecedor, trata a ração suavemente desde o silo até ao peixe. Está integrado com câmaras, sensores e sistemas de controlo remoto, e tem uma integração automática com sistemas de controlo de produção.

Todos os componentes são seleccionados para proporcionar uma manutenção fácil e longos intervalos de manutenção - com um custo mais baixo como resultado.

Consideremos por majoração que, os equipamentos necessários ao sistema de alimentação, incluindo os silos de armazenagem não vão além das 20 Ton.

3.1.3. Outros equipamentos associados à energia necessária ao sistema de alimentação

Neste âmbito, temos a considerar a produção de energia necessária ao sistema de alimentação, eventualmente com produção de hidrogénio.

As necessidades energéticas do sistema não estão ainda definidas, contudo pode considerar-se que o peso dos equipamentos necessários não ultrapassará as 30 Ton.

Neste contexto, ter-se-á a disponibilidade para **stock de ração de 400 Ton**, o que no **máximo corresponde a uma produção anual de 4 000 Ton Peixe**.

3.2 Amarração

A especificação, montagem, gestão e instalação de sistemas robustos que resistam em alguns dos ambientes marinhos mais extremos encontrados no Hemisfério Norte, é uma técnica que requer comprovada experiência no setor, pode mesmo dizer-se que se trata da parte mais tecnicamente específica a nível dos equipamentos - “O Sistema de Amarração”.

A instalação do Sistema de Amarração requer competências técnicas específicas e um elevado nível de especialização do pessoal contratado, o trabalho de instalação deve beneficiar da ajuda de empresas externas qualificadas de:

- ✓ engenharia marítima; e
- ✓ mergulho.

A fase de implementação do sistema de amarração, inclui o desenvolvimento de uma relação de trabalho com as autoridades (porto e/ou municipal) e a obtenção das autorizações necessárias (para a ocupação do espaço público, para a deslocação de cargas e para o reboque de alguns componentes do porto para o local da exploração).

Antes da implementação do sistema de amarração tem de ser delimitada a área concessionada com boias de navegação, que designam o perímetro da exploração de acordo com a licença. Uma boia de marcador é colocada em cada canto do local da exploração.

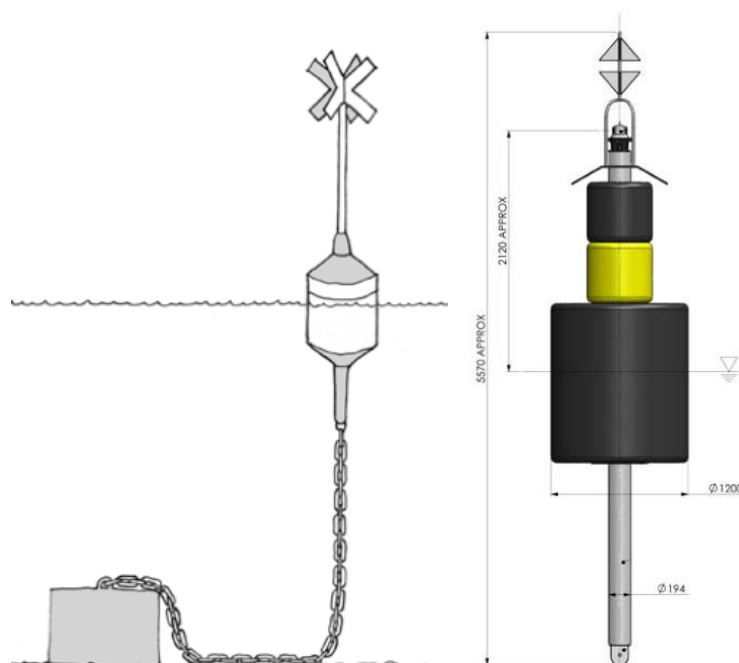


Fig. 12 - Boia de Navegação ou Sinalização
Esquema - Real

Fonte: FAO 593

As boias de navegação devem ser bem visíveis e equipadas com um dispositivo refletor de radar e lanterna marinha equipada com várias luzes de díodo emissor de luz (LED), que proporcionam luzes brilhantes com uma utilização mínima de energia; devem ser suficientemente brilhantes para serem vistos de longa distância, conforme exigido pelos regulamentos locais. Este tipo de lanternas geralmente tem painéis solares para recarregar as baterias e são relativamente livres de manutenção.

Os sistemas de amarração são escolhidos, de acordo com os requisitos específicos do local, tendo em conta:

- ❖ Estado do mar;
- ❖ Parâmetros climáticos;
- ❖ Análise detalhada das cargas máximas;
- ❖ Requisitos de desempenho.

Nesta situação, para além destes requisitos, há ainda a considerar a conjugação com a plataforma eólica e sua amarração.

O setor da aquicultura, é sinónimo de sistemas de ancoragem resilientes para estruturas de cultura offshore.



Fig. 13 – Linhas de amarração

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaquremoort/>

A nível Europeu e não só, existem fornecedor de amarrações, existindo, contudo, outros fornecedores também em estudo.

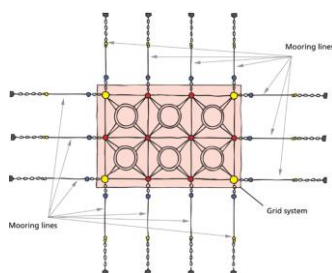


Fig. 14 - Sistema de linhas de amarração num módulo de seis estruturas de cultura offshore

Fonte: FAO 593

Um sistema de amarração offshore consiste basicamente em três partes:

- *Sistema de âncora;*
- *Linha de amarração; e*
- *Um layout específico de amarração.*

O layout do sistema de amarração depende das condições ambientais locais e da finalidade da unidade offshore.

3.2.1. Componentes de amarração

Um sistema de amarração é essencialmente constituído pelos seguintes componentes:

- ❖ Cabo de amarração;
- ❖ Âncora;
- ❖ Boias do sistema;
- ❖ Placa de manilha;
- ❖ Manilha;
- ❖ Laço de ligação;
- ❖ Anilhas de ligação flexíveis;
- ❖ Boias de sinalização com luzes.

3.2.1.1. Cabo de Amarração

O cabo de amarração deve especificamente compreender as seguintes propriedades:

- *elevada resistência a cargas cíclicas;*
- *baixo alongamento;*
- *elevada carga de rutura;*

O cabo é normalmente feito de polímeros estabilizados à ação dos UV, dotado de alta tenacidade, combinados para fornecer alta carga de rutura e alta resistência à abrasão; sendo que novos materiais se posicionam, com grande melhoramento de características, vindo baixar os custos das amarrações profundas, facilitar o passeio de cabos e amarrações em geral.



Fig. 15 – Cabo de Amarração

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqueline/>

Características:

- Cabo de fibra composta, de alta tenacidade e muito elevada resistência à rutura;
- Mais leve do que os cabos convencionais, de resistência à rutura equivalente, tornando-o mais fácil de manusear;
- Boa resistência à abrasão;
- UV estabilizado, prolongando a vida do cabo;
- Baixa ou nula absorção de humidade, sendo assim, mais fácil de manusear quando molhado.
- Baixo alongamento;
- Alto nível de carga de mil ciclos (TCLL), ideais para sistemas de amarração em rede, proporcionando maior vida útil.

Material do fio

que constitui os cabos e as redes, também aqui tem havido grandes desenvolvimentos e novos materiais têm aparecido:

- *lã, seda e fibras vegetais, materiais naturais, com usos ancestrais, mas que ainda hoje se utilizam;*
- *Nylon 6,6 - Poliamida (PA 6,6);*
- *Nylon 11 - Poliamida (PA 11);*
- *Poliéster (PES);*
- *Polipropileno (PP);*
- *Fios metálicos de aço e cobre;*
- *Polietileno de Alta Densidade (HDPE);*
- *Dyneema® - Polietileno de Alta Performance (HPPE ou UHMWPE);*
- *Spectra® - Polietileno de Alto Peso Molecular (HPPE ou HMPE);*
- *Fibras de poliéster e polipropileno podem ser trançadas juntas, criando cabos e redes com as características combinadas dos dois polímeros;*

Todos estes polímeros não são solúveis em água, têm boa resistência química e são, portanto, bem-adaptados para uso no meio marinho, proporcionando excelente

durabilidade e fiabilidade; todavia, alguns mais adequados que outros, consoante a realidade do local.

Também a realidade económica tem de ser tida em conta, uma vez que estes novos materiais são bastante mais caros.

3.2.1.2. Âncora

A âncora é o elemento responsável pela fixação do ponto de ancoragem onde é presa a linha de ancoragem para manter estacionária a unidade flutuante, sendo conveniente que o substrato não possua um declive superior a 3%.

Diferentes tipos de âncoras são apresentados na indústria offshore, sendo adequados para vários tipos de substrato de que se destaca as mais comuns:

- *Poita (Peso morto)*
- *Estaca escavada e cimentada;*
- *Âncora de arraste ou convencional (DEA - Drag Embedment Anchor);*
- *Estaca de Sucção;*
- *Estaca Torpedo;*
- *Âncora para carga vertical (VLA);*

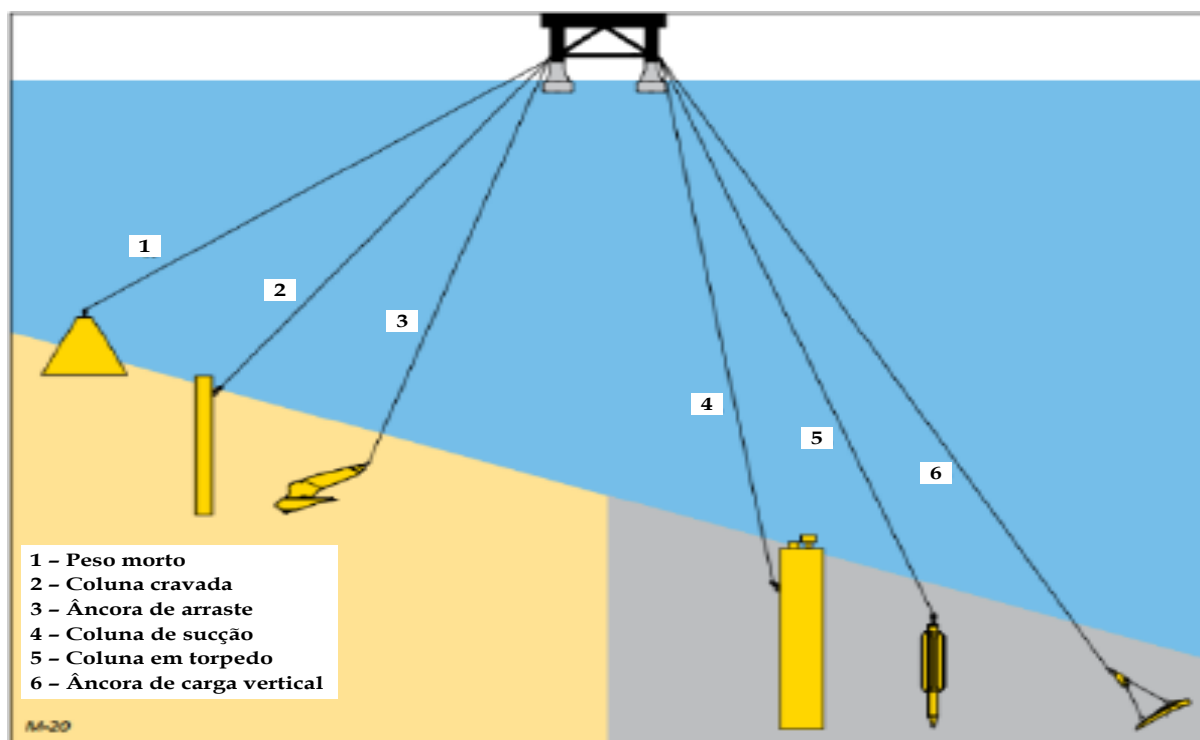


Fig. 16 - Tipos de Âncoras

3.2.1.2.1. Poita (Peso morto)

Alternativamente, ou em combinação com a âncora, os blocos de betão podem ser instalados. Como amarração, o peso do betão deve ser proporcional às forças de arrasto a que está sujeito. Estas âncoras podem variar em peso de várias centenas de quilogramas a 10-20 toneladas.

Em alguns casos, um bloco de betão pode incluir um furo para a inserção de uma cadeia de segurança para a elevação e manobra do bloco, e para uma segurança adicional na amarração. O anel de aço superior terá geralmente 30 a 40 mm de espessura, obtido por forjagem e galvanizado a quente, sendo submetido a uma abrasão pesada pelo atrito contínuo da amarração. Se o anel falhar, a corrente de segurança ainda pode manter a amarração no lugar.



Fig. 17 – Poita e seu processo de fabrico

Fonte: FAO 593

A forma do bloco de betão também é importante. Um perfil de cimento armado mais amplo é sempre preferível a uma forma mais estreita, para melhorar a adesão ao fundo do mar. Se o bloco tiver um fundo convexo, aumentará a potência adesiva para o leito do mar criando um efeito de sucção, particularmente em areia macia ou substratos enlameados.

3.2.1.2.2. Estaca escavada e cimentada (Grouted Pile)

Diferentes perfis de aço podem ser usados como estacas de ancoragem cravadas. Essas estacas de ancoragem absorvem as forças de tração através do atrito. As estacas de ancoragem cravadas são usadas especialmente na construção de paredes de cais, nas quais ocorrem grandes forças de tração, com galvanização a quente para melhor resistência à corrosão.

Ancoragem segura de alta resistência à tração, tem uma tecnologia bem consolidada e confiável, mas, geralmente não é utilizada, pelo alto custo da unidade de perfuração.

3.2.1.2.3. Âncora de Arraste ou Convencional (DEA – Drag Embedment Anchor)

Âncoras multiusos utilizadas para fundos arenosos ou enlameados – âncoras de arado.

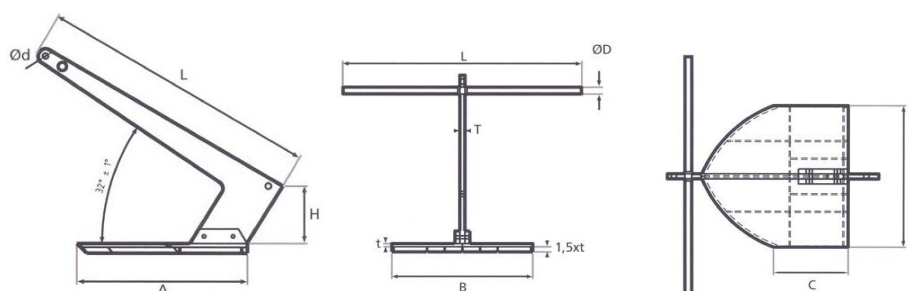


Fig. 18 – Esquema de âncora de arado simples

Fonte: FAO 593

Existe um projeto de âncora de haste dupla e ponta dupla (Gael Force), que resulta numa construção mais leve e resistente para um determinado poder de retenção com menor movimentação e menores custos de transporte. Tem uma ação de configuração mais rápida, reduzindo os impactos no fundo do mar e pode girar e reiniciar sob carga.

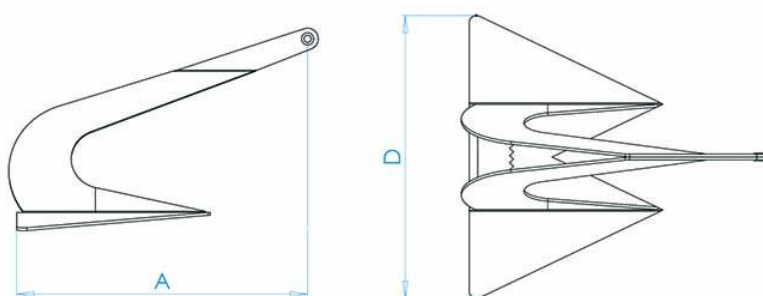


Fig. 19 – Esquema da âncora SeaCureHold da Gael Force

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaquirehold/>



Fig. 20 - Tipos de Âncoras de "Arado"

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaquirehold/> (modificado)

Características:

- Mais de duas vezes o poder de sustentação das âncoras convencionais usadas na aquicultura para qualquer peso;
- Melhora a força de retenção em solo macio (arenoso como no nosso local);
- Pesos mais baixos para a força de retenção oferecem menores custos de manutenção, devido aos menores guindastes usados na implantação;
- Melhoria nos custos de transporte e logística devido aos pesos mais baixos;
- Configuração muito rápida, proporcionando maior precisão posicional e reduzindo os impactos no fundo do mar;
- Girar e redefinir posição, sob carregamento, fora do centro;
- O dimensionamento adequado das manilhas da âncora pode ser especificado com base na força de retenção, não nas dimensões da haste;
- Ângulos da pata, alternativos, podem ser fornecidos consoante as características dos substratos, nomeadamente os supermacios.

3.2.1.2.4. Ancora para carga vertical (VLA - Vertical Load Anchor)

São cravadas através do arraste no solo marinho.

Estas âncoras podem ter a forma parecida com uma arraia ou de uma enxada, devido ao formato penetram em torno de 25 a 20 metros no solo marinho, aumentando a resistência à carga vertical. São mais caras do que as convencionais, por haver menos concorrência no mercado.

É difícil a remoção após instalada, o que contraindicada para projetos de curta duração. Os procedimentos de arraste podem impedir o seu posicionamento correto, principalmente em áreas congestionadas por muitas plataformas, além de necessitarem de embarcações de alto custo para auxiliar o processo de instalação.

3.2.1.2.5. Estaca Torpedo

A estaca tem a forma dum torpedo.



Fig. 21 - Estaca Torpedo

Fonte: <https://slideplayer.com.br/slide/335349/1/images/16/Estaca+Torpedo.jpg>

Estaca cilíndrica sólida, com ponta cônica fechada que é cravada no solo por gravidade após lançamento de altura calculada. Em geral, o seu comprimento é cerca de 10 vezes o diâmetro. A presença das aletas proporciona maior área de contacto da estaca com o solo, aumentando a resistência, tanto lateral quanto axial.

Vantagens:

Permite que cargas horizontais e verticais possam ser aplicadas. É a melhor alternativa para plataformas semi-submersíveis. O custo de instalação desta estaca apresenta baixa sensibilidade ao aumento da lâmina d'água, viabilizando economicamente a sua aplicação em águas profundas. Necessita-se somente de um rebocador para realizar o transporte e lançamento.

3.2.1.2.6. Estaca de Sucção

Estacas de sucção são utilizadas em sistemas em que as linhas são mantidas tensionadas, como por exemplo, em semi-submersíveis taut-leg e TLPs.

É uma estaca com forma de um cilindro oco, medindo 12 a 15 m de altura, por cerca de 5 m de diâmetro, com uma extremidade fechada e outra aberta. As estacas de sucção são inicialmente posicionadas por gravidade e depois um sistema de bombas retira toda a água de dentro da estaca, cravando-a através de um diferencial de pressão.



Fig. 22 - Estaca de Sucção

Fonte: Kochem 2016

3.2.1.3. Boias do sistema

Boias com estabilidade aprimorada e com flutuabilidade crescente quando sob carga.

Normalmente feitas de polietileno roto moldado, estabilizado aos raios ultravioleta com uma espessura de parede extrapesada de cerca de 8 mm e preenchido com espuma de poliestireno expandido, para serviços pesados também têm uma corrente de elevação pré-tensionada de alta resistência pré-instalada.

Estas boias são utilizadas para levantar o ponto de ligação entre a corrente e a corda na linha de amarração para evitar a abrasão da linha quando entra em contacto com o leito do mar.

Estas boias também podem ser usadas como marcadores de âncora na extremidade da linha.



Fig. 23 – Boias do Sistema de Amarração

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaquirebuoy/>

Características:

- Em forma de pera para melhorar a estabilidade na água e aumentar progressivamente a flutuabilidade sob carga;
- Em polietileno de baixa densidade roto moldado;
- Espessura de parede pesada, concha de polietileno de cerca de 8 mm;
- Preenchido com espuma de poliestireno expandido não absorvente de água;
- Corrente graduada, de alta resistência, projetada para a elevação segura da grade sob tensão para inspeção;
- Moldado de forma a acomodar luzes de marcação ou faróis;
- A capacidade de personalizar qualquer suporte de fixação de aço;
- Padrão de 3 metros de corrente com elo mestre, eliminando a necessidade de qualquer articulação ou manilha abaixo da boia, reduzindo os custos de manutenção e os riscos de falha das manilhas.

3.2.1.4. Placa de manilha

O nó de conexão da rede de ancoragem é projetado tendo em conta a caracterização do sistema de ancoragem específico para o sistema de aquacultura considerado.

O nó de conexão de ancoragem deve ter alta resistência, ser livre de manutenção ao longo de ciclos de vida muito longos, não suscetível à flexão que induz à fadiga e sem peças móveis.



Fig. 24 - Placa de manilha

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaquirelink/>

Características:

- Nó de conexão de super alta resistência testado para as exigências do sistema;
- Nenhuma conexão de metal com metal, reduzindo drasticamente qualquer manutenção futura;
- O lastro inerente do sistema evite que a grade flutue para cima e, portanto, minimiza a chance de os cabos serem cortados por hélices;
- Sólido, estável e rígido, operando ao corte, para capacidades de carga conhecidas;
- Sem flexão que induz à fadiga;
- Não sofrer com a entrada de sal nos filamentos de fibra;
- Obtida por forjagem, tratada termicamente, galvanizada e revestida com epóxi;
- Reduza o requisito de flutuabilidade em comparação com as placas de manilha.

3.2.1.5. Manilha

As manilhas podem ser bloqueadas com um dos seguintes sistemas principais:

- *pino de Clevis e rosca de parafuso, onde o pino é bloqueado com um fio, ou soldado fechado para evitar que a porca se descontraia (Fig. 25a e Fig. 26);*
- *pino redondo sem rosca, mas com um pino de berço (Fig. 25b);*
- *parafuso e porca + pino de berço, para evitar o afrouxamento da porca (Fig. 25c).*

Os pinos de berço em aço inoxidável são fortemente recomendados.

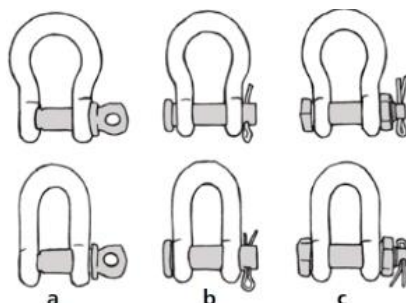


Fig. 25 - Diversos troços de fecho das manilhas
a - Manilha com troço com rosca de parafuso ; b - Manilha sem rosca e pino berço ; c - Manilha com parafuso, porca e pino berço

Fonte: FAO 593

O segundo sistema de bloqueio descrito acima é o menos preferido para as ligações de amarração, uma vez que o pino-berço pode corroer como resultado da corrente galvânica gerada no sistema.



Fig. 26 - Manilha com troço trancado com um fio
Fonte: FAO 593

Manilha com rosca interna, é presa com uma porca e inclui um pino de retenção de metal para maior resistência e segurança.



Fig. 27 - Manilha

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/mooring-components/>

3.2.1.6. Laço de ligação

Projetado para se conectar à ligação ou fazer parte do sistema de retenção. Um conector redondo de fibra de poliéster sem fim, especialmente construído, completo

com mangas duplas de desgaste reforçadas em cada coroa



Fig. 28 - Laço de Ligação

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/mooring-components/>

3.2.1.7. Anilhas de ligação flexíveis

Uma ligação flexível usando corrente galvanizada de alta resistência. O link principal de cerca de 28 mm é instalado para permitir conexão de corda ou fibra.

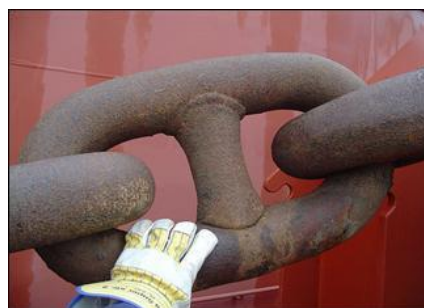


Fig. 29 - Amarra utilizada para ancoragem de sistema offshore

Fonte: <https://www.gov.br/acessoinformacao/pt-br/@@search?SearchableText=Arranjo+Geral+%28Sistemas+de+Fundeio%29>

3.2.1.8. Boias de sinalização com luzes

Boias de navegação para marcação segura de locais de aquicultura e luzes de marcação para visibilidade do tráfego marítimo.

Normalmente, são os primeiros componentes a ser instalados, definindo o perímetro da exploração de acordo com a licença. Uma boia de marcação é colocada em cada canto do perímetro.



Fig. 30 - Boia de sinalização

Fonte: <https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/mooring-components/>

Características técnicas

Vastas gamas de boias de navegação estão disponíveis no mercado, incluindo aço galvanizado e polietileno rotomoldado. Uma lista genérica de componentes de um sistema de boia de navegação inclui:

- **Blocos de betão:** É utilizada uma âncora para cada boia, com um peso adequado à boia, dependendo da flutuabilidade e das características do local, equipada com pelo menos um anel de aço de 18 mm para fixação;
- **Corrente de ligação:** A corrente liga o bloco de betão à boia e deve ter um comprimento 1,5 vezes a profundidade do local e um diâmetro adequado ao tamanho da boia;
- **Manilhas:** São necessárias duas manilhas para cada boia; uma para ligar a corrente ao bloco de betão, e outra para ligar a corrente à boia;
- **Movimento Giratório:** A boia deve estar livre para rodar em torno do seu próprio eixo;
- **Boia de navegação:** A boia deve ser bem visível e equipada com um dispositivo refletor de radar e lanterna marinha.

As lanternas marinhas modernas estão equipadas com várias luzes de diodo emissor de luz (LED), que proporcionam luzes brilhantes com uma utilização mínima de energia.

Devem ser suficientemente brilhantes para serem vistas de longa distância, conforme exigido pelos regulamentos locais. Este tipo de lanternas geralmente tem painéis solares para recarregar as baterias e são relativamente livres de manutenção.

As boias de navegação são geralmente amarelas, mas algumas regiões requerem boias cardeais especiais em que cada boia tem uma sequência de cores diferente para ser reconhecida de forma estivada.

3.2.2. Tipos de amarração

Pode considerar-se que existem seis tipos de layout de amarração mais importantes:

- *Amarração em Catenária*
Catenary moorings
- *Amarração em Taut Leg*
Taut Leg moorings

- Amarração em Tension Leg (TL)
Tension Leg (TL) mooring
- Amarração de Ponto Único
Single point mooring
- Amarração de Extensão
Spread mooring
- Posicionamento Dinâmico
Dynamic positioning

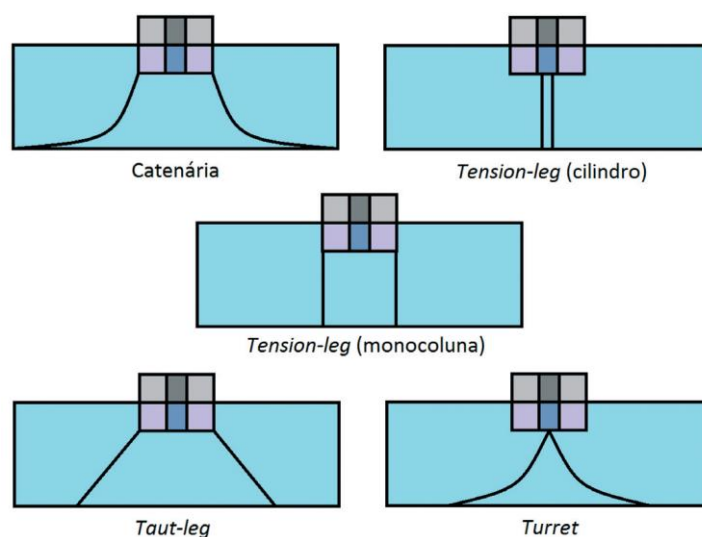


Fig. 31 - Tipos de amarração
Fonte: Vieira 2012

3.2.2.1. Amarração em Catenária (Catenary moorings)

É a amarração mais comum em águas rasas. Através da gravidade, as catenárias, entre a unidade flutuante e o fundo do mar, apresentam a forma típica de uma linha de suspensão livre.

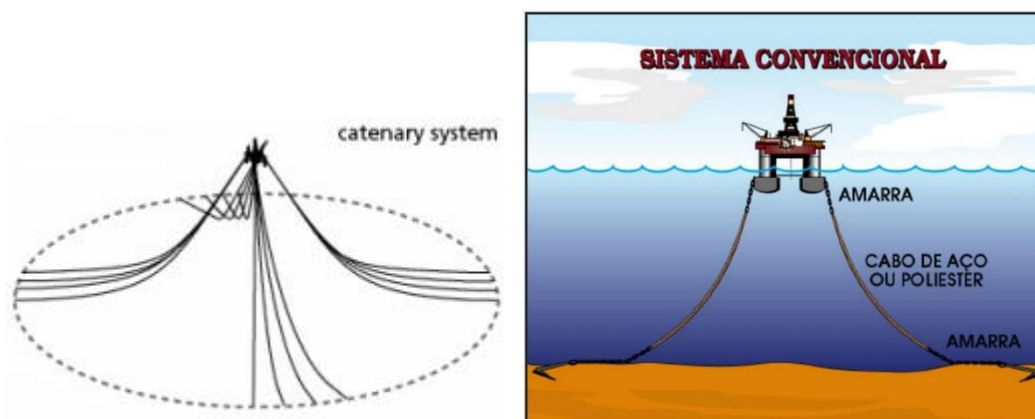


Fig. 32 - Amarração em Catenária
Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

As catenárias estão pendentes horizontalmente no fundo do mar.

Conseqüentemente, os comprimentos da catenária têm que ser maiores do que a profundidade da água e os pontos de ancoragem num sistema de amarração da catenária estão sujeitos a forças horizontais. A configuração da catenária fornece uma força restauradora nos movimentos da estrutura de cultura offshore, principalmente por meio do peso das catenárias.

Quando as linhas de ancoragem se apresentam sob a configuração de catenária livre, elas transmitem ao sistema de fundação somente esforços horizontais, isto deve-se ao facto de que o próprio atrito do trecho de linha encostado ao fundo, fornece as forças de restauração responsáveis por absorver as solicitações do carregamento ambiental. Este tipo de ancoragem possui um raio de ancoragem bastante elevado, cerca de três vezes a lâmina d'água, o que acarreta problemas em relação ao congestionamento de linhas em equipamentos próximos e interfere diretamente no arranjo dos equipamentos submarinos. Com o aumento da profundidade na exploração e produção há a necessidade de guinchos mais potentes, devido ao aumento do peso nas linhas, tornando a ancoragem em catenária inviável para lâmina d'água profunda.

Na ancoragem tradicional, em catenária, a âncora deve resistir apenas às cargas horizontais onde o mais comum é a utilização de âncoras de arraste que são fáceis de instalar, porém necessitam de um grande trecho de linha apoiado no fundo para garantir exatamente que não sofrerão cargas verticais.

3.2.2.2. Amarração em *Taut Leg* (*Taut Leg moorings*)

Num sistema de amarração de perna esticada, os cabos de amarração pré-tensionados chegam ao fundo do mar.

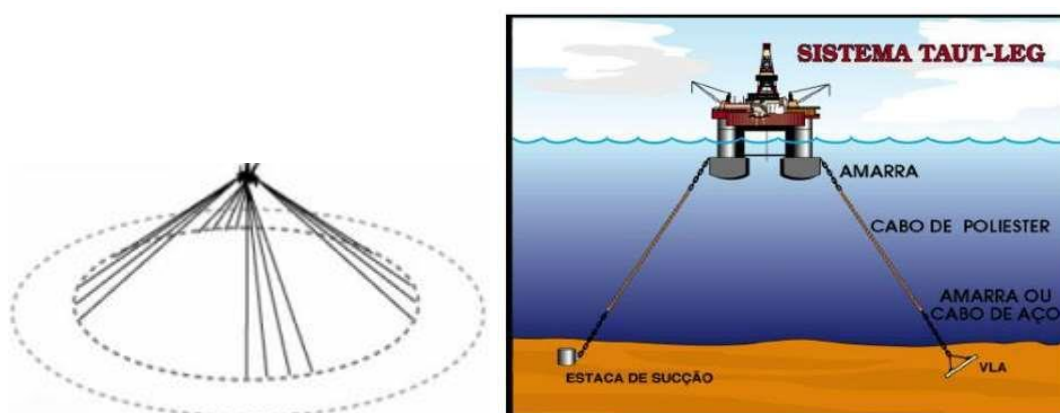


Fig. 33 - Amarração em *Taut Leg* "Taut-Leg"

Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html> ; Fonte: Albrecht 2005

Para contornar as desvantagens do sistema em catenária utiliza-se a ancoragem em *Taut-Leg*. Neste sistema, as linhas encontram-se retesadas, formando um ângulo de topo de aproximadamente 40° a 45° com a vertical, tendo assim uma projeção horizontal menor, para uma mesma ordem de grandeza da lâmina d'água. Este tipo de ancoragem proporciona maior rigidez ao sistema, sendo o passeio do equipamento limitado a offsets menores (deslocamentos menores no plano horizontal). Neste caso, as âncoras a serem utilizadas precisam resistir a valores elevados de cargas verticais, sendo as mais utilizadas, as estacas torpedo, as âncoras de sucção e as âncoras de placa. A ancoragem *Taut-Leg* é geralmente utilizada em sistemas localizados em regiões de grandes profundidades.

As linhas da ancoragem *Taut-Leg* são constituídas nas suas extremidades por cabos de aço ou amarras e no seu trecho intermédio por cabos de poliéster. A adoção desse sistema resulta numa diminuição de custos com linhas de ancoragem, pois requer comprimentos menores, e podem ser instalados com maior facilidade em áreas congestionadas (Seckler 2011).

Os pontos de ancoragem num sistema de amarração de perna esticada devem ser capazes de suportar forças horizontais e verticais. Numa amarração de perna esticada, as forças restauradoras são geradas pela elasticidade do cabo de amarração.

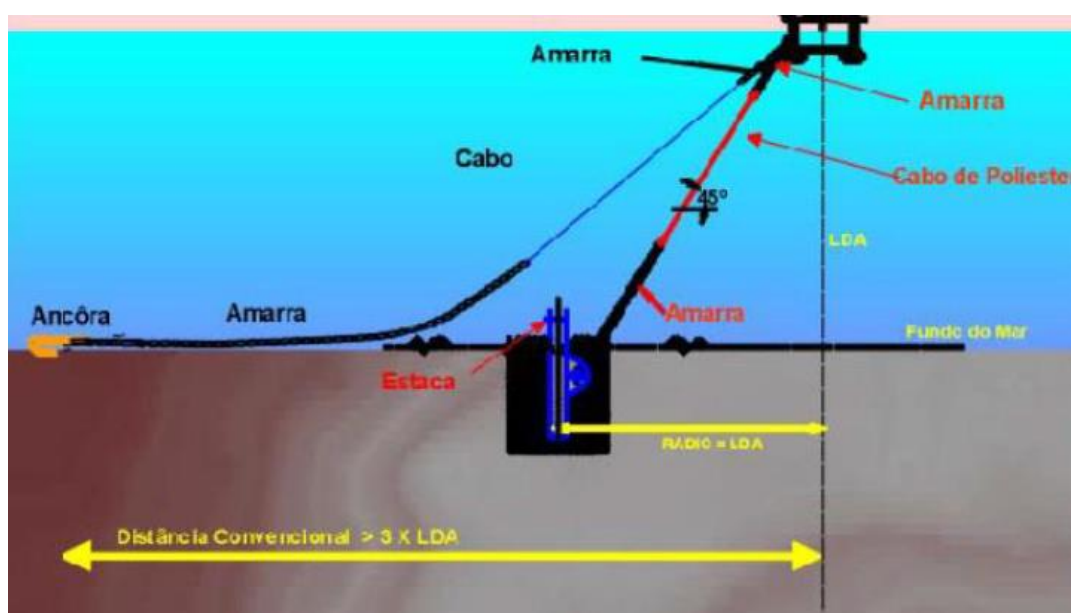


Fig. 34 - Amarração em catenária vs taut-leg
Fonte: Albrecht 2005

3.2.2.3. Amarração em Tension Leg (*Tension Leg (TL) mooring*)

Como o nome sistema de amarração em 'Tension Leg' sugere, o sistema consiste em colunas de aço tubulares.

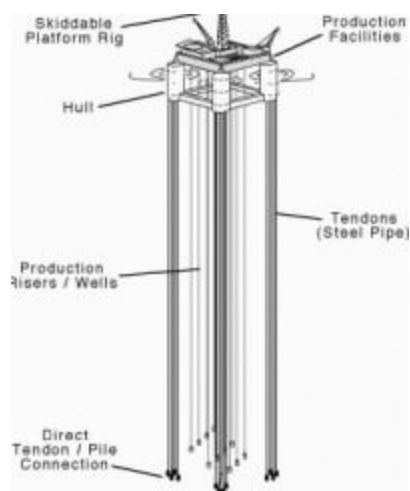


Fig. 35 - Amarração em "Tension Leg"

Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

As colunas consistem em vários tubos de aço chamados tensores.

O tensionamento das colunas de aço é feito por fluabilidade na unidade flutuante offshore. A alta tensão nos tubos de tensão limita os deslocamentos horizontais a uma pequena percentagem da profundidade da água.

Devido à alta rigidez axial nos tensores, os movimentos de levantamento, rotação e inclinação são desprezíveis.

3.2.2.4. Amarração de Ponto Único (*Single point mooring*)

A ancoragem em ponto único (SPM) é caracterizada por concentrar todas as linhas numa única posição na embarcação. Este sistema é utilizado principalmente em unidades FSO (*Floating Storage and Offloading Units*) ou em navios petroleiros convertidos em unidades FPSO (*Floating Production Storage and Offloading Units*).

Este sistema de ancoragem permite que a embarcação gire livremente ao redor das linhas, alinhando-se com os carregamentos ambientais predominantes, reduzindo dessa forma os esforços atuantes no casco (Corrêa 2003).

Existem alguns tipos de ancoragem SPM:

- *Ancoragem com Turret;*
- *Sistema CALM (Catenary Anchor Leg Mooring);*
- *Sistema SALM (Single Anchor Leg Mooring);*

Sistema de boia

Um sistema de boia de ponto único consiste numa boia ancorada permanentemente.

A boia possui um sistema que permite que uma parte dela gire em torno da parte geostática ancorada.

Quando a unidade offshore estiver conectada à boia, ela será capaz de girar para o ambiente dominante. Consequentemente, o sistema minimizará as cargas no sistema de amarração da boia.

O sistema de amarração também pode ser combinado com um sistema de transferência de fluido que permite a conexão de dutos (submarinos) à unidade offshore. A boia e a unidade offshore podem ser conectadas de diferentes maneiras. Os mais comuns são amarras, braço rígido ou canga macia.

Sistema de Torre

O sistema de amarração de torre de ponto único consiste num conjunto de torre que é integrado a uma embarcação e permanentemente fixado ao fundo do mar por meio de um sistema de amarração.

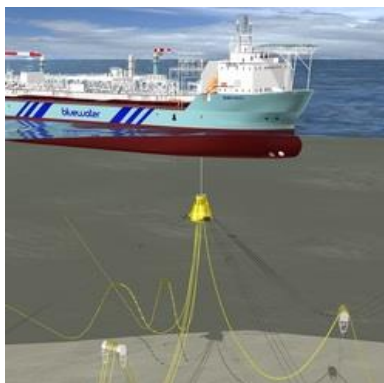


Fig. 36 - Amarração de Ponto Único – Sistema de Torre
Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

O sistema de torre contém um sistema de mancal que permite que a embarcação gire em torno da parte geostática fixa da torre, que está presa ao sistema de amarração.

Ao sistema, podem ser ligados outros equipamentos flutuantes.

O sistema de amarração da torre pode ser localizado externo e interno na unidade flutuante.

3.2.2.5. Amarração de Extensão (SM - Spread Mooring)

Os sistemas de amarração de extensão são sistemas de amarração de vários pontos que amarram unidades offshore ao fundo do mar usando várias linhas de amarração.

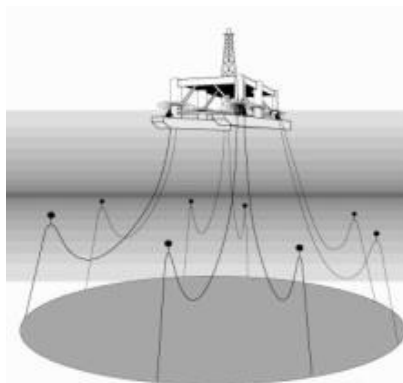


Fig. 37 - Amarração de Extensão

Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

A unidade offshore está posicionada num rumo fixo, que é determinado pelas condições do mar e do clima. O arranjo simétrico das âncoras ajuda a manter a unidade offshore na sua localização de direção fixa. O sistema de amarração de propagação não permite que a embarcação gire no plano horizontal devido ao vento, ondas ou correnteza.

A amarração de extensão é versátil, pois pode ser usada em qualquer profundidade de água, em qualquer embarcação, num padrão de distribuição igual ou em grupo.

3.2.2.6. Posicionamento Dinâmico (DP - Dynamic Positioning)

O Posicionamento Dinâmico não usa cabos de amarração.



Fig. 38 - Posicionamento Dinâmico

Fonte: <http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

Em vez disso, um computador controla os propulsores e hélices da estrutura de cultura offshore para manter a posição. Sensores de referência de posição, combinados com sensores de vento, sensores de movimento e bússolas giroscópicas, fornecem informações ao computador relativas à posição da estrutura de cultura offshore e à magnitude e direção das forças ambientais que afetam sua posição. O Posicionamento Dinâmico pode ser usado em combinação com outros sistemas de amarração para fornecer redundância adicional.

3.2.3. Soluções de amarração mais adequadas ao local

Temos uma situação em que a profundidade do local é de ≈ 70 m.

A solução de amarração mais adequada ao local depende de alguns fatores:

- **Estado do mar**

As conclusões que apresentamos foram alcançadas com base nos dados apresentados pela ARDITI e trabalhados na Parte 2 – Adenda.

Ondas

Altura máxima - valor máximo observado - 5.9 m;

Superiores a 4 m (entre 4 e 5.9 m) - 1.5% do total de observações anuais;

86.9% das observações das ondas, não ultrapassam os 2 m;

Segundo o IPMA, esporadicamente poderão aparecer ondas de 10 m.

Direção das ondas - é fundamentalmente de:

- Nordeste30.3 %
- Oeste.....28.6 %
- Noroeste.....19.3 %

Sendo inexpressivas as direções Este, Sudeste e Sul.

Frequência das Ondas - não ultrapassa os 0.3781 hertz;

A Frequência das Ondas nos quatro anos analisados varia entre 0.1237 Hz e 0.3781 Hz;

A frequência superior a 0,377 Hertz tem uma incidência de observações de 6.8 %.

Correntes

Velocidade - a Corrente média à superfície (0 m) é de 0,0968 m/s, variando entre 0.05 m/s e 0.48 m/s, sendo predominantemente de Sul para Norte (34.7 %)

A Corrente média em profundidade de 60 m é de 0,158 m/s, sendo predominantemente de Sul para Norte (22.4 %)

Direção da Corrente - é fundamentalmente:

	<u>0 m</u>	<u>60 m</u>
• Norte.....	34.7 %	22.4 %
• Este.....		17.9 %
• Oeste.....	22.9 %	17.7 %
• Noroeste.....	21.4 %	16.3 %

- **Parâmetros climáticos (a temperatura do ar, a humidade relativa, a precipitação, velocidade e direção do vento, a radiação solar e radiação de onda longa)**

Estão de alguma forma definidos, não fazendo parte desta rúbrica a sua caracterização;

- **Análise detalhada das cargas máximas**

Está determinada para as capacidades de produção consideradas, todavia ainda não se considerou a adoção de uma delas e também não se definiu a dimensão das estruturas de cultura offshore (ECO), pode considerar-se o tema estudado e dominado, mas não definido.

Foram considerados 2 cenários de produção piscícola:

2000 Ton/ano e 4000 Ton/ano

Aos quais correspondem um stock máximo de ração (para 21 dias), respetivamente 196 Ton (444 583 m³) e 391 Ton (889 166 m³).

- **Requisitos de desempenho**

Este ponto dependente das condições anteriores. Considerarem-se 2 cenários, ambos já definidos e há que definir o Ø das ECO, para que se possa ir mais além neste trabalho;

- **Conjugação com a plataforma eólica e sua amarração**

Desconhece-se qual o tipo de amarração da plataforma eólica logo não se pode definir possíveis conjugações.

Dadas as condições oceanográficas, podemos utilizar qualquer tipo de ECO, nomeadamente as de superfície, que são simultaneamente as de menor investimento e menores custos de produção.

Nestas condições, não é possível identificar a solução de amarração mais adequada ao local, embora já se possa ter uma ideia, nomeadamente tendo em atenção a profundidade do local de 70 m.

Estamos assim em condições de iniciar o diálogo com os fornecedores, por forma a obtermos elementos que nos permitam fazer os estudos de viabilidade técnico-económica.

3.3 Referências Bibliográficas

3.3.1. Bibliografia

Albrecht, C.H. (2005), *Algoritmos Evolutivos aplicados à Síntese e Otimização de Sistemas de Ancoragem*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Corrêa, F.N., (2003). *Aplicação de Metodologias Híbridas em Estudos Paramétricos sobre o Comportamento de Sistemas Offshore*, Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Kochem, R.M., (2016). *Estudo de Diferentes Concepções de Sistemas de Ancoragem em lâmina de Água Profunda*, Dissertação de Mestrado, CPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

Seckler, C. S., (2011). *Metodologia Baseada em Inspeção e Retro análise para Verificação e Ajustes de Sistemas de Ancoragem de Unidades Flutuantes de Produção Offshore*. Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2011

Vieira, D.P., Orsolini, A.L.B., Fajarra, A.L.C. (2012). *Plataforma monocoluna geradora de energia limpa*. Boletim Técnico da Petrobras, Rio de Janeiro, v. 55, n. 1, p. 97-110, jan./abr. 2012.

3.3.2. Links Internet

<https://www.gaelforceaquaculture.com/feed-systems/>

<https://www.agriexpo.online/pt/prod/steinsvik/product-174656-105257.html>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/feed-systems/containerised-feed-system/>

<https://www.akvagroup.com/pen-based-aquaculture/feed-systems/subsea-feeding>

<https://www.akvagroup.com/pen-based-aquaculture/feed-systems>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqure Moor/>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqureline/>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqurehold/>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqurehold/> (modificado)

<https://slideplayer.com.br/slide/335349/1/images/16/Estaca+Torpedo.jpg>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqurebuoy/>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/seaqurelink/>

<https://www.gaelforceaquaculture.com/mooring-systems/mooring-components/>

<https://www.gov.br/acessoainformacao/pt:br/@@search?SearchableText=Arranjo+Geral+%28Sistemas+de+Fundeio%29>

<http://abc-moorings.weebly.com/mooring-systems.html>

ATIVIDADE 3.5

ANÁLISE DO DESIGN DO PROJETO

Maio 2021



Índice

1	Introdução.....	3
2	Metodologia.....	3
2.1	Suposições.....	3
3	Cenários	4
3.1	Cenário 1	4
3.2	Cenário 2	5
3.3	Cenário 3	6
4	Discussão.....	7

Índice de Figuras

Figura 1 - Cenário 1 - Jaulas de Aquacultura em órbita à plataforma flutuante	4
Figura 2 - Cenário 2 - Jaulas de Aquacultura no interior da plataforma flutuante.....	5
Figura 3 - Cenário 3 - Jaulas de Aquacultura conectadas à coluna 1 e 2 da plataforma flutuante.....	6

1 Introdução

O projeto OIPS considera a implementação de duas indústrias diferentes, como eólica offshore flutuante e aquicultura, o que significa que ambas as atividades têm que desenvolver de forma eficiente sua função no sistema causando o menor impacto possível na outra.

Para desenvolver este sistema, foi desenvolvida a análise de desenho do projeto onde ambos os sistemas são deslocados. O deslocamento considera a etapa conceitual do projeto, mostrando os possíveis limites do sistema.

2 Metodologia

Para desenvolver estas atividades foi usado o software de desenho AutoCAD Inventor, recorrendo ao design da plataforma facultado pela empresa parceira que detém a patente Hexicon.

2.1 Suposições

Este estudo assume condições ideais para ambos os sistemas, considerando que as tecnologias de hidrodinâmica e aerodinâmica têm um impacto limitado uma sobre a outra. A seguir, pressupostos para cada tecnologia.

- Sistema Multi-Turbina
- Sistema cata-vento

3 Cenários

3.1 Cenário 1

O cenário mostrado na Figura 1 considera jaulas de aquicultura em “órbita” à plataforma eólica flutuante offshore. Como mostra a Figura, 4 plataformas orbitam a estrutura flutuante, podendo ser adicionadas jaulas adicionais caso seja necessário.

A distância entre as jaulas e a plataforma será definida dependendo das condições locais. Deve-se considerar o efeito cata-vento da plataforma eólica offshore, pelo que as jaulas devem estar localizadas a uma distância prudencial para não interferir neste movimento.



Figura 1 - Cenário 1 - Jaulas de Aquicultura em órbita à plataforma flutuante

3.2 Cenário 2

Neste cenário prevê-se colocar as jaulas de aquacultura no interior da plataforma aproveitando a área interna da plataforma, conforme mostra a Figura 2.

Nos próximos estudos serão analisados várias opções relativas à profundidade das jaulas, sendo que pelo menos serão considerados dos níveis:

- Linha subaquática
- Linha superficial (flutuante)

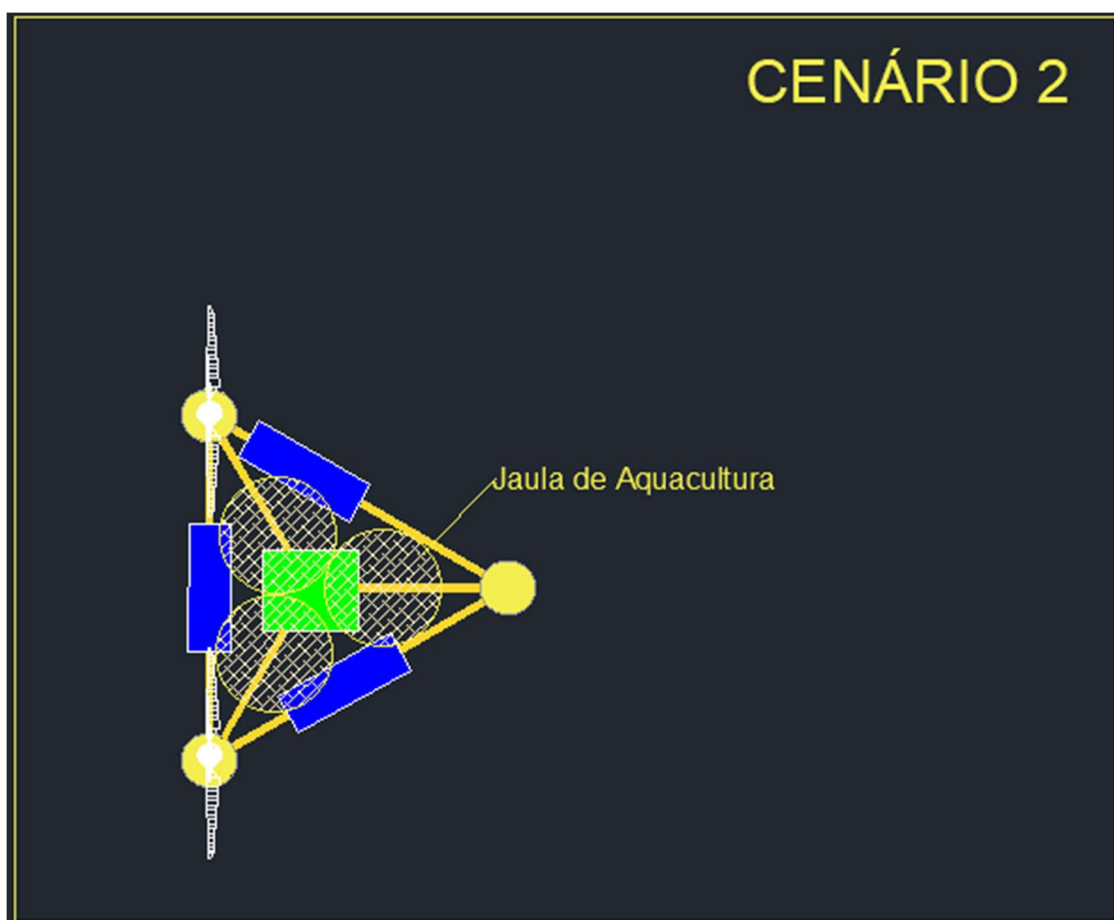


Figura 2 - Cenário 2 - Jaulas de Aquacultura no interior da plataforma flutuante

3.3 Cenário 3

Com este cenário as jaulas de aquacultura serão conectadas às colunas 1 e 2 da plataforma flutuante acompanhando o movimento cata-vento previsto.

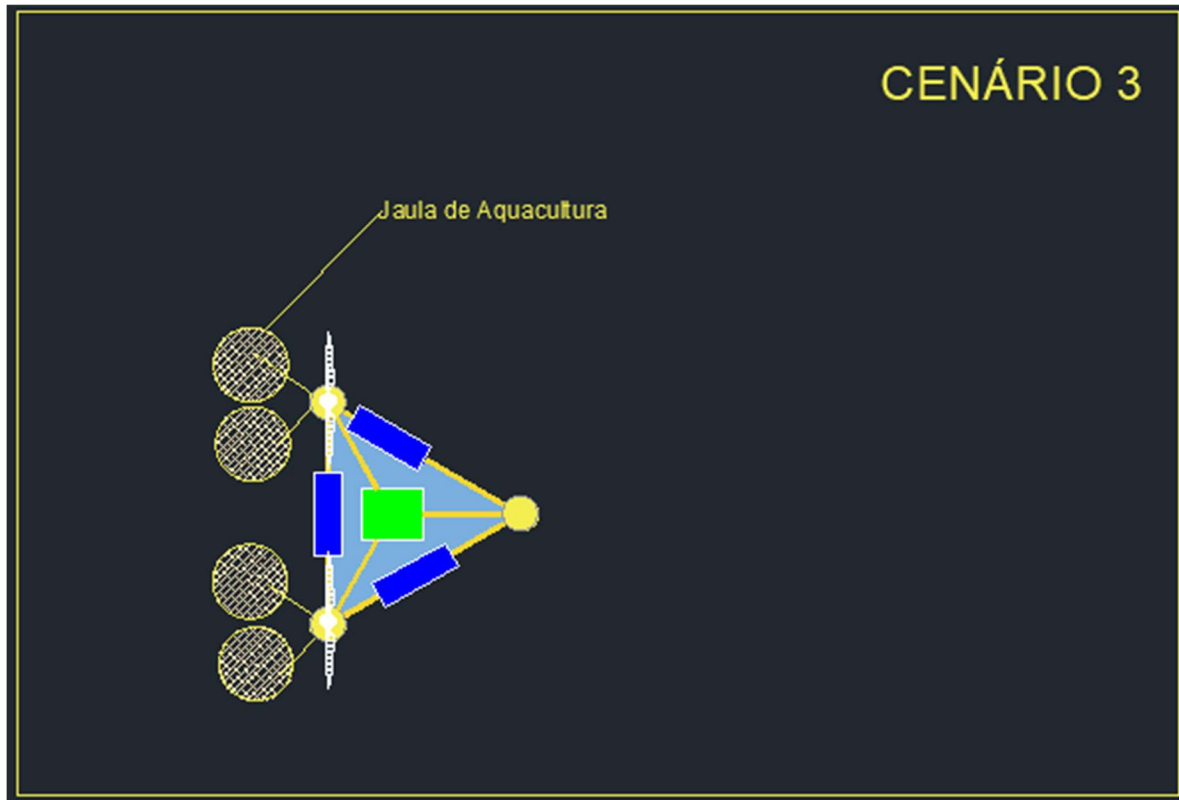


Figura 3 - Cenário 3 - Jaulas de Aquacultura conectadas à coluna 1 e 2 da plataforma flutuante

4 Discussão

Este design de projeto fornece uma breve definição dos cenários e desenho conceptual para o deslocamento entre as jaulas de aquicultura e a plataforma eólica offshore flutuante.

No Cenário 1, ao redor da plataforma, onde o número de jaulas pode ser aumentado.

No Cenário 2, as jaulas são colocadas no interior da plataforma flutuante, considerando duas profundidades do mar. Neste caso, como pontos negativos temos a limitação de espaço devido ao tamanho da plataforma e efeitos causados à hidrodinâmica.

Finalmente, o Cenário 3 considera a localização de jaulas ao longo das colunas 1 e 2 da plataforma flutuante, atrás das turbinas eólicas.

Os cenários considerados têm vantagens e desvantagens, pelo que mais estudos e testes deverão ser realizados, para melhor definir as soluções para os três cenários.

A solução final terá efeito limitado na plataforma e nas jaulas de aquicultura. De referir ainda que o sistema de amarração utilizado para ambos os sistemas também necessita de um estudo mais aprofundado e que será estudado nas próximas fases do projeto.