



Análise do Potencial Energético das Ondas via Projeto HiWave-5: comparativo entre o Norte de Portugal e o Sul do Brasil

KÁSSIO JOSÉ MARTINS DA SILVA

Setembro de 2021

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ONDAS VIA PROJETO *HIWAVE-5*: comparativo entre o Norte de Portugal e o Sul do Brasil

Kássio José Martins da Silva
1180400

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ONDAS VIA PROJETO *HIWAVE-5*: comparativo entre o Norte de Portugal e o Sul do Brasil

Kássio José Martins da Silva
1180400

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação do Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu e do Doutor Tiago Castro Alves Oliveira.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Tiago André Martins de Azevedo Abreu
Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Tiago Castro Alves Oliveira
Investigador Auxiliar, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar/Universidade de Aveiro

Arguente

Doutora Ana Brito e Melo
Senior Advisor at WavEC - Offshore Renewables

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por nos abençoar com saúde, paz, sabedoria e forças para superar as dificuldades, e assim, alcançar os objetivos que são traçados.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Tiago Abreu e Prof. Dr. Tiago Oliveira, sou grato por todo o apoio, serenidade, ensinamentos e profissionalismo, para que o trabalho fosse desempenhado com extrema qualidade e eficiência.

Aos meus tios, Jau (*in memoriam*) e Zito (*in memoriam*), que não pude me despedir, mas que sempre estarão no meu coração, com muita alegria e inspiração.

Aos meus pais, Carlos e Izabel, por se dedicarem plenamente em me dar uma educação de qualidade, suportarem a saudade, vibrarem com cada conquista e compreenderem as minhas decisões.

A minha irmã, Karla, pelo companheirismo em todos os momentos, assegurando muitas risadas e descontração.

Aos demais familiares, amigos, além de todo o corpo docente do mestrado em Energias Sustentáveis, agradeço pela força compartilhada durante a caminhada dessa vitória.

Enfim, a todos que, de uma forma ou de outra, estiveram presentes em minha vida e foram, com certeza, essenciais para a realização desta dissertação, muitíssimo obrigado.

RESUMO

Para seguimento do Roteiro Neutralidade Carbónica 2050, o aumento na capacidade da energia das ondas têm sido apontado como a maior fonte inexplorada do mundo. Reconhece-se que constitui um recurso promissor de valor económico, num modelo sustentável, mas que, apesar das diversas tecnologias desenvolvidas, ainda carece de um projeto estruturado e que trabalhe com as imprevisibilidades da agitação marítima, em alta performance, para além da fase de protótipo. Desse modo, o presente trabalho estabelece um comparativo da potencialidade de produção de eletricidade, em larga escala, entre as costas do Norte de Portugal (PT) e do Sul do Brasil (BR), para implantação do inovador projeto *HiWave-5*, mediante dispositivo *CorPower Ocean Wave Energy Converter* (CPOWEC) do tipo Absorção Pontual. Para os dois locais (Aguçadoura – PT e Rio Grande – BR), recorreu-se à assimilação e tratamento de dados de agitação para um período de 71 anos (1950 – 2020). Estes foram obtidos por intermédio do modelo de reanálise de quinta geração de dados *ERA5-ECMWF*, que fornece informação com um intervalo de 3 horas entre dados. Os estudos de caso mostraram que os resultados médios da altura de onda significativa (H_s) e do período de pico de onda (T_p), em ambos os locais, não comprometem substancialmente o absoluto desempenho do dispositivo, frente às suas limitações, em modo de sobrevivência a condições adversas, como tempestades. Com uma maior latitude, a região da Aguçadoura comprovou ter uma maior potência média de energia das ondas ($P = 25.84$ kW/m), para uma possível captação de P_{CPOWEC} igual a 119.45 kW, frente à região de Rio Grande, com $P = 14.93$ kW/m e $P_{CPOWEC} = 69.20$ kW. Além de ser estudada a variabilidade energética ao longo de sete décadas, também é feita uma análise da variabilidade sazonal. É nítido que existe uma maior eficiência energética nos invernos europeu e sul-americano respetivos. A variabilidade sazonal é maior para o cenário português do que para o cenário brasileiro. Numa perspetiva comercial, consolidou-se o potencial das ondas em ambos os locais, estimando-se valores de investimento, orientados pelo custo nivelado de energia, a atender às metas de geração elétrica nacional, dado um esperado crescimento exponencial de produção em massa até 2030, através da fazenda de energia das ondas.

PALAVRAS-CHAVE

Agitação marítima; CPOWEC; Energia das ondas; *ERA5*; *HiWave-5*; Sustentabilidade.

ABSTRACT

To follow the 2050 Carbon Neutrality Roadmap, the increase in wave energy capacity has been pointed out as the largest unexplored source in the world. However, despite the broad range of technologies already developed in a sustainable and economic model, it still lacks a structured project that works with the unpredictability of wind-wave climate in high performance, beyond the prototype stage. Thus, this paper presents a comparison of the potential for large-scale electricity production between the coasts of northern Portugal (PT) and southern Brazil (BR), for the implementation of the innovative HiWave-5 project, using a CorPower Ocean Wave Energy Converter device (CPOWEC) of the Point Absorption type. For the two locations, the assimilation and processing of sea wave data was carried out for a 71-year period (1950 – 2020) using the fifth generation ERA5-ECMWF reanalysis model, with an interval of 3 hours between data. The case studies showed that the mean results of the significant wave height (H_s) and the peak wave period (T_p), in both locations, do not substantially compromise the absolute performance of the device, given its survival limitations to adverse conditions, such as thunderstorms. Due to a greater latitude, the Aguçadoura region (PT) proved to have a higher mean wave power resource ($P = 25.84$ kW/m), for a possible capture of P_{CPOWEC} equal to 119.45 kW, compared to the Rio Grande region (BR), which had $P = 14.93$ kW/m and $P_{CPOWEC} = 69.20$ kW. In addition to studying the energy variability over seven decades, a seasonal variability analysis is also carried. It is clear there is a greater energy efficiency in the respective European and South American winters. Seasonal variability is greater for the Portuguese scenario than for the Brazilian scenario. From a commercial perspective, the wave energy potential in both locations were consolidated, estimating investment values, guided by the leveled cost of energy, in order to meet the national electricity generation goals, given an expected exponential growth of mass production until 2030, through wave energy farm.

KEYWORDS

CPOWEC; ERA5; HiWave-5; Sustainability; Wave energy; Wind-wave climate.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AWS	<i>Archimedes Waveswing</i>
CDS	<i>Climate Data Store</i>
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CPO	CorPower Ocean
EI-ERO	Estratégia Industrial para as Energias Renováveis Oceânicas
EMEC	<i>European Marine Energy Centre</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IAV	<i>Inter-Annual Variability</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEA	<i>International Energy Agency</i>
LCOE	<i>Levelized Cost of Energy</i>
MAV	<i>Mean Annual Variability</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
NTNU	<i>Norwegian University of Science and Technology</i>
OEE	<i>Ocean Energy Europe</i>
OES	<i>Ocean Energy Systems</i>
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
PSOEM	Plano de Situação do Ordenamento do Espaço Marítimo Nacional
PTO	<i>Power Take-Off</i>
SMC - Brasil	Sistema de Modelagem Costeira para o Brasil
TRL	<i>Technology Readiness Levels</i>
WEC	<i>Wave Energy Converter</i>

Lista de Abreviaturas

C_A	Custo de capital [€]
C_E	Custo de Energia [€/kWh]
C_{OM}	Custo de operação e manutenção [€]
C_W	Largura de captura [m]
E	Densidade de energia [kWh]
E_P	Montante de eletricidade produzida [kWh]
g	Constante gravitacional [9,81 m/s ²]
H_s	Altura de onda significativa [m]
N	Orientação norte
P	Potência de onda por unidade de comprimento de crista [kW/m]
P_{CPOWEC}	Potência de energia captada pelo protótipo CPOWEC [kW/m]
P_E	Potência elétrica média do WEC [kW]
p_{ij}	Percentagem de ocorrência de um determinado estado do mar [%]
P_{ij}	Percentagem de energia elétrica para o mesmo recetor [%]
$P_{máx}$	Potência elétrica máxima fornecida pelo fabricante [kW]
T_e	Período de energia [s]
T_p	Período de pico [s]
T_v	Tempo de vida do dispositivo [h]
α	Forma do espectro de onda
ε	Análise do fator de carga
ρ	Densidade da água do mar [1025 kg/m ³]
θ_m	Direção de onda média [°]
η	Rendimento [%]

Lista de Unidades

CO ₂	dióxido de carbono
GW	gigawatt
h	hora
kg/m ³	quilograma por metro cúbico
km	quilómetro
kW	quilowatt
KW/m	quilowatt por metro
m	metro
m/s ²	metro por segundo ao quadrado
MW	megawatt
MWh	megawatt-hora
MW/m	Megawatt por metro
rad/s	radiano por segundo
s	segundo
TWh	terawatt-hora
€	euro
€/MWh	euro por megawatt-hora
°	graus
%	percentagem

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - CRESCIMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS, AO LONGO DOS ANOS (BP, 2020).....	2
FIGURA 2 - PARTICIPAÇÃO DAS RENOVÁVEIS NA CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL (BEN, 2020).	3
FIGURA 3 - FORMAÇÃO DAS ONDAS PROVOCADAS PELO VENTO (CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES, 2006).	8
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO DO PERFIL DAS ONDAS FORMADAS A PARTIR DO VENTO, ONDAS A) CAPILARES, B) LINEARES E C) NÃO LINEARES (MCCORMICK, 2010 APUD MENDES, 2011).	8
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE MUNDIAL INSTALADA E PLANEADA DE ENERGIA DAS ONDAS, ENTRE 2010 E 2019 (OES, 2020 APUD JIN E GREAVES, 2021).	11
FIGURA 6 – RESUMO DE TECNOLOGIAS DESEMPENHADAS EM PORTUGAL (ADAPTADA DE DGEG, 2021).	13
FIGURA 7 - ESQUEMA WEC (ADAPTADA DE ULVGÅRD, 2017).	14
FIGURA 8 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS WEC (RETIRADA DE GOMES, 2014).	15
FIGURA 9 - UTILIZAÇÃO % DOS DIFERENTES WEC (ADAPTADA DE LÓPEZ ET AL., 2013).	16
FIGURA 10 - TECNOLOGIA CPOWEC TIPO ABSORÇÃO PONTUAL (CORPOWER OCEAN, 2020).	17
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS ONDAS, EM KW/M (CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES, 2006).....	18
FIGURA 12 – MAPA DA VARIABILIDADE INTERANUAL (IAV) DE POTÊNCIA DAS ONDAS POR ERA5, DE 1989 A 2018 (RUSU E RUSU, 2021).	19
FIGURA 13 - COMPARATIVO DE ÁREAS POTENCIAIS NA COSTA DE PORTUGAL CONTINENTAL (SILVA ET AL., 2018).	20
FIGURA 14 - POTENCIAL TEÓRICO BRASILEIRO ESTIMADO DE ONDAS E MARÉS (EPE, 2018).....	21
FIGURA 15 - TAXA MÉDIA DE ENERGIA DAS ONDAS NO BRASIL, EM KW/M (GUIMARÃES ET AL., 2019)..	22
FIGURA 16 - APANHADO DOS ESTÁGIOS DO PROJETO HIWAVE-5 (ADAPTADA DE CORPOWER OCEAN, 2020).	23
FIGURA 17 – LOCAL DO PROJETO (PARTICIPA, 2020).	24
FIGURA 18 - VISÃO GERAL DO CONVERSOR DE ENERGIA DAS ONDAS (ADAPTADA DE CORPOWER OCEAN, 2020).	25
FIGURA 19 - CONCEITO DE FAZENDA (OU PARQUE) DE ONDAS (ADAPTADA DE CORPOWER OCEAN, 2019).	28
FIGURA 20 - VISÃO AMPLIADA DOS PONTOS ESCOLHIDOS (ADAPTADA DE GOOGLE, 2021).	34
FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE, EM A) E B) (ADAPTADA DE GOOGLE, 2021).....	35

FIGURA 22 - COMPARATIVO ENTRE H_s LIMITADA E T_p , ($T_p < 12$ S E $H_s < 8$ M) DE 1950 A 2020, NA AGUÇADOURA.....	40
FIGURA 23 - HISTÓRICO DA POTÊNCIA CPOWEC AVALIADA POR DÉCADAS NA AGUÇADOURA.	41
FIGURA 24 - COMPARATIVO ENTRE MÉDIA DE θ_M E SEU DESVIO PADRÃO, AO DECORRER DOS MESES, NA AGUÇADOURA.....	42
FIGURA 25 - VARIAÇÃO DE H_s LIMITADA CPOWEC A) E T_p B), DURANTE OS MESES DO ANO, NA AGUÇADOURA. AS LINHAS SÓLIDAS REPRESENTAM OS VALORES MÉDIOS. AS LINHAS TRACEJADAS, A SOMA E SUBTRAÇÃO DAS MÉDIAS AO RESPECTIVO DESVIO PADRÃO.	43
FIGURA 26 - POTENCIAL DE ENERGIA DAS ONDAS, AO LONGO DOS MESES, NA AGUÇADOURA.	44
FIGURA 27 - VARIABILIDADE DA MÉDIA DE P NO MÊS DE JANEIRO, DE 1950 A 2020, NA AGUÇADOURA.	44
FIGURA 28 - VARIAÇÃO DE P DURANTE OS MESES DO ANO, NA AGUÇADOURA. AS LINHAS SÓLIDAS REPRESENTAM OS VALORES MÉDIOS. AS LINHAS TRACEJADAS, A SOMA E SUBTRAÇÃO DAS MÉDIAS AO RESPECTIVO DESVIO PADRÃO MÉDIO MENSAL.....	45
FIGURA 29 - COMPARATIVO ENTRE AS POTÊNCIAS DAS ONDAS E DO DISPOSITIVO CPOWEC, AO LONGO DOS MESES, NA AGUÇADOURA.	45
FIGURA 30 - PERSPETIVA COMERCIAL DO VALOR DE POTÊNCIA CPOWEC, AO LONGO DOS MESES, NA AGUÇADOURA.....	46
FIGURA 31 - COMPARATIVO ENTRE H_s LIMITADA E T_p ($T_p < 12$ S E $H_s < 8$ M), DE 1950 A 2020, NO RIO GRANDE.	47
FIGURA 32 - HISTÓRICO DA POTÊNCIA CPOWEC, AVALIADA POR DÉCADAS, NO RIO GRANDE.	48
FIGURA 33 - COMPARATIVO ENTRE MÉDIA DE θ_M E SEU DESVIO PADRÃO, AO DECORRER DOS MESES, NO RIO GRANDE.....	49
FIGURA 34 - VARIAÇÃO DE H_s LIMITADA CPOWEC A) E T_p B), DURANTE OS MESES DO ANO, NO RIO GRANDE. AS LINHAS SÓLIDAS REPRESENTAM OS VALORES MÉDIOS. AS LINHAS TRACEJADAS, A SOMA E SUBTRAÇÃO DAS MÉDIAS, AO RESPECTIVO DESVIO PADRÃO.	51
FIGURA 35 - POTENCIAL DE ENERGIA DAS ONDAS – P , AO LONGO DOS MESES, NO RIO GRANDE.....	52
FIGURA 36 - VARIABILIDADE DA MÉDIA DE P NO MÊS DE SETEMBRO, DE 1950 A 2020, NO RIO GRANDE.	52
FIGURA 37 - VARIAÇÃO DE P DURANTE OS MESES DO ANO, NO RIO GRANDE. AS LINHAS SÓLIDAS REPRESENTAM OS VALORES MÉDIOS. AS LINHAS TRACEJADAS, A SOMA E SUBTRAÇÃO DAS MÉDIAS, AO RESPECTIVO DESVIO PADRÃO MÉDIO MENSAL.....	53
FIGURA 38 - COMPARATIVO ENTRE AS POTÊNCIAS DAS ONDAS E DO DISPOSITIVO CPOWEC, AO LONGO DOS MESES, NO RIO GRANDE.	53
FIGURA 39 - PERSPETIVA COMERCIAL DO VALOR DE POTÊNCIA CPOWEC, AO LONGO DOS MESES, NO RIO GRANDE.	54

FIGURA 40 - CONFIGURAÇÃO DE UM CONVERSOR <i>HIWAVE</i> , VALORES EM MILÍMETROS (PARTICIPA, 2020).	69
FIGURA 41 - TECNOLOGIA <i>WAVESPRING</i> (PARTICIPA, 2020).	69
FIGURA 42 - REPRESENTAÇÃO DO ATENUADOR (À ESQUERDA), FUNDAÇÃO (MEIO), DIMENSÕES E MASSAS DAS ÂNCORAS PERFURANTES (À DIREITA) (PARTICIPA, 2020).	70
FIGURA 43 - OPERAÇÕES GERAIS DA REDE DO SISTEMA E ESQUEMA ELÉTRICO (PARTICIPA, 2020).	70
FIGURA 44 - COLETORES DE ENERGIA (PARTICIPA, 2020).	71
FIGURA 45 - INTERLIGAÇÃO DOS COLETORES DE ENERGIA AOS CONVERSORES <i>CPOWEC</i> (PARTICIPA, 2020).	71
FIGURA 46 - REPRESENTAÇÃO DA BOIA <i>WAVE RIDER</i> (PARTICIPA, 2020).	72
FIGURA 47 - LISTAGEM DOS MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS NO <i>CPOWEC</i> (PARTICIPA, 2020).	72
FIGURA 48 - EXEMPLOS DE EMBARCAÇÕES UTILIZADAS.	73

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - RESUMO DOS PROJETOS DESENVOLVIDOS EM PORTUGAL (ADAPTADA DE FONTES, 2019)...	12
TABELA 2 - EFICIÊNCIA DOS DIFERENTES PROJETOS DE ABSORÇÃO PONTUAL (ADAPTADA DE ADERINTO E LI, 2019).	17
TABELA 3 - INFORMAÇÕES DA FUNCIONALIDADE (ADAPTADA DE OES, 2021).....	24
TABELA 4 - PRINCIPAIS VANTAGENS DO PROJETO <i>HIWAVE-5</i> (ADAPTADA DE CORPOWER OCEAN, 2020).	27
TABELA 5 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ESTUDO DAS ONDAS.....	34
TABELA 6 - VALORES APROXIMADOS, PARA VARIÁVEIS LIMITANTES DO CPOWEC, NA AGUÇADOURA. ..	40
TABELA 7 - POTÊNCIA CPOWEC AVALIADA POR DÉCADAS NA AGUÇADOURA.	41
TABELA 8 - COMPORTAMENTO MÉDIO DE H_s LIMITADA CPOWEC E T_p , AO LONGO DOS MESES, NA AGUÇADOURA.....	42
TABELA 9 - VALORES APROXIMADOS, PARA VARIÁVEIS LIMITANTES DO CPOWEC, NO RIO GRANDE.	47
TABELA 10 - POTÊNCIA CPOWEC, AVALIADA POR DÉCADAS, NO RIO GRANDE.	48
TABELA 11 - COMPORTAMENTO MÉDIO DE H_s LIMITADA CPOWEC E T_p , AO LONGO DOS MESES, NO RIO GRANDE.	50

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento geral.....	2
1.2	Objetivos da Dissertação	3
1.3	Justificativa	4
1.4	Conteúdo da Dissertação.....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Energia das Ondas	7
2.1.1	Caracterização do recurso natural	7
2.1.2	Energia e potência.....	9
2.1.3	Evolução tecnológica e organizacional	11
2.1.4	Funcionamento do sistema e tipos de conversores WEC.....	13
2.1.5	Eficiência dos conversores tipo Absorção Pontual	15
2.2	Análise Geográfica do Ordenamento Energético.....	18
2.2.1	Cenário mundial	18
2.2.2	Portugal	19
2.2.3	Brasil.....	21
2.3	Projeto <i>HiWave-5</i>	22
2.3.1	Localização do projeto.....	23
2.3.2	Tecnologia CorPower Ocean.....	25
2.3.3	Vantagens e metas.....	26
2.3.4	Parâmetros ambientais	28
3	METODOLOGIA	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Estudo de Caso - Portugal.....	39
4.1.1	Resultados anuais.....	39

4.1.2	Resultados mensais.....	41
4.2	Estudo de Caso - Brasil	46
4.2.1	Resultados anuais.....	46
4.2.2	Resultados mensais.....	49
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	57
5.1	Conclusões	57
5.2	Sugestões de Trabalhos Futuros	58
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
7	ANEXO - DETALHAMENTO DO PROJETO <i>HIWAVE-5</i>	69

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento Geral
- 1.2 Objetivos da Dissertação
- 1.3 Justificativa
- 1.4 Conteúdo da Dissertação

1 INTRODUÇÃO

Decorrente do processo de transição da matriz energética mundial, atualmente dependente do petróleo e seus derivados, a energia renovável oceânica vem a ganhar cada vez mais reconhecimento. Deste modo, a energia das ondas, dada a sua maior densidade de energia, representa um recurso promissor para a geração de valor económico, num modelo sustentável e gradual, com possibilidade de alimentar indústrias *offshore*, como fazendas de peixes e plataformas de petróleo e gás.

Segundo análises da Agência Internacional de Energia Renovável, as energias renováveis e a eficiência energética podem aumentar o PIB global em 2,5% ou até 5% como resultado da maior redução de emissões de dióxido de carbono (IRENA, 2019). Nesse contexto, o cenário pós pandemia COVID-19, dentro de uma fase mais madura em avanço industrial e tecnológico, aparece como um momento-chave para o estabelecimento de um trabalho consistente e inovador, perante o insucesso de uma diversidade de projetos otimistas, mas que raramente conseguem ultrapassar a fase piloto.

É importante deixar claro que o desenvolvimento de um Conversor de Energia das Ondas (WEC– *Wave Energy Converter*) é uma incumbência demasiado multidisciplinar, composta por uma série de obstáculos, a se mencionar: a adaptação do controlo em tempo real do acúmulo de energia para cada onda de entrada, o dimensionamento estrutural para boas capacidades de absorção e alta robustez, uso eficiente de materiais, desenvolvimento de princípios e componentes de máquinas, *design* para vida útil prolongada do componente, além do transporte seguro e eficiente de energia para a costa. Também se faz como primordial a garantia de interferência mínima desde a vida marinha aos usos do mar, como a pesca, agregado a um serviço de instalação, operação e manutenção (Hals, 2010).

Desse modo, a análise do enquadramento da metodologia em questão, dentro de um cenário que se mostre energeticamente viável, a obedecer um alto nível de planeamento ambiental e ordenamento das redes de transporte e de distribuição de energia eléctrica, torna-se a base diferenciada para que o setor tenha um serviço consolidado e de máxima qualidade, a resultar nos tantos benefícios para a produção do país.

1.1 Enquadramento geral

Após algumas décadas de boas iniciativas, porém, difícil cumprimento de políticas sustentáveis em prol da geração de energia elétrica limpa, as mudanças mais concretas só começaram a ser intensificadas após o Acordo de Paris, assinado no fim de 2015, na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Com proposta de conter as emissões de CO₂ a partir de 2020, o Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), elaborado pelo Governo de Portugal, é um exemplo estruturado para incremento da capacidade energética via renováveis, com posterior seguimento do Roteiro Neutralidade Carbónica 2050 (Gomes *et al.*, 2020).

De acordo com a última edição do *British Petroleum Energy Outlook 2020*, a Figura 1 reflete essa projeção positiva do setor, com supremacia entre 2035 e 2050. Consta-se que, por exemplo, a utilização de carvão tem vindo a diminuir e que as energias renováveis têm assistido a um aumento nos últimos anos, perspetivando-se que essa tendência continue para as próximas décadas. Espera-se que ao fim desse período, 10% da eletricidade da Europa seja fornecida via energia do oceano, o que é equivalente ao abastecimento de 94 milhões de moradias por ano, num mercado global estimado em 53 bilhões de euros anuais (BP, 2020).

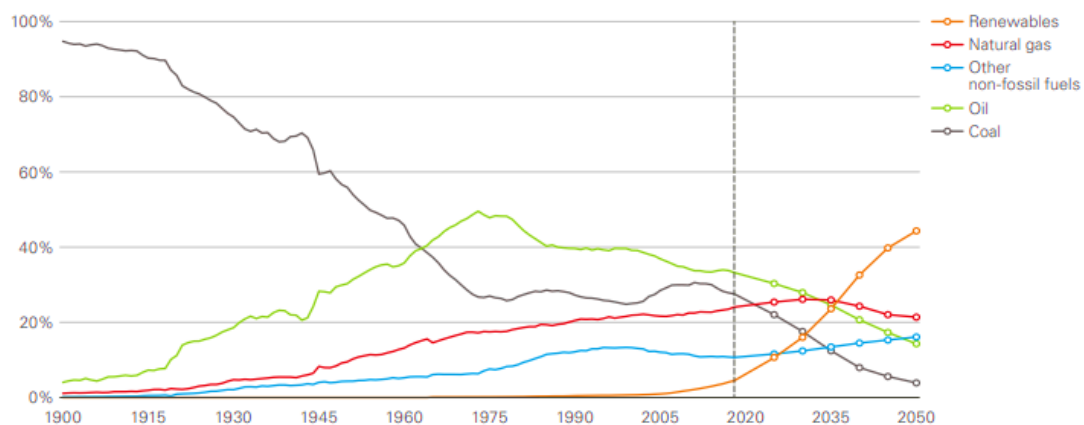


Figura 1 - Crescimento das energias renováveis, ao longo dos anos (BP, 2020).

No Brasil, a uma capacidade total anual instalada de, aproximadamente, 170 118 MW, com 83% de oferta interna de eletricidade por fontes renováveis em 2019 (resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações), apesar da grande dependência da fonte hídrica ou hidráulica, a Figura 2 também destaca a tentativa por uma maior diversificação dessa matriz (ainda 15.4% oriunda de combustíveis fósseis), com metas a serem atingidas em outras frentes, o que se poderia incluir o caso do estudo preciso do potencial energético perante as ondas (BEN, 2020).

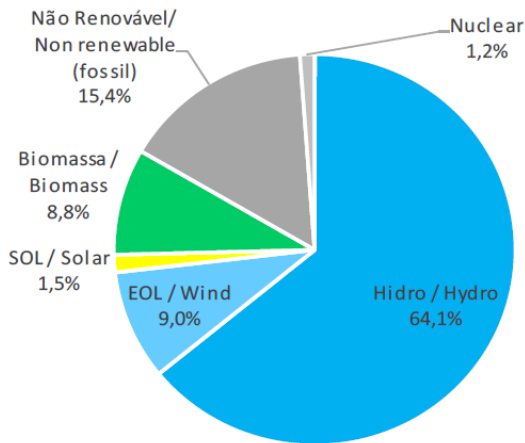


Figura 2 - Participação das renováveis na capacidade instalada no Brasil (BEN, 2020).

Apesar do otimismo da IEA - *International Energy Agency* em estimar uma contribuição da energia das ondas instalada de 1 GW em 2013 para 178 GW no ano de 2050 (Hannon *et al.*, 2016), a imprevisibilidade da variada gama de tecnologias de conversão desenvolvidas até aqui, resultou na ausência de financiamentos públicos ou privados, de caráter permanente. Para além da necessidade de um estudo preciso de adaptabilidade do sistema à localização, lâmina d'água, clima de agitação, correntes, subsolo e problemática da proteção ambiental, a ideia de competitividade, enormes cargas sobre os componentes, logística complexa, peças individuais e desenvolvimentos a preços elevados, têm constituído um problema para o avanço desta solução.

1.2 Objetivos da Dissertação

Este trabalho visa apresentar um comparativo do potencial de produção de eletricidade, entre dois locais das costas do Norte de Portugal e do Sul do Brasil, baseado na implantação do projeto de energia das ondas *HiWave-5*.

Para alcançar esse propósito, pretende-se:

- Realizar uma análise de dados do estado de mar, entre 1950 e 2020, para as devidas coordenadas geográficas;
- Apresentar a possível variação temporal dos parâmetros de agitação envolvidos;
- Detalhar o dispositivo CPOWEC e caracterização do seu local de instalação, mediante análise de diferentes cenários;
- Determinar o potencial local de energia das ondas e o extraído pelo CPOWEC, considerando as suas limitações técnicas;
- Contribuir para a descarbonização do sistema e construção de uma segurança energética nacional sustentável, pelo incentivo da temática em questão.

1.3 Justificativa

A motivação desta ideia está centralizada na proposta de analisar e comparar a vantagem da capacidade máxima de aplicação do recurso das ondas, em pontos geográficos estratégicos, dada a relevância mundial da costa Norte de Portugal e da costa do Sul do Brasil que conta com longos anos de experiência em termos de exploração petrolífera *offshore*. Por conseguinte, pode ser uma possível porta de entrada para um grande negócio, tanto para o ramo empresarial, como para qualquer estado que tire proveito desta fonte inesgotável de energia.

Busca-se solucionar problemáticas como o uso negligente da tecnologia, dificuldade de alta performance pelas condições expostas, custos demasiados elevados e impactes ambientais, como ruído, poluição visual e vida marinha, pela disseminação de um projeto bem estruturado em termos de capacidade de sobrevivência, desempenho, confiabilidade e economia, que traz um novo tipo de tecnologia *Power Take-Off* (PTO) e de controlo de fase *WaveSpring*, que pretende entrar em fase pré-comercial em 2024, dado o atual período de demonstração ao largo da Aguçadoura – Portugal, região conhecida por já ter recebido outros trabalhos do género, como *Pelamis* e *AWS - Archimedes Waveswing* (Mota e Pinto, 2014).

Inserida dentro de um consórcio sólido, a citar, a sueca CorPower Ocean, Iberdrola, EDP, Universidade de Edimburgo, EMEC – *European Marine Energy Centre*, entre outras, a proposta detentora do prêmio global de tecnologia das ondas mais inovadora em 2021, pelo *Business Vision Awards Programme*, pretende seguir a ideia de levar a maior fonte sustentável inexplorada do mundo, ao topo da geração elétrica, mediante conceito de “fazenda de energia de ondas” ou “parque de energia de ondas”. Por conseguinte, visa-se a produção em massa que reduzirá o custo por unidade em ambiente hostil, como o mar, dentro de um contexto de planos governamentais de redução das emissões do efeito estufa, que se estimam investimentos de milhões de euros, para os próximos anos.

1.4 Conteúdo da Dissertação

O presente documento divide-se em cinco capítulos. No primeiro, apresentou-se a introdução à temática, realizou-se um enquadramento do trabalho, mencionaram-se os objetivos e foi comentada a justificativa para escolha do assunto. No segundo, faz-se uma revisão bibliográfica; no terceiro, apresenta-se a metodologia para levantamento e tratamento dos dados necessários ao estudo local; e, no quarto capítulo, mostram-se os resultados e as discussões pertinentes. Por fim, enumeram-se as conclusões desta dissertação e os aspetos a ter em conta num próximo estudo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Energia das Ondas
- 2.2 Análise Geográfica do Ordenamento Energético
- 2.3 Projeto *HiWave-5*

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar das diferentes opções de energias renováveis, como a hídrica, biomassa, geotermia, marés, e os últimos anos de crescimento da eólica (*onshore/offshore*) e solar, a energia das ondas, mesmo ainda considerada em estágio inicial, tem um grande potencial para a resiliência do *mix* de energia, com o provável mais alto contributo entre todas e possibilidade de compensação às duas últimas acima destacadas (Jin e Greaves, 2021).

Mediante essa ideia, neste capítulo, pretende-se apresentar um sucinto detalhamento da energia das ondas (desde a caracterização do recurso natural, funcionamento do sistema e tipos de conversores WEC, à eficiência dos conversores escolhidos), da análise geográfica do ordenamento energético (cenário mundial, português e brasileiro) e do projeto *HiWave-5* (em termos de localização, tecnologia, vantagens e metas, além dos parâmetros ambientais).

2.1 Energia das Ondas

2.1.1 Caracterização do recurso natural

Com origem direta na movimentação de corpos, falhas sísmicas, campos gravíticos de outros planetas e o efeito da transferência da energia cinética dos ventos, os quais são gerados pela radiação solar incidente e coletada pelas massas de água, as ondas podem percorrer milhares de quilómetros com reduzidas perdas energéticas, a não ser que defrontem, por exemplo, com ventos em sentido contrário e o atrito com o fundo marinho (Calejo, 2012).

Apesar das variadas possibilidades de efeitos naturais, a formação desse recurso com intuito de aproveitamento energético tem por base a influência do aumento da velocidade do vento sobre a superfície do mar (Figura 3). Junto à superfície livre da água, aparecem perturbações que resultam em pequenas ondulações (ondas capilares – Figura 4a). Neste tipo, a tensão superficial é a força dominante, sendo desprezível para a maioria dos problemas de engenharia, por conta do seu reduzido conteúdo energético (McCormick, 2010 *apud* Mendes, 2011).

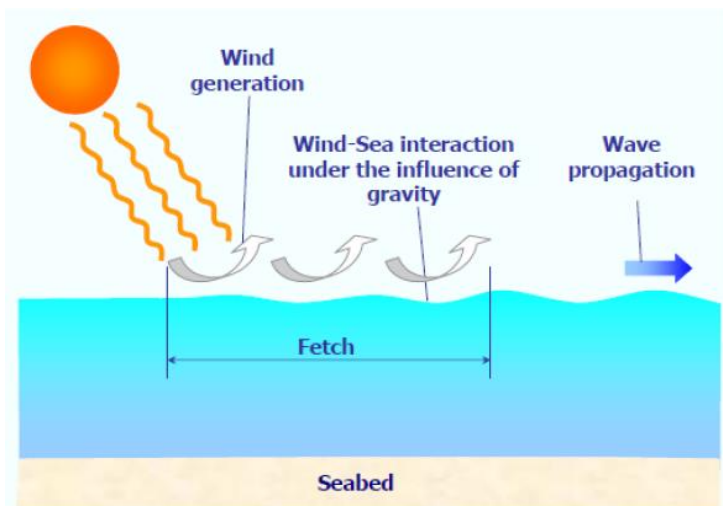


Figura 3 - Formação das ondas provocadas pelo vento (Centre for Renewable Energy Sources, 2006).

Na sequência contínua da exposição ao vento (Figura 4b), mais energia é transferida, aumentando o desnível entre a crista e a cava da onda, i.e., aumentando a altura da onda. De um ponto de vista mais realista do perfil das ondas do oceano, a Figura 4c transmite um comportamento não linear mais realista (crista afunilada e cava ampla), causado pelo aumento da altura e do comprimento das ondas, por conta do gradiente de pressão horizontal, originado da separação do escoamento de ar no sotavento da crista da onda (McCormick, 2010 *apud* Mendes, 2011).

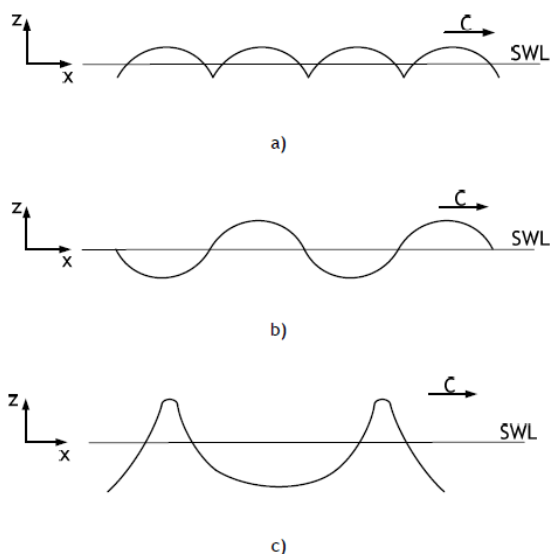


Figura 4 - Evolução do perfil das ondas formadas a partir do vento, ondas a) capilares, b) lineares e c) não lineares (McCormick, 2010 *apud* Mendes, 2011).

2.1.2 Energia e potência

Diante do comportamento ondulatório, interpreta-se que a densidade de energia de uma onda é o fluxo médio a cruzar um plano vertical paralelo à crista, complementada pelo fator do período de energia, a constituir bases essenciais para o estudo da prática dessa fonte marítima (Muetze e Vining, 2006). A Equação (1) mostra que essa densidade de energia (E) é baseada na densidade da água do mar (ρ), na constante gravitacional (g) e na altura de onda significativa (H_s) que representa a altura média de um terço de todas as ondas que ocorrem em um determinado período (Mendes, 2011). Em conformidade, a energia total por unidade de superfície de área, ou seja, por comprimento de onda considerando uma largura unitária, expressa-se por:

$$E = (1/8)\rho g H_s^2 . \quad (1)$$

Analisando a equação anterior, verifica-se que uma duplicação da altura da onda (H_s) resulta num aumento de quatro vezes na sua energia. No geral, a potência de energia das ondas em águas profundas é obtida através da frente de onda (crista), descrita na Equação (2) (e.g., Sierra *et al.*, 2013):

$$P = (\rho g^2 / (64\pi)) H_s^2 T_e \simeq 0.491 H_s^2 T_e , \quad (2)$$

onde a potência de onda por unidade de comprimento de crista (P) é medida em kW/m, a densidade da água do mar, a considerar $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$, a constante gravitacional $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ e o período de energia (T_e). Comparando esta expressão com a expressão referente à energia para águas profundas dada pela eq. (1), verifica-se que a energia é proporcional ao quadrado da altura, enquanto a potência é diretamente proporcional ao período da onda.

Como o T_e dificilmente é indicado com precisão e precisa ser estimado a partir de outras variáveis (Ribeiro *et al.*, 2020), pode-se basear o seu cálculo no período de pico (T_p) como evidenciado na Equação (3). Há que considerar a forma do espectro de onda (α) que pode ser alcançado via modelos como o espectro *Pierson-Moskowitz* ou o de *JONSWAP*. De acordo com Sierra *et al.* (2013), pode-se aplicar um valor de α igual a 0,86 considerando um espectro *Pierson-Moskowitz*, podendo-se aumentar este valor para a unidade ($\alpha = 1$) com a redução da largura de banda espectral.

$$T_e = \alpha T_p \quad (3)$$

Por simplificação, neste trabalho considerou-se $\alpha = 0.86$ na Equação (3).

Já para escolha do WEC a adotar, a nível de eficiência em locais específicos, a análise do fator de carga (ϵ) e da largura de captura (C_w) é extremamente importante.

Dada a potência elétrica média que pode ser extraída com o dispositivo (P_E), Equação (4), e a potência elétrica máxima fornecida pelo fabricante ($P_{m\acute{a}x}$), Equação (5), é possível encontrar o primeiro indicador mencionado, ε (Ribeiro *et al.*, 2020):

$$P_E = (1/100) \sum_{i=1}^{nt} \sum_{j=1}^{nh} p_{ij} P_{ij} , \quad (4)$$

$$\varepsilon = 100(P_E/P_{m\acute{a}x}) . \quad (5)$$

Aqui, p_{ij} é a percentagem de ocorrência de um determinado estado do mar combinado em termos de H_s e T_p , e P_{ij} é a energia elétrica para o mesmo recetor obtido a partir da matriz de energia fornecida.

Em relação ao segundo indicador, C_w , a largura de captura (medida em metros), Equação (6) (Ribeiro *et al.*, 2020), mostra que isso nada mais é do que a razão entre a energia elétrica do WEC (P_E), e a potência de energia das ondas (P), conforme Equação (2), logo:

$$C_w = P_E/P . \quad (6)$$

Por fim, no âmbito da análise económica para a instalação desta energia renovável, tem-se que o custo de energia (C_E) em €/MWh representa a razão entre o custo total envolvido durante a vida útil do WEC, a incluir o custo de capital (C_A) e os custos de operação e manutenção (C_{OM}), e o montante de eletricidade produzida (E_P), durante o tempo de vida (T_v) do dispositivo (Bosselle *et al.*, 2015). As Equações (7) e (8) representam E_P e C_E , respectivamente, num modelo que prevê uma taxa de atualização entre 8 a 15% (projeto tecnologicamente maduro em termos de risco técnico), um capital inicial e um período de amortização.

$$E_P = P_E T_v/1000 \quad (7)$$

$$C_E = (C_A + C_{OM})/E_P \quad (8)$$

2.1.3 Evolução tecnológica e organizacional

Avanços tecnológicos que podem ter um efeito significativo na preservação ambiental não ocorrem da noite para o dia. Uma nova tecnologia geralmente leva anos para se desenvolver, requerendo um planeamento sólido, dividido em fases de teste, para se ter um produto padrão, a partir do conceito de protótipo funcional, para disponibilidade comercial. Logo, esses protótipos ou demonstrações, são necessários, não somente para mostrar funcionalidade, mas para comprovar que podem vir a fazer uma diferença importante no sucesso do investimento proposto (Parker, 1996).

Com a primeira patente a ser registada no século XVIII e tantas outras em seguida, como é o caso do mecanismo *Wave Motor*, de acordo com Calejo (2012), somente após os efeitos oriundos da crise petrolífera de 1973, é que as políticas de incentivo ao estudo de tecnologias que explorassem o melhor das condições adversas do oceano, tiveram base e gradual evolução, com a introdução de países como o Reino Unido, Suécia, Dinamarca, Irlanda e Portugal.

Nesse processo de fortalecimento do setor, com a melhoria do acesso ao financiamento e mais oportunidades de negócio, destacam-se: a *WavEC Offshore Renewables*, a ser o primeiro Centro de Energia das Ondas, em 2003; o Programa de Colaboração Tecnológica em Sistemas de Energia Oceânica, efetivado pela IEA e denominado *Ocean Energy Systems - OES*; e a *Ocean Energy Europe - OEE* que representa nada mais do que a maior rede global de profissionais da energia oceânica, a contar com mais de 120 organizações e, na última década, com investimentos em torno de € 1 bilhão em atividade de pesquisa, desenvolvimento e inovação, via registo de dados reais, pela distribuição estratégica de várias boias de monitorização. A Figura 5 reflete tal expansão da capacidade mundial instalada e planeada de energia das ondas, entre 2010 e 2019. A destacar que, a partir de 2018, a expectativa de capacidade instalada mostrou-se cada vez maior na generalidade dos países apresentados, com ressalva da China e da Coreia do Sul (Jin e Greaves, 2021).

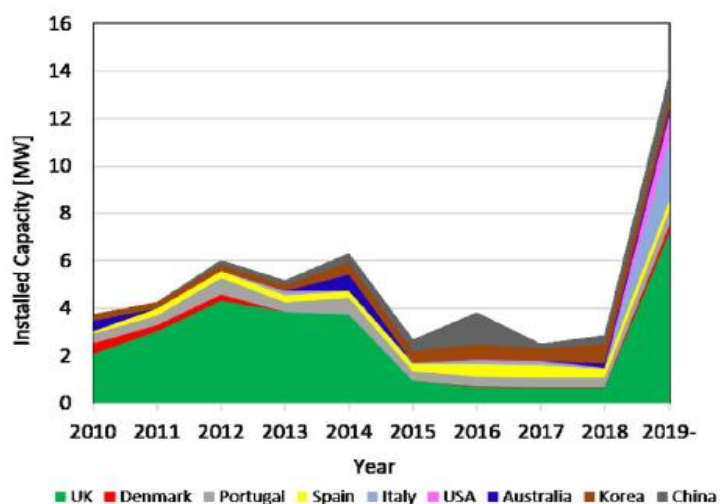


Figura 5 - Evolução da capacidade mundial instalada e planeada de energia das ondas, entre 2010 e 2019 (OES, 2020 *apud* Jin e Greaves, 2021).

Com 44 anos de atividade desempenhada e registo de mais de 60 patentes, Portugal mostrou um ótimo progresso frente a grandes potências (DGEG, 2021). Dada a sequência cronológica presente na Tabela 1, aponta-se como 1992 o ano do primeiro projeto que levou à primeira central piloto mundial (Central do Pico), projetada e concebida para alimentar uma rede elétrica. A busca pela recuperação de apoio político, após a turbulenta crise financeira iniciada em 2010 teve as suas repercussões, mas na retomada de fortalecimento do *cluster* industrial, presenciou-se a criação do Ministério do Mar, a aprovação do plano de ação Mar-Portugal, da Estratégia Industrial para as Energias Renováveis Oceânicas (EI-ERO) e o Plano de Situação do Ordenamento do Espaço Marítimo Nacional (PSOEM), à subdivisão da Madeira, Açores e da Plataforma Continental Estendida.

Tabela 1 - Resumo dos projetos desenvolvidos em Portugal (adaptada de Fontes, 2019).

TECNOLOGIA	ANO DO 1º PROJETO	Nº DE PROJETOS	STATUS
<i>Pico</i>	1992	6	<i>descontinuada</i>
<i>Archimedes Waveswing (AWS)</i>	2005	1	<i>descontinuada</i>
<i>Flow</i>	2005	1	<i>descontinuada</i>
<i>Breakwater</i>	2005	2	<i>descontinuada</i>
<i>Pelamis</i>	2006	1	<i>descontinuada</i>
<i>Waveroller</i>	2007	3	<i>ativa</i>
<i>Oscillating Water Column (OWC)</i>	2008	4	<i>ativa</i>
<i>WEGA</i>	2011	1	<i>descontinuada</i>
<i>Corpower Ocean</i>	2015	6	<i>ativa</i>

A Figura 6 a seguir, apresenta de forma sintetizada algumas das tecnologias mencionadas na Tabela 1.

No Brasil, decorrente da escassez de informações sobre a competência energética do mar, impasse na atração de investidores e carência de boas estratégias institucionais, pode-se dizer que ainda se encontra em estágio inicial de participação em projetos de energias das ondas (Gonçalves *et al.*, 2015). Essa contínua promoção das diretrizes do planejamento nacional é missão do Ministério de Minas e Energia (MME), juntamente, por exemplo, de ações diretas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da

Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que, lentamente, já começaram a agir na atração de grandes empresas exploradoras de petróleo que estão em fase de transição para novos projetos em águas profundas.



Figura 6 – Resumo de tecnologias desempenhadas em Portugal (adaptada de DGEG, 2021).

Desenvolvida pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, a Usina do Porto do Pecém, instalada na costa do estado do Ceará, no ano de 2012, com expectativa de um potencial de até 100 kW, representa o primeiro e único projeto-piloto brasileiro no setor das ondas, porém que se encontra desativado (Nunes, 2018).

Assim, como mecanismo de apoio a uma melhor gestão do litoral, destaca-se o Sistema de Modelagem Costeira para o Brasil (SMC - Brasil), o qual por intermédio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), propõe um serviço eficaz para uma consolidada base de dados para análise de futuros empreendimentos em ambiente *offshore*, que tendem a possuir um licenciamento ambiental bem mais estruturado, mediante um termo de referência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), como aconteceu com os complexos eólicos no ano de 2020.

2.1.4 Funcionamento do sistema e tipos de conversores WEC

O sistema de conversão da energia das ondas é conhecido por ser dividido em duas parcelas: captor e PTO. Assumindo-se o modelo *wave-to-wire*, a Figura 7 representa um sucinto esquema do funcionamento onde há presença de um equipamento captor, que faz a interação com o meio e consequentemente, transmite ao PTO, via ligação

pneumática, hidráulica ou mecânica, toda a energia que foi obtida, com a finalidade de que essa seja transformada em eletricidade (Ulvgård, 2017).

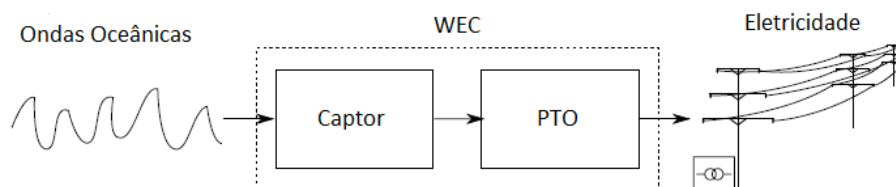


Figura 7 - Esquema WEC (adaptada de Ulvgård, 2017).

Nos dias atuais, pode-se dizer que existem mais de 100 diferentes tipos de protótipos *WEC*, os quais podem ser classificados de acordo com a localização, estrutura e princípios de funcionamento (López *et al.*, 2013). Ressalta-se que existe grande diversidade de sistemas eletromecânicos de produção de energia elétrica (PTO), podendo esses equipamentos ser de turbinas de ar, turbinas de água ou sistemas hidráulicos acoplados a geradores elétricos. Todos apresentam uma eficiência alcançada ao estar numa banda de potências cujo limite superior é dado pela potência nominal do equipamento e o inferior, por uma fração deste valor, a depender do tipo utilizado (Gomes, 2014).

Na análise da localização do dispositivo, em relação à costa (*e.g.*, López *et al.*, 2013), destacam-se:

- Dispositivos *onshore* (costeiros): presentes em águas rasas (pouco profundas), sem necessidade de amarração e conexão via cabo marítimo. Porém, apesar da fácil instalação e manutenção, há dificuldade em termos de terreno, assim como a propagação das ondas sobre o leito do mar leva a dissipação de energia por efeito da rugosidade do escoamento, gerando ondas de mais baixa energia;
- Dispositivos *nearshore* (próximos da costa): situados entre 10 a 25 m de profundidade, sem amarrações, logo, com a necessidade de grande investimento em estrutura compacta;
- Dispositivos *offshore* (afastados da costa): presentes em água profundas, acima de 40 m de profundidade, em estruturas flutuantes ou submersas, amarradas ao leito marinho. Apresentam um maior potencial de exploração energético das ondas, porém demanda extrema qualidade de sobrevivência, suporte a cargas elevadas, cabeamento, complexidade de manutenção/monitoração e preço elevado.

Em segundo, no quesito tamanho, observa-se a presença de duas estruturas similares dado o longo comprimento, mas de característica direcional única: o Atenuador (posição paralela à direção da onda e que “atenua” a sua amplitude) e o Terminador (posição perpendicular à direção da onda e que “termina” a ação do recurso natural). Com cariz diferente das mencionadas, a do tipo Absorção Pontual – *Point Absorbers*, coleta energia em todas as direções, ao converter o movimento de subida e de descida presente na

ondulação do oceano, em modo rotatório ou oscilatório (López *et al.*, 2013). Este sistema representa o que é utilizado no projeto *HiWave-5* estudado neste trabalho.

Em terceiro, pode-se reportar ao princípio de conversão. Existem três classes principais, contidas na Figura 8, que, a depender do projeto, podem atuar em conjunto (Gonçalves *et al.*, 2015):

- Coluna de Água Oscilante – *Oscillating Water Column (OWC)*;
- Corpos Oscilantes: tipo Absorção Pontual e Progressiva (*Surging Devices*);
- Galgamento (*Overtopping devices*).

Aponta-se também a do tipo Diferencial de Pressão Submerso, a enquadrar conversores do efeito de Arquimedes e OWC.

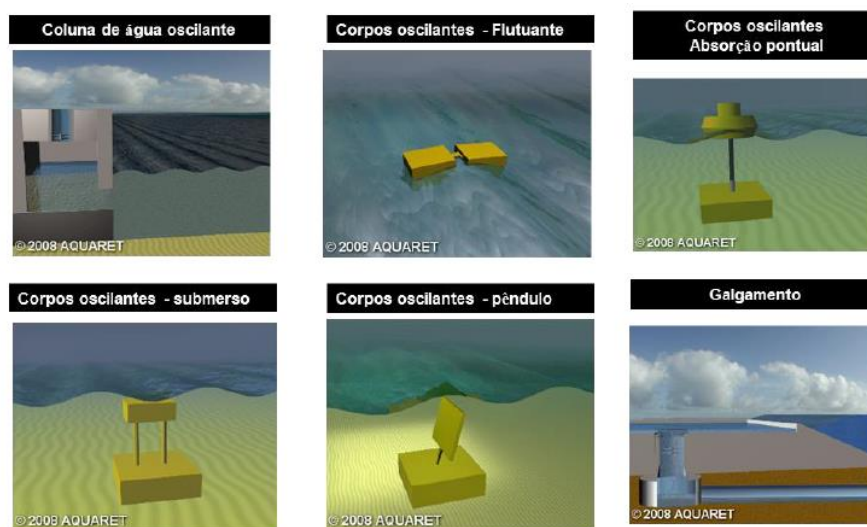


Figura 8 - Esquema de funcionamento dos dispositivos WEC (retirada de Gomes, 2014).

Diante das características apresentadas, de preferência em águas profundas, os dispositivos de Absorção Pontual, mostram-se bastante promissores, a nível de rendimento, como será apontado a seguir.

2.1.5 Eficiência dos conversores tipo Absorção Pontual

Após estudo detalhado dos WEC do tipo Corpos Oscilantes, observou-se que 81.78% dos projetos a longo prazo, fazem uso de protótipos de Absorção Pontual, como pode ser visto na Figura 9 (López *et al.*, 2013).

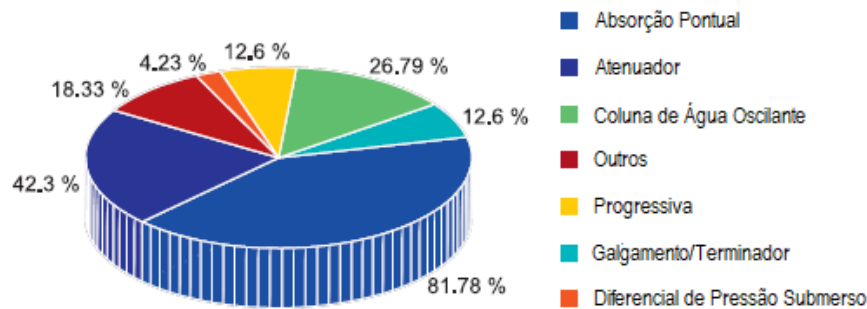


Figura 9 - Utilização % dos diferentes WEC (adaptada de López *et al.*, 2013).

Para que um dispositivo seja enquadrado nesse sistema de elevação mencionado, resumiu-se que é necessário que o produto entre o número de onda e o raio do seu corpo cilíndrico, seja menor que 1, pois o tamanho que o mesmo se movimenta em um grau de liberdade (direção vertical em alto mar), deve ser inferior ao comprimento de onda incidente (Mendes, 2011). Ainda, o pleno funcionamento destes aparelhos axissimétricos gira em torno da maximização da energia absorvida, via otimização da performance hidrodinâmica, frente à interferência do fenômeno da radiação, dado o movimento periódico de geração de ondas que são radiadas/afastadas do dispositivo, à medida que se propagam (Mendes, 2011).

Os sistemas WEC, no geral, costumam apresentar um rendimento (η) limitado entre 20% (Ivanova *et al.*, 2005) e 30% (Cruz, 2018). Esses valores devem sempre ser relacionados ao desempenho da energia hidrodinâmica (absorção energética) e não ao desempenho económico. Todavia, diferentemente, por exemplo, dos aparelhos OWC, que muito utilizam turbinas de ar para o PTO (cuja performance ronda os 55%), os de Corpos Oscilantes, além da possibilidade de fazerem uso de qualquer sistema de pistão, usam geradores lineares de acionamento direto, o que aumenta a performance para 95% (Aderinto e Li, 2019).

Com base nessa informação, a Tabela 2 apresenta um resumo de três dos principais projetos estudados, para obtenção do rendimento, em valores médios anuais, sob quatro diferentes circunstâncias de potenciais locais (Aderinto e Li, 2019).

Tabela 2 - Eficiência dos diferentes projetos de Absorção Pontual (adaptada de Aderinto e Li, 2019).

PROJETO	ESCALA	POTENCIAL	RENDIMENTO
SeaDog	Simulação de protótipo dimensionado	(a) 12 kW/m	(a) 24%
		(b) 21 kW/m	(b) 16%
		(c) 26 kW/m	(c) 16%
		(d) 15 kW/m	(d) 21%
Wavebob	Simulação de protótipo dimensionado	(a) 12 kW/m	(a) 40%
		(b) 21 kW/m	(b) 51%
		(c) 26 kW/m	(c) 46%
		(d) 15 kW/m	(d) 45%
Two-body floating System	Simulação	(a) 15 kW/m	(a) 27%
		(b) 22 kW/m	(b) 29%
		(c) 27 kW/m	(c) 36%
		(d) 15 kW/m	(d) 27%

Para os mais altos rendimentos, em aparelhos menores, simplifica-se o levantamento feito, de modo que, para diferentes localidades e recurso energético, encontram-se resultados acima do intervalo anteriormente citado, como o projeto *Wavebob* que atinge um máximo aproximado de 51%.

Desse ponto de vista, os protótipos do tipo Absorção Pontual podem considerar seus estudos com base em uma eficiência teórica que consegue alcançar valores na faixa de 50% (Falnes, 2002), facilitada pela presença de períodos de pico próximos a 12 s (Cruz e Sarmiento, 2004).

Assim, pode-se mencionar que, de entre outras, a tecnologia sueca CPOWEC (Figura 10), foco do presente trabalho, enquadra-se neste tipo de protótipos, apresentando-se como uma possível defensora da máxima qualidade em execução desse mecanismo, de modo a tentar contribuir para o sucesso contínuo da chamada energia azul.



Figura 10 - Tecnologia CPOWEC tipo absorção pontual (CorPower Ocean, 2020).

2.2 Análise Geográfica do Ordenamento Energético

Neste tópico será apresentada uma visão da distribuição energética das ondas, a nível mundial, com posterior pontuação de detalhes inerentes às costas portuguesa e brasileira, a enquadrar ao foco do presente trabalho.

2.2.1 Cenário mundial

Após anos de pesquisas, reconhece-se que a latitude do local influencia diretamente a potência média das ondas. Esta apresenta altos valores energéticos por metro de frente de onda, desde que a zona se encontre entre os 30° e 60° de latitude em ambos os hemisférios, por influência dos ventos predominantes do oeste. A Figura 11 ilustra o mapa mundial da desigual distribuição global da energia das ondas, em kW/m. Os valores podem ser variáveis, a depender desde um estudo mensal a um intervalo específico de anos, mas com particular grau de bons resultados ao longo da costa da Europa Ocidental, Canadá, Estados Unidos, Sul da Austrália e da América do Sul (Centre for Renewable Energy Sources, 2006).

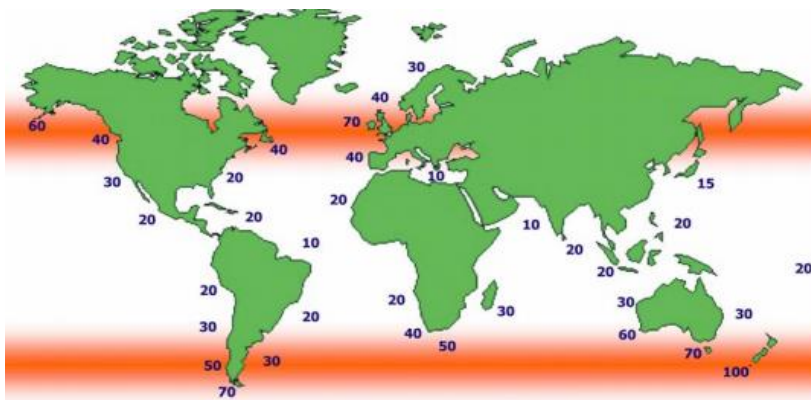


Figura 11 - Distribuição mundial do potencial energético das ondas, em kW/m (Centre for Renewable Energy Sources, 2006).

Para a interpretação da variação sazonal dessas potências energéticas, é reconhecida a contribuição dos índices de variabilidade interanual (*inter-annual variability* – IAV) e a variabilidade média anual (*mean annual variability* – MAV).

Conforme análise de 30 anos de dados – 1989 a 2018, a Figura 12 mostra que as regiões do Pacífico Sul, Oceano Índico e Oceano Atlântico, podem atingir os menores resultados de IAV (abaixo de 10%), o que se exemplifica pela posição do Brasil, em comparação com Portugal, que está posicionado na zona do Oceano Atlântico Norte, possivelmente influenciado pela Oscilação Ártica. Já os mais altos valores, podem ser oriundos das regiões de cobertura de gelo intermitente e também nas bacias fechadas ou

semifechadas, onde as ondas são altamente influenciadas pelo vento, enquanto o *swell* raramente está presente (casos do Mar Negro, Mar Mediterrâneo, Mar do Caribe, Golfo do México, lado Norte da Austrália e os mares ao redor da Indonésia). Pelo MAV, as maiores variações anuais são encontradas no hemisfério norte, mais precisamente pela diferença de energia das ondas obtida entre o verão e o inverno (Rusu e Rusu, 2021).

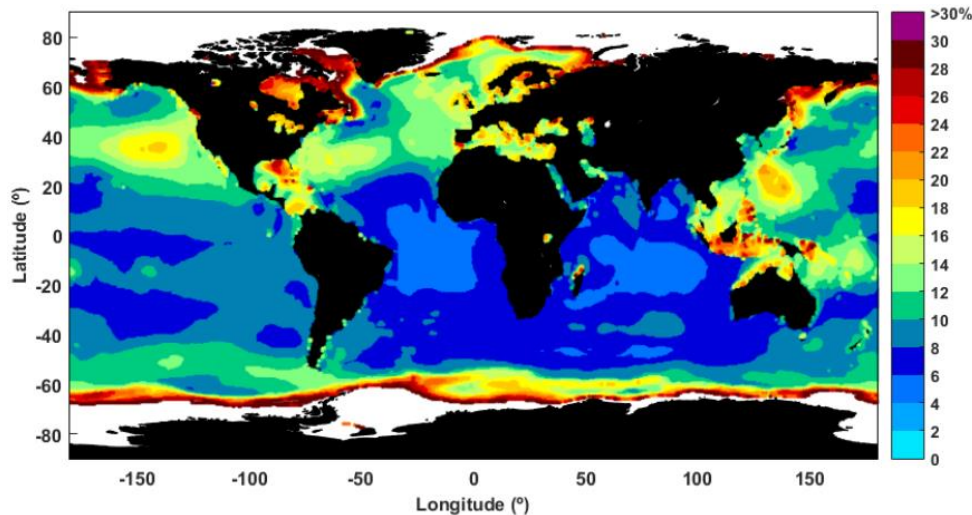


Figura 12 – Mapa da variabilidade interanual (IAV) de potência das ondas por ERA5, de 1989 a 2018 (Rusu e Rusu, 2021).

2.2.2 Portugal

Localizado no sudoeste da Europa e com 832 km de litoral banhado pelo Oceano Atlântico, Portugal (a incluir os arquipélagos da Madeira e Açores) é considerado um país de privilegiada localização geoestratégica. Com direcionamento a Portugal Continental, observa-se que a região se encontra dentro da escala de latitude para aproveitamento das ondas, mencionada no início do tópico anterior, de 37° a 42° N, e longitude que varia entre 9.5° e 7.5° W, em um ambiente marítimo, monitorado pelas boias de Leixões, Sines e Faro (Oliveira *et al.*, 2018).

De acordo com a análise baseada em 7 pontos de estudo ao longo da costa oeste portuguesa, entre 1995 e 2010, a uma profundidade de cerca de 50 m, destaca-se uma distinção regional perante o efeito da refração na altura e direção da onda, à medida que se aproxima da costa, onde enquanto a zona sudoeste apresenta um potencial energético das ondas dentro do intervalo de 18.81 kW/m a 20.53 kW/m, as regiões Norte e Centro contam uma variação espacial que vêm a se favorecer de 24.56 kW/m a 25.91 kW/m de onda (Mota e Pinto, 2014).

Com um clima que varia de região para região, o país apresenta históricos de oscilações atmosféricas, onde as depressões são mais frequentes durante o inverno e os anticiclones durante o verão. Na Figura 13 de Silva *et al.* (2018), pode-se observar a

divisão de seis zonas costeiras que refletem uma comparação de áreas potenciais na costa de Portugal Continental: 1 - Aguçadoura, 2 - Figueira da Foz, 3 – São Pedro do Moel, 4 – Peniche, 5 – Cascais, 6 – Sines.

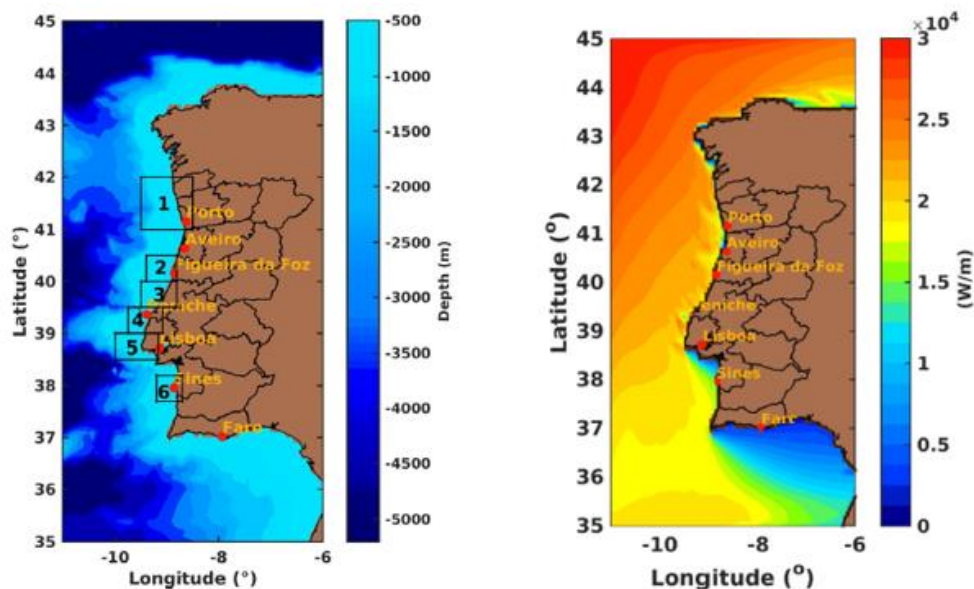


Figura 13 - Comparativo de áreas potenciais na costa de Portugal Continental (Silva *et al.*, 2018).

Em conformidade com a Figura 13, situada a cerca de 6 km a norte do concelho da Póvoa de Varzim, encontra-se a região da Aguçadoura (região 1) que é abordada nesta dissertação. Esta região é já conhecida por grandes projetos como o parque eólico *offshore WindFloat Atlantic* e tem sido palco de testes de outros protótipos. É nitidamente avaliada como a zona mais promissora na geração média de energia anual, a contar com águas profundas relativamente próximas da costa, onde se encontra uma boa infraestrutura de suporte (Silva *et al.*, 2018).

Apesar da projeção positiva para o local, deve-se atentar para a influência das tempestades de agitação marítima, tanto as que ocorrem entre dezembro e março durante o inverno marítimo (Oliveira *et al.*, 2018), como as de caráter pós-tropical que chegam à costa entre setembro e outubro (Oliveira *et al.*, 2020). Estas tempestades resultam num perfil extremamente energético, que tende a gerar instabilidades e danos aos dispositivos instalados, dadas as incertezas do seu conhecimento na fase de dimensionamento. A título de exemplo, menciona-se o rigoroso inverno de 2013-2014, as tempestades Emma e Félix em 2018, e Fabien em 2019 (Mendes e Oliveira, 2021) ou as tempestades pós-tropicais Ophelia em 2017, Leslie em 2018 e Lorenzo em 2019 (Oliveira *et al.*, 2020).

2.2.3 Brasil

Com vastas áreas de mar territorial e uma imensa costa, assim como Portugal, também banhada pelo oceano Atlântico, aliada à rica experiência ao longo de anos de trabalho com inúmeras multinacionais de complexas estruturas de exploração petrolífera, o Brasil aparece como um país com consideráveis possibilidades de fazer uso das ondas como fonte de energia, com uma latitude (sentido norte-sul) que vai desde os 5° do Monte Caburaí (estado de Roraima) aos 33° do Arroio Chuí (estado do Rio Grande do Sul).

Motivado por um clima de ondas formado por um sistema típico de agitação constituído pela vaga - *wind sea* (causada pelos ventos alísios e rotineiros durante o ano) e a ondulação – *swell* (relativa a passagens de frentes frias, oriundas dos deslocamentos dos anticiclones extratropicais), observa-se que o litoral da região Nordeste é caracterizado por agitações menores, porém constantes. Contudo, a Figura 14 mostra que a região Sul é a que apresenta maior potencial energético oceânico acumulado anualmente (35 GW, oriundo das ondas e marés), devido às frentes frias em algumas épocas do ano e maior latitude (EPE, 2018).



Figura 14 - Potencial teórico brasileiro estimado de ondas e marés (EPE, 2018).

Através de estudo focado na simulação das condições do mar na plataforma continental brasileira, fez-se um apanhado do período entre 1979 e 1983, a partir da altura significativa da onda e do período de energia, obtidos com dados de duas boias, PNBOIA RG (Rio Grande – Rio Grande do Sul) e PNBOIA CF (Cabo Frio – Rio de Janeiro) (Guimarães *et al.*, 2019). A Figura 15, confirma a superioridade de magnitude energética da região Sul, numa escala entre 14 e 18 kW/m, motivada pela direção de incidência do *swell*.

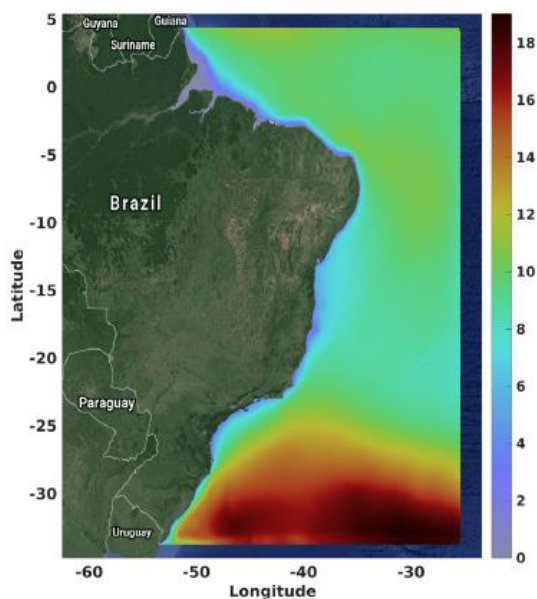


Figura 15 - Taxa média de energia das ondas no Brasil, em kW/m (Guimarães *et al.*, 2019).

2.3 Projeto *HiWave-5*

Sediada na Suécia e com uma equipa de especialistas em Portugal, Noruega e Escócia, a empresa CorPower Ocean é uma desenvolvedora líder de tecnologia de energia das ondas e de respeitado apoio Europeu. Com projeto idealizado no ano de 2009, pelo cardiologista Stig Lundbäck, teve como base os princípios de bombeamento do coração humano. Em 2012, altura da adesão do CEO Patrik Möller, ganhou-se um plano estruturado em cinco estágios (estando quatro elucidados na Figura 16), até à fase pré-comercial em 2025, conforme as Diretrizes para o Desenvolvimento e Teste de Sistemas de Energia do Oceano. De acordo com a CorPower Ocean (2021), e a considerar o Nível de Prontidão Tecnológica – *Technology Readiness Levels* (TRL), seguem os estágios finais:

- Estágio 4 (2020 – 2022): Demonstração e certificação do protótipo de um único dispositivo em escala real C4 WEC. Levando a tecnologia do TRL 6 para o TRL 7;
- Estágio 5 (2022 – 2024): Demonstração e certificação de tipo de arranjo piloto com três WEC C5 adicionais. Levando a tecnologia de TRL 7 para TRL 8.

Com fases iniciais em Estocolmo e modelagem matemática a cargo da *WaveEC Offshore Renewables*, em Lisboa, o *HiWave-5* é uma proposta inovadora que se instalou ao largo da Aguçadoura, Norte de Portugal. Procura-se cumprir passo a passo a capacidade de sobrevivência, desempenho, confiabilidade e economia, a partir do cumprimento da seguinte ordem cronológica: Validação do Conceito, Testes Críticos do Sistema, Testes a Seco e Oceano (1:2 WEC), Demonstração a Seco e de Oceano (tamanho natural – fase atual), e Matriz Piloto (3 unidades WEC).



Figura 16 - Apanhado dos estágios do projeto *HiWave-5* (adaptada de CorPower Ocean, 2020).

Assim, neste tópico serão levantadas discussões sobre o estudo local de instalação, os detalhes da tecnologia WEC implantada, bem como as vantagens e as condicionantes ambientais envolvidas.

2.3.1 Localização do projeto

Ao aproveitar toda a infraestrutura já instalada, desde o trajeto do cabo elétrico submarino presente em fundo relativamente plano e sem acidentes morfológicos, à subestação em terra, o projeto piloto *HiWave-5* da CorPower Ocean se encontra a cerca de 3 milhas a noroeste da praia da Aguçadoura - Portugal (Figura 17). Abarca uma área de 750 m por 500 m, com profundidades dentro do intervalo de 35 a 50 m onde, de acordo com o portal PARTICIPA (2020), temos os acrónimos:

- C4: representa o primeiro dispositivo em escala real a ser instalado no estágio 4 do projeto;
- C5.1, C5.2 e C5.3: conjunto de três dispositivos que serão instalados no estágio 5 do projeto;
- *HiWave-1* a *HiWave-4*: delimitação da área de exclusão proposta no plano de assinalamento marítimo e que se propõe ocupar;
- A1 a A3: representam os locais onde se irão instalar as âncoras do coletor de energia flutuante ao qual estarão ligados os conversores de energia, através de cabos elétricos dinâmicos provenientes dos conversores C4 e C5.1.

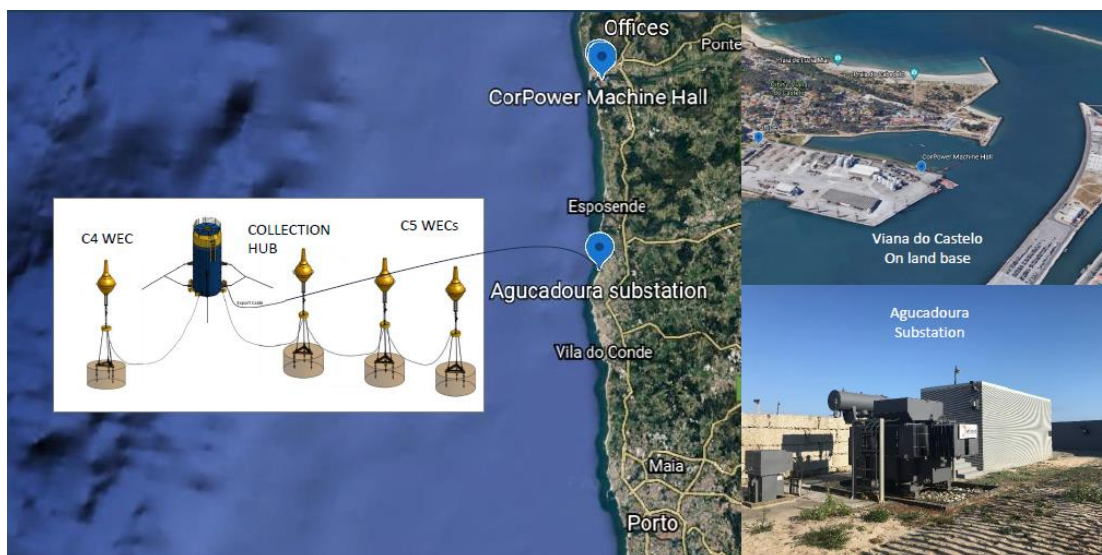


Figura 17 – Local do projeto (PARTICIPA, 2020).

A Tabela 3 compila a informação obtida dos dados locais do projeto, reconhecendo-se que o mesmo está inserido em uma zona de latitude e batimetria favoráveis para a máxima exploração da energia das ondas.

Tabela 3 - Informações da funcionalidade (adaptada de OES, 2021).

<i>DADO</i>	<i>INFORMAÇÃO</i>
<i>Nome</i>	<i>HiWave-5</i>
<i>Prontidão Comercial</i>	<i>Projeto pré-comercial</i>
<i>Latitude (°N)</i>	<i>41.4306</i>
<i>Longitude (°E)</i>	<i>- 8.7861</i>
<i>Número de conversores</i>	<i>1</i>
<i>Proprietário/ Desenvolvedor/ Operador/ Fabricante</i>	<i>CorPower Ocean AB</i>
<i>Tipo de conversor</i>	<i>CorPower C4</i>
<i>Princípio de trabalho do conversor</i>	<i>Absorção Pontual</i>
<i>Capacidade do conversor [MW]</i>	<i>0.5</i>

Ressalta-se que nessa zona de instalação é espectável que a maior ocorrência energética se reflita no período de inverno, dados os ventos mais fortes fluírem do quadrante sudoeste, junto de depressões muito cavadas, numa zona consideravelmente pouco exposta a condições adversas, como os temporais do oceano Atlântico, com agitação marítima maioritariamente de noroeste e oeste-noroeste. Em relação aos períodos de visibilidade reduzida, ou seja, nevoeiros, neblinas ou chuvas fortes, trabalhou-se com um valor anual maior que 114 dias de exposição a essas condições mencionadas (PARTICIPA, 2020).

2.3.2 Tecnologia CorPower Ocean

A tecnologia CPOWEC tipo absorção pontual corresponde a um dispositivo relativamente pequeno. É composto por uma boia leve, conectada ao fundo do mar, em uma fundação, através de um módulo de conversão de energia e um sistema de amarração de perna de tensão – *tension leg*, que tende a acionar uma tomada de força dentro da boia. O chamado sistema PTO converte a energia mecânica oriunda da interação com os variados movimentos de ascensão e queda, assim como de ida e volta do recurso renovável das ondas, em eletricidade, que é transmitida pelo cabo submarino a pontos de ligação à rede elétrica junto a costa. Com esse movimento de ressonância, provocado pela nova tecnologia de controlo de fase *WaveSpring*, o dispositivo entra e sai da superfície da água, o que amplifica a captura de energia (CorPower Ocean, 2020).

Na Figura 18, pode-se ter conhecimento do sistema WEC introduzido. Da estrutura apresentada, destacam-se as seguintes três partes (Zhou, 2016):

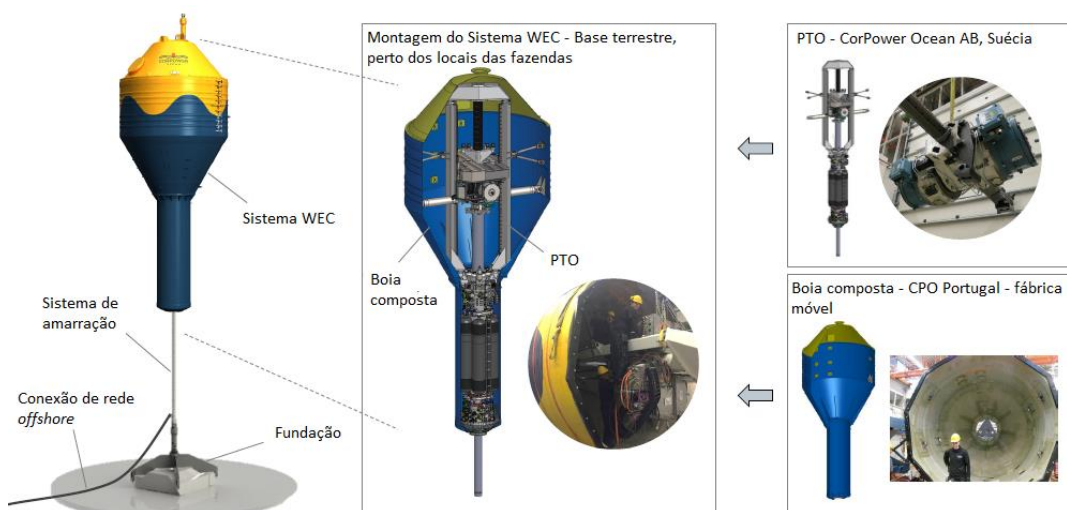


Figura 18 - Visão geral do conversor de energia das ondas (adaptada de CorPower Ocean, 2020).

- Boia: projetada para a máxima eficiência, em termos de espaço e custo. Buscou-se minimizar as perdas viscosas, de modo a evitar que a força de arrasto aumente a um nível significativo, sob altas velocidades. Para o cálculo das forças das ondas, foram consideradas as variáveis do nível de submersão, área do plano da água e o volume de submersão;
- *Power Take-Off (PTO)*: considerada a parte central do WEC, é constituída por uma cremalheira, uma caixa de engrenagens, um eixo horizontal, dois volantes e dois geradores. A PTO é fixada e oscila junto com a boia, ao longo da cremalheira (variável importante), dado que o movimento relativo entre essa última e a PTO tende a ser transmitido via caixa de engrenagens, para giro do eixo horizontal, o qual acionará os volantes. Com o *design* de roda livre, o sistema apenas aciona a roda esquerda no caminho para cima, e da mesma forma, a roda direita no caminho para baixo, a relatar que cada volante aciona um gerador;
- *WaveSpring*: localizada no topo da boia, formada em três molas a gás, com o lado da haste fixado à cremalheira e todo o lado da área fixado à boia. As duas variáveis de destaque, em relação à mola ondulada, são a pressão (controlável e alterada de modo flexível) e a distância horizontal (decide o ângulo da força, quando não está na posição natural).

Ainda de acordo com o autor, não somente por se tratar de uma novidade na contínua e eficaz coleta energética, a abordagem *WaveSpring* trazida por Jørgen Hals, da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia – *Norwegian University of Science and Technology* (NTNU), também funciona como um elemento de frenagem, já que com a limitada dimensão da cremalheira, ocasionalmente quando a onda é demasiado forte, mesmo com carga máxima do gerador, a energia cinética da boia não consegue ser integralmente extraída. Desse modo, pela modificação da definição de mola negativa, haverá cooperação de uma força parecida ao aumento da força hidrostática para proteger a boia e em condições marítimas adversas, como as tempestades, a função *WaveSpring* é desativada, com desafinação do dispositivo e redução do seu carregamento, dentro do modo de segurança (Zhou, 2016).

Como base para o fator sobrevivência, ao longo do limite de ruptura da competência de produção elétrica, tem-se que para períodos de pico de onda acima dos 12 s, a altura significativa da onda é restringida a um valor em torno de 8 m, ambos na escala do CPOWEC (MARINET, 2015). De modo a oferecer maior aprofundamento técnico, remete-se para o Anexo que fornece detalhes adicionais do projeto *HiWave-5*.

2.3.3 Vantagens e metas

Além do projeto propor uma forma menos onerosa e competitiva em operação e manutenção, dada a substituição de unidades inteiras, e arquitetura de conexão à rede bem conhecida, pelo padrão do cabo de exportação à terra, geradores e eletrônica de potência dos conversores similares às de um parque eólico *offshore*, faz-se ainda menção de outras vantagens listadas na Tabela 4 (CorPower Ocean, 2020).

Tabela 4 - Principais vantagens do projeto *HiWave-5* (adaptada de CorPower Ocean, 2020).

<i>VANTAGENS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
<i>Manuseio</i>	<i>Simples, fácil de instalar e de manter, uma vez que usam embarcações de baixo custo.</i>
<i>Tamanho</i>	<i>Dispositivo relativamente pequeno (9x18 metros, a pesar 60 toneladas).</i>
<i>Sobrevivência</i>	<i>Melhora na capacidade de proteção transparente contra tempestades, com base na desafinação de frequência, para minimização do movimento e cargas no WEC.</i>
<i>Eficiência</i>	<i>Produção de 5 vezes mais energia, por tonelada do dispositivo.</i>
<i>Controlo</i>	<i>Boias operam de forma autónoma, por meio de um Controlador Lógico programável, no interior do conversor; Controlo de fase WaveSpring – performance de modo sintonizado ressonante, com 99% do carregamento nominal e maior captura de energia.</i>
<i>Investimento planeado (€)</i>	<i>Estágio 1 (500 mil euros); Estágio 2 (1.7 milhões de euros); Estágio 3 (8.8 milhões de euros); Estágio 4 (20 milhões de euros); Estágio 5 (25 a 30 milhões de euros).</i>
<i>Dimensionamento</i>	<i>Caracterização da dinâmica, movimento e cargas do sistema, ao longo da faixa de estados do mar de instalação.</i>
<i>Balanceamento de rede</i>	<i>Uso do oceano como a mais efetiva bateria solar na Terra.</i>

Com o propósito de monitorar o melhor funcionamento da tecnologia implantada, através da medição da altura e direção das ondas que entram em contacto, aplica-se a boia *Wave Rider* (ilustrada no Anexo), com sinal de GPS, e sinalização por uma lanterna, um transmissor de alta frequência e um sistema de localização GSM. No topo, situa-se um painel solar que evita a necessidade de deslocações à boia, para manutenção/substituição das baterias (PARTICIPA, 2020).

Também se deve levar em consideração que o aumento da capacidade de amortecimento infinita e configuração de desempenho do gerador, em um dispositivo pequeno, é um diferencial para o aumento da produção de energia, durante situações de tempestades no mar (Zhou, 2016).

Adiante, na caminhada até à fase pré-comercial e investimento da construção de um centro de energia das ondas de classe mundial em Viana do Castelo, já se pode tirar algumas lições importantes como a realização de uma pré-qualificação mais rigorosa nos subsistemas auxiliares (microrede, ajuste de marés e âncora) e o fator primordial dos testes a seco e oceânico nas melhorias de *design* conceitual.

Estima-se que com o ajustamento de detalhes, como é o caso do aumento da resistência à corrosão e propriedades de desgaste dos WEC C4 da próxima geração, diversas metas poderão vir a ser cumpridas. Por exemplo, de acordo com a CorPower Ocean (2020), há a perspectiva de ultrapassar as turbinas eólicas, em rendimento e competitividade, diminuir em menos de 40% os materiais requeridos, firmar o programa de certificação iniciado a uma produção anual por tonelada 5 vezes maior que outras tecnologias, em um cenário de 2030 de 10 a 30 MW de capacidade instalada cumulativa, via conceito de fazenda (Figura 19), e estabelecimento de um caminho livre para um nivelado custo de energia, em torno de 60 €/MWh, com vista a impactar a sociedade, desde um nível de prontidão tecnológica avançado à empregabilidade de mais de 100 pessoas na região.



Figura 19 - Conceito de fazenda (ou parque) de ondas (adaptada de CorPower Ocean, 2019).

2.3.4 Parâmetros ambientais

No final do ano de 2020, a CorPower Ocean conseguiu a licença TUPEM – Títulos de Utilização Privativa do Espaço Marítimo, para atuação durante dez anos, em até 12 milhas da zona prevista, sob ordem da Direção Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos. Contudo, nessa transição, diversos documentos foram postos à consulta pública no portal PARTICIPA, e dentre eles a proposta do plano de monitorização indicou três programas de considerável atenção: o ruído submarino, a distribuição de cetáceos e a colonização do equipamento.

No projeto *HiWave-5*, a principal fonte de ruído (captado por hidrofones) durante a operação do dispositivo será proveniente do movimento vertical do dispositivo (ondas de pressão ou sonoras) que se transmitem para a coluna de água através do contacto

da estrutura com a massa de água. Comparativamente a outros conversores, sujeitos a variação meteorológicas e diferentes estados do mar, observou-se que o ruído radiado é contínuo e de baixa frequência (PARTICIPA, 2020).

Com pelo menos seis espécies de cetáceos na área escolhida para o desenvolvimento da atividade no Norte português, registou-se maior regularidade (38) para a espécie golfinho-comum (*Delphinus delphis*), o qual, mesmo com alta sensibilidade, não se afeta no quesito ruído, muito pelo bom sistema de âncoras perfuradas, na fase de instalação. Em contrapartida, há necessidade de análise aprofundada, com censos visuais e detecção acústica passiva, do efeito de “recife artificial” (PARTICIPA, 2020), ou seja, a aglomeração de animais junto dos conversores numa potencial área de alimentação, interferindo no seu padrão de deslocamento e havendo possibilidade de colisão.

Ao terceiro programa, foi avaliado que após submersão da estrutura (que tende a desenvolver um biofilme), cria-se uma camada que estabelece condições adequadas para a fixação de outros organismos marinhos, o que pode provocar impactos no habitat existente. Desse modo, a objetivar uma análise detalhada pelo cálculo da densidade de organismos e/ou peso fresco, relacionada com diferentes parâmetros físico-químicos, indicou-se a recolha de amostras biológicas, imagens fotográficas e vídeos, dependentes dos períodos de retirada dos WEC para manutenção (PARTICIPA, 2020).

Por fim, é de se mencionar que parques de energias das ondas com produção elétrica na faixa dos 10 MW, ou seja, com um comprimento avaliado em 5 km e largura de até 1 km, não levantarão dificuldades significativas à navegação pesqueira, cujos barcos terão um corredor de trânsito a cada 4.5 km, muito menos em impacte visual, dado o tipo de dispositivo CPOWEC (WAVE ENERGY CENTER, 2004).

METODOLOGIA

3 METODOLOGIA

Conhecida a caracterização da zona de instalação que comporta toda a infraestrutura do projeto *HiWave-5*, nesse capítulo serão apresentados os procedimentos para levantamento e tratamento dos dados necessários ao estudo local do potencial de energia das ondas.

Assim, com base no cumprimento da performance dos protótipos do projeto *HiWave-5*, já a pensar na implantação em larga escala, em sua mais alta matriz de potência na coleta de energia, teve-se, como referência, o estudo do comportamento dos diferentes estados de mar, através de três variáveis-chave: a direção de onda média (Θ_m), a altura de onda significativa (H_s) e o período de pico de onda (T_p), onde:

- Θ_m , medido em graus verdadeiros, traz o conhecimento da trajetória das ondas, calculado através da média de todas as frequências e direções na relação vento-mar, ou seja, desde 0 graus a sair do norte ou 90 graus do este;
- H_s , medido em metros, é a distância vertical entre a crista e o vale (cava) da onda, gerada pelo vento e *swell*, calculada em quatro vezes a raiz quadrada da integral sobre todas as direções e frequências;
- T_p , medido em segundos, é o tempo médio mais energético que leva para duas cristas de onda consecutivas, passarem por um ponto fixo, a ser calculado pelo maior valor do espectro da onda de frequência.

Desse modo, a saber que a potência das ondas é influenciada diretamente pelo H_s e T_p , recorreu-se a uma ampla e homogênea análise de dados ao longo dos últimos 71 anos (1950 a 2020), por intermédio da reanálise *ERA5*. Este é um modelo atual e conceituado, adotado pela *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts - ECMWF*, que auxilia em um trabalho de completa assimilação de dados de modelos climáticos globais.

Com uma resolução atmosférica de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ e ondas oceânicas de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, a uma cobertura temporal via *Climate Data Store - CDS*, do programa Copernicus, trabalhou-se com dados sobre níveis únicos, *ERA5 Hourly Data on Single Levels*, com um intervalo de 3 em 3 horas, para todos os dias e meses do ano. Assim, subdividiu-se os dados históricos em dois conjuntos bem definidos:

- 1950 – 1978: extensão preliminar, satisfatória, mas que todos os resultados serão considerados experimentais (*Bell et al., 2020*);
- 1979 – presente: versão atualizada (*Hersbach et al., 2018*).

Para o detalhamento da caracterização da zona prevista ao aproveitamento energético em Portugal e no Brasil, em termos de latitude/longitude, escolheram-se dois pontos aproximados, conforme Tabela 5. O primeiro local foi escolhido pela representatividade da região Norte, com proximidade da Aguçadoura, sendo o local de demonstração do

atual projeto da CorPower Ocean. O segundo local foi selecionado dado o possível maior retorno em kW/m de onda, mais precisamente, na faixa oceânica próxima à cidade de Rio Grande, estado do Rio Grande do Sul, região marcada historicamente por forte influência portuguesa em sua colonização.

Tabela 5 – Localização dos pontos de estudo das ondas.

<i>PONTO</i>	<i>LATITUDE, LONGITUDE</i>	<i>LOCALIZAÇÃO</i>
<i>Ponto 1</i>	<i>41.5° N, - 9.01° W</i>	<i>Aguçadoura – Norte de Portugal</i>
<i>Ponto 2</i>	<i>- 32.49° N, - 51.01° W</i>	<i>Rio Grande – Sul do Brasil</i>

As Figuras 20 e 21 assinalam as localizações dos pontos referidos, possibilitando ter uma noção mais clara da sua distribuição espacial.



Figura 20 - Visão ampliada dos pontos escolhidos (adaptada de GOOGLE, 2021).



Figura 21 - Localização dos pontos de análise, em a) e b) (adaptada de GOOGLE, 2021).

Inicialmente, efetuou-se o descarregamento dos dados por décadas (devido ao limite do intervalo de anos) em formato NETCDF. Os dados foram transferidos recorrendo à linguagem de programação *Python*, tendo sido feito o download de cada arquivo, em formato NetCDF. Para além do tratamento e interpretação via *Python*, o Excel mostrou-se ser uma ferramenta primorosa, depois da exportação dos valores das variáveis de NetCDF para “csv”, por uso do programa *Panoply*.

Atendendo à necessidade de analisar um extenso conjunto de dados (dados a cada 3 horas de um período de 71 anos), para cada uma das localizações em questão, considerou-se as Tabelas Dinâmicas do *Excel* como um meio eficaz na filtragem e estudo dos parâmetros Θ_m , H_s e T_p , no que se refere a valores médios, desvio padrão, máximo, mínimo, somatórios, entre outros. Adicionalmente, com foco ao cumprimento da fórmula da potência de energia das ondas, P , apresentada na Equação (2), considerou-se que o período de energia, T_e , equivale a $0.86T_p$, como simplificação do parâmetro α do espectro Pierson-Moskowitz. Ressalta-se que para melhor esclarecimento da análise da variabilidade de P ao longo do ano, foi necessário fazer o desvio padrão médio obtido de cada mês.

Por fim, através da busca do estabelecimento de uma clara relação entre os resultados reais de produção elétrica por meio das ondas, dentro da escala de meses e anos, e a potência de energia captada pelo protótipo CPOWEC (P_{CPOWEC}), levou-se em consideração, as limitações, a largura de captura de frente de onda ($C_w = 9$ m), e um rendimento estimado ($\eta = 51.5\%$), levemente superior ao máximo de 51% atingido pelo estudo da literatura referente ao projeto de Absorção Pontual *Wavebob* (comentado na Tabela 2), para cumprimento da Equação (9):

$$P_{\text{CPOWEC}} \simeq 0.491 H_s^2 T_e \eta C_w. \quad (9)$$

Dada a característica de ativação de modo de sobrevivência do sistema (desligamento em condições adversas), conforme MARINET (2015), restringiu-se a produção energética ao valor máximo de H_s igual a 8 m, quando exposto a T_p superior a 12 s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo de Caso - Portugal

4.2 Estudo de Caso - Brasil

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na minuciosa e ampla análise obtida pela base de dados *ERA5-ECMWF*, serão apresentados os resultados das variáveis envolvidas, a potência de energia das ondas e o potencial energético alcançado no projeto *HiWave-5*, com aplicabilidade do protótipo da empresa CorPower Ocean, em termos anuais e mensais, para os dois locais em estudo.

4.1 Estudo de Caso - Portugal

4.1.1 Resultados anuais

Inicialmente, recorreu-se ao estudo da direção de onda na região da Aguçadoura. O valor médio de Θ_m encontrado foi igual a 300.88° N, com um desvio padrão médio de 36.82° . Esse valor é importante por confirmar a orientação de origem do recurso natural. Porém, assinala-se que esse fator é de relevância relativa, pois o CPOWEC é do tipo Absorção Pontual, ou seja, consegue aproveitar energia proveniente de todas as direções.

A Figura 22 ilustra um gráfico comparativo entre a relativa variação dos parâmetros altura de onda significativa e do período de pico obtidos ao longo dos anos. A Tabela 6 ajuda a interpretar a Figura 22, listando valores médios de T_p e H_s iguais a 10.74 s e 2.04 m, respetivamente. A preocupação referente à limitação e desligamento do aparelho em situações adversas ($T_p > 12$ s e $H_s > 8$ m) é praticamente inexistente.

Durante os 71 anos, foi constatado que somente não haveria aproveitamento de energia durante um muito curto período de tempo, em particular, três dias no ano de 1959 (30/11, 01/12 e 07/12), um dia no ano de 1973 (17/01), um dia no ano de 1978 (11/12), dois dias no ano de 1979 (13 e 14/02), dois dias no ano de 1986 (16 e 17/02), um dia no ano de 2001 (28/01), um dia no ano de 2011 (17/02) e um dia no ano de 2013 (19/01). Destes, nota-se que o valor máximo de H_s alcançado foi de 9.85 m ao qual correspondeu um valor de $T_p = 16.41$ s, relativo ao ano de 1986. Por esse motivo, os valores médios e do desvio padrão da Tabela 6 que consideram os limites do CPOWEC (referenciados por « H_s limitada CPOWEC») são praticamente idênticos aos valores de agitação observados.

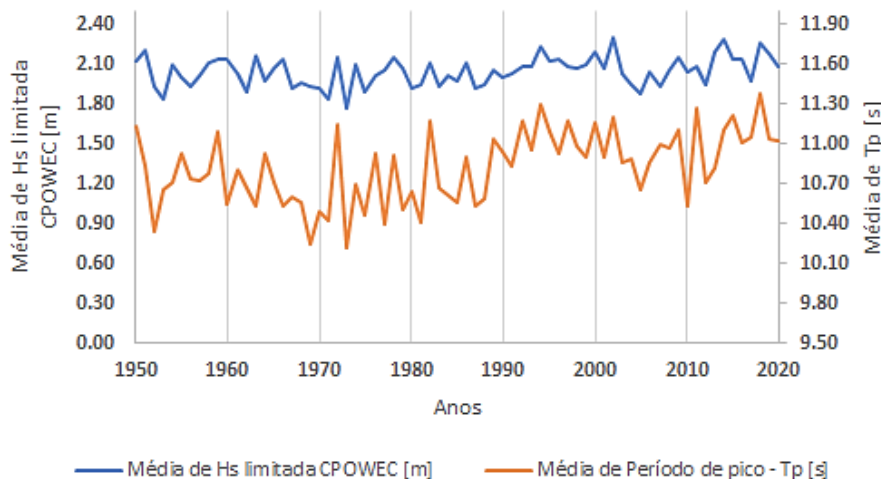


Figura 22 - Comparativo entre H_s limitada e T_p , ($T_p < 12$ s e $H_s < 8$ m) de 1950 a 2020, na Aguçadoura.

Tabela 6 - Valores aproximados, para variáveis limitantes do CPOWEC, na Aguçadoura.

VARIÁVEIS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
H_s das ondas [m]	0.37	9.85	2.04	0.98
H_s limitada CPOWEC [m]	0.00	8.00	2.04	0.97
T_p [s]	2.70	23.92	10.74	2.42

Desse modo, para $P \approx 0.491H_s^2T_e$, a potência média alcançada pelas ondas no Norte de Portugal, de 1950 a 2020, foi de 25.84 kW/m. O resultado corrobora os valores apresentados por Mota e Pinto (2014), relativamente ao estudo de 7 pontos da costa de Portugal, entre 1995 e 2010, a 50 m de profundidade. Esse estudo apresenta valores para os intervalos de regiões Norte/Centro (24.56 kW/m a 25.91 kW/m) e região Sudoeste (18.81 kW/m a 20.53 kW/m), confirmando que o valor encontrado para a região da Aguçadoura está de acordo com os dados extraídos do modelo ERA5.

Por fim, com largura de captura C_w igual a 9 m e um rendimento do protótipo assumido em $\eta = 51.5\%$, para a equação $P_{CPOWEC} \approx 0.491H_s^2T_e\eta C_w$, conseguiu-se obter como resposta da potência de energia extraída do aparelho do tipo Absorção Pontual da CorPower Ocean, um valor médio de 119.45 kW.

A Figura 22 evidencia que os valores médios H_s ao longo das décadas se mantêm sensivelmente constante, mas assiste-se a um ligeiro aumento dos valores de T_p . Sem pretender explorar os motivos que estão associados a esta possível alteração (e.g., alterações climáticas) é pertinente estudar os valores efetuando uma divisão por décadas. A Tabela 7 lista com detalhe a potência obtida ao longo das 7 décadas em análise, observando-se que os últimos 10 anos foram os de maior retorno energético, com média de 129.64 kW, associados a valores médios de H_s e T_p ligeiramente mais elevados. Esses dados encontram-se igualmente representados na Figura 23, ilustrando

que foi sobretudo um aumento médio dos valores de T_p que conduziu ao aumento da potência nas últimas três décadas.

Tabela 7 - Potência CPOWEC avaliada por décadas na Aguçadoura.

DÉCADAS	MÉDIA DE H_s LIMITADA CPOWEC [m]	MÉDIA DE PERÍODO DE PICO - T_p [s]	MÉDIA DE POTÊNCIA CPOWEC [kW]
1950	2.03	10.70	116.50
1960	2.02	10.55	113.10
1970	1.99	10.56	115.57
1980	1.99	10.63	113.47
1990	2.09	10.94	125.39
2000	2.06	10.88	122.02
2010	2.12	10.92	129.64

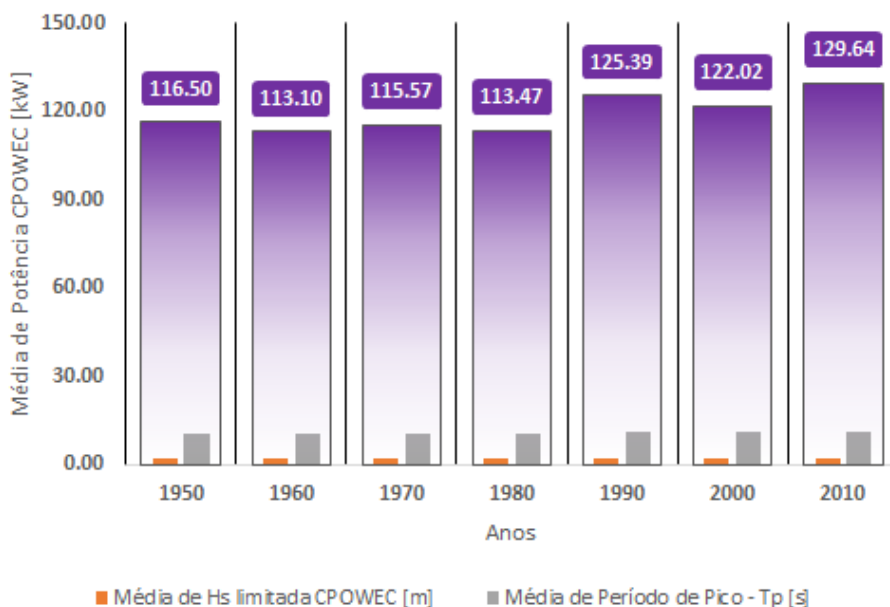


Figura 23 - Histórico da potência CPOWEC avaliada por décadas na Aguçadoura.

4.1.2 Resultados mensais

Partindo-se de θ_m , observou-se que existe uma variabilidade sazonal dos dados registados. A Figura 24 evidencia que nos meses de julho e agosto, ápice do verão, a direção de onda apresenta valores entre 317.83° N e 315.21° N, respetivamente. Efetuados cálculos do desvio padrão desta variável, permitem concluir que nas sete décadas de dados é, também no verão, que existe menor desvio padrão de θ_m .

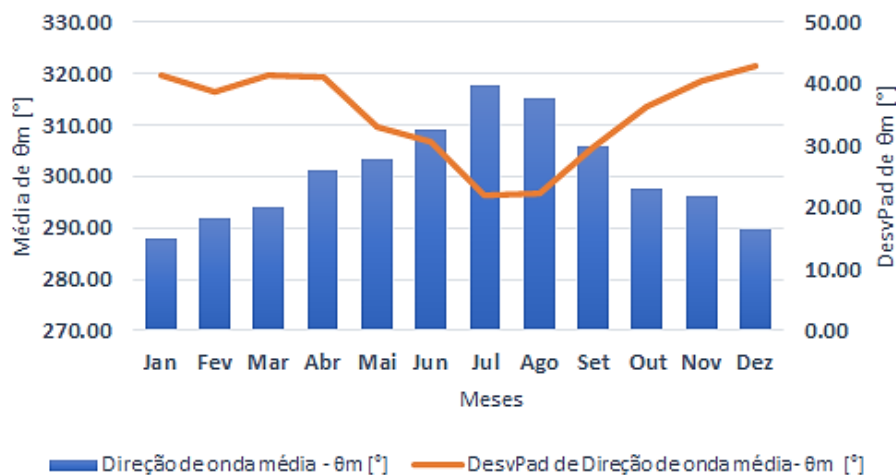


Figura 24 - Comparativo entre média de θ_m e seu desvio padrão, ao decorrer dos meses, na Aguçadoura.

Confirma-se o histórico de oscilações atmosféricas de Portugal, com depressões mais frequentes durante o inverno (dezembro a março), que conduzem a médias de H_s e T_p com variações também distintas dos valores de verão. A Tabela 8 lista as variações encontradas e a representação gráfica de ambas as variáveis, em função do desvio padrão, é incluída na Figura 25.

Tabela 8 - Comportamento médio de H_s limitada CPOWEC e T_p , ao longo dos meses, na Aguçadoura.

MESES	MÉDIA DE H_s LIMITADA CPOWEC [m]	MÉDIA DE PERÍODO DE PICO - T_p [s]
Jan	2.56	12.70
Fev	2.52	12.59
Mar	2.25	12.02
Abr	1.93	10.83
Mai	1.67	9.78
Jun	1.43	8.99
Jul	1.35	8.41
Ago	1.39	8.86
Set	1.59	10.47
Out	1.94	11.26
Nov	2.21	11.70
Dez	2.50	12.41

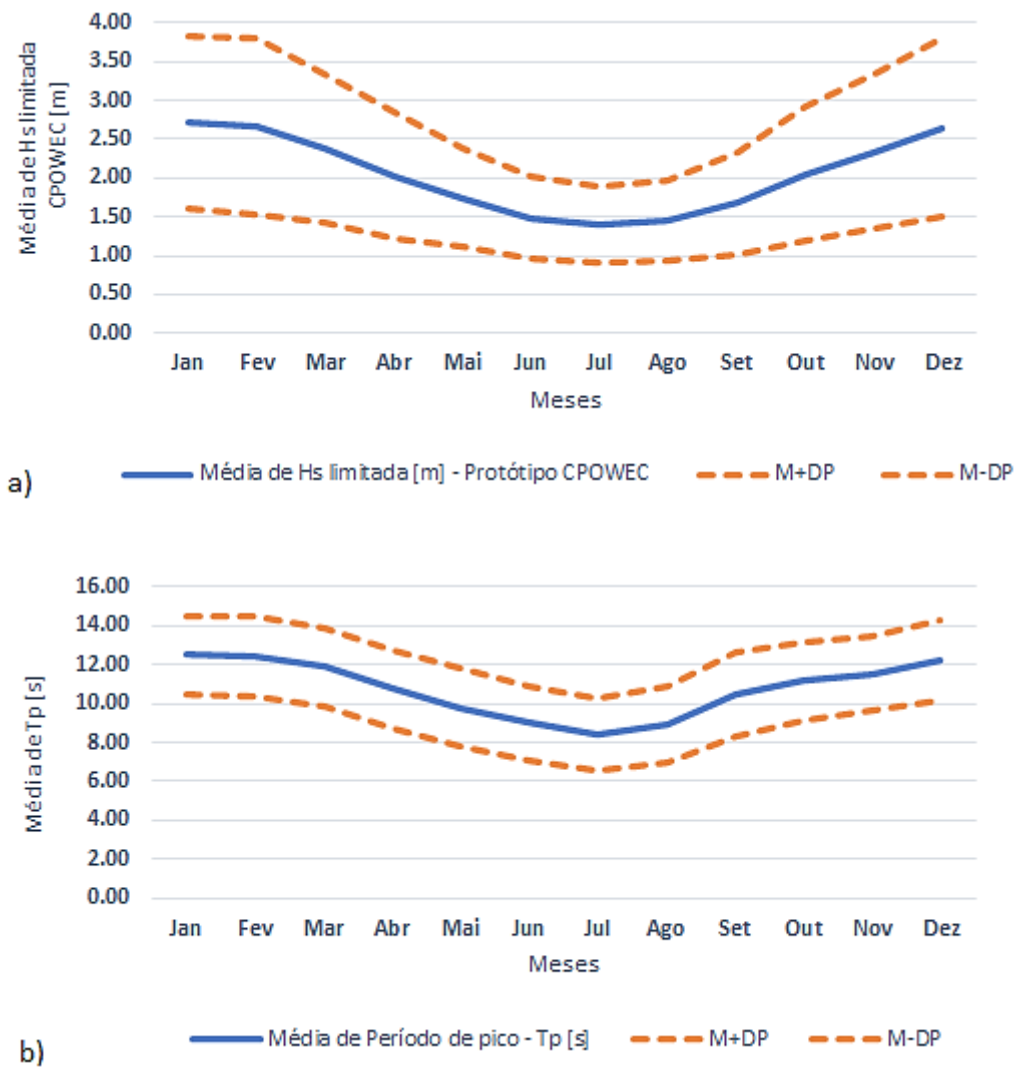


Figura 25 - Variação de H_s limitada CPOWEC a) e T_p b), durante os meses do ano, na Aguçadoura. As linhas sólidas representam os valores médios. As linhas tracejadas, a soma e subtração das médias ao respetivo desvio padrão.

É notório que o inverno do hemisfério norte (dezembro a março) é a altura em que se deve retirar melhores ganhos energéticos associados a valores mais elevados de ambas variáveis H_s e T_p . A Figura 26 relata as potências reais do recurso das ondas, na zona da Aguçadoura, sendo o mês de janeiro de maior retorno, com média de P igual a 47.57 kW/m. Constata-se ainda que este valor é praticamente seis vezes mais baixo no mês de julho (8.03 kW/m), evidenciando uma grande variabilidade mensal do potencial de energia associado às ondas ao longo do ano.

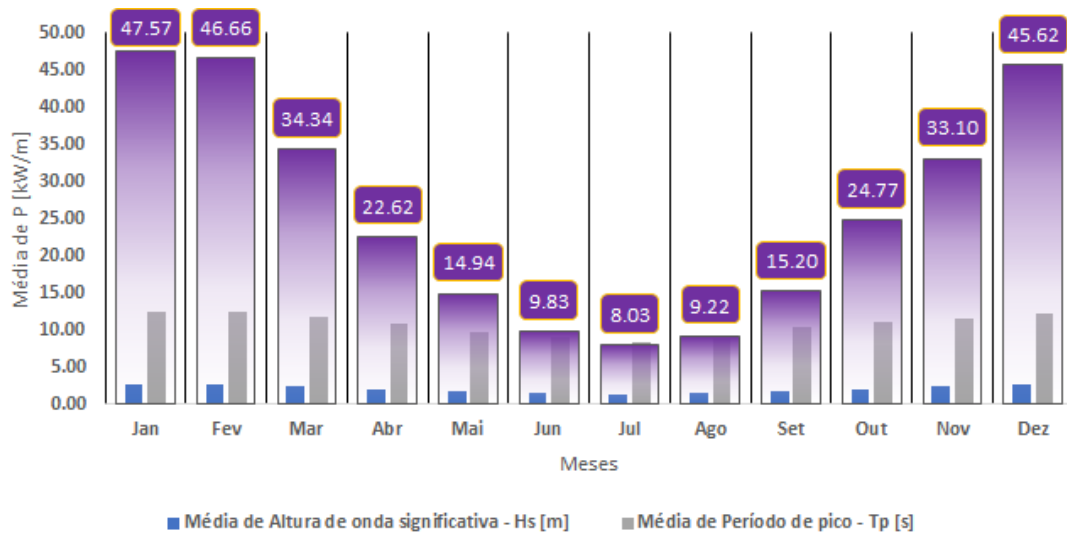


Figura 26 - Potencial de energia das ondas, ao longo dos meses, na Aguçadoura.

De modo a se atentar para uma futura análise de risco, foi feita uma filtragem individual dos 71 anos de dados para o referido mês de janeiro relativamente aos valores de P , encontrando-se representada da Figura 27. Observa-se uma grande variabilidade, com valor médio mínimo em 1953 (18.05 kW/m) e médio máxima em 1996 (102.96 kW/m). Por conseguinte, há que notar que existe uma variabilidade grande que se reflete nos valores elevados do desvio padrão médios mensais que se encontram assinalados na Figura 28.

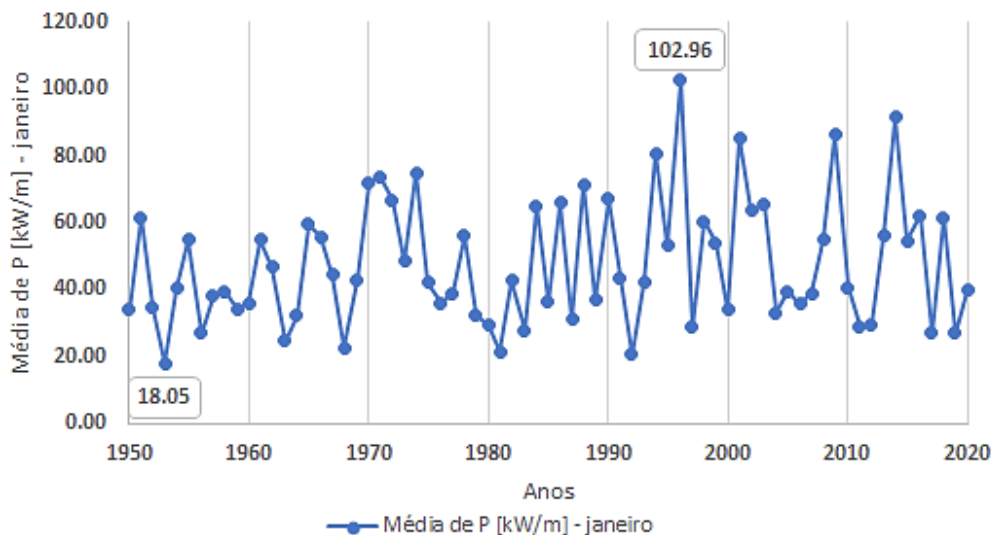


Figura 27 - Variabilidade da média de P no mês de janeiro, de 1950 a 2020, na Aguçadoura.

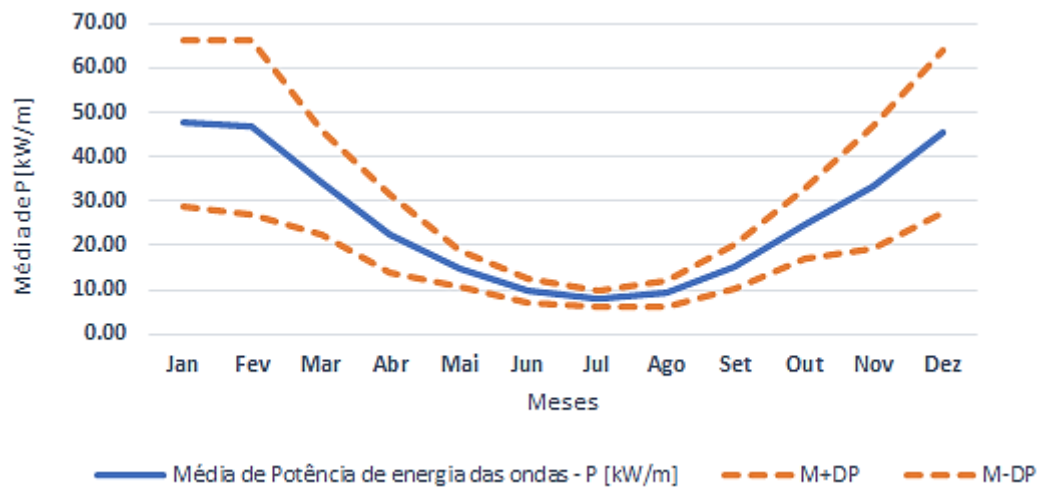


Figura 28 - Variação de P durante os meses do ano, na Aguçadoura. As linhas sólidas representam os valores médios. As linhas tracejadas, a soma e subtração das médias ao respetivo desvio padrão médio mensal.

Ao considerar os valores da Figura 26, consegue-se mostrar a diferença para o recurso obtido pelo protótipo, já em kW, obtendo-se um valor médio máximo de 219.53 kW para o mês de janeiro (Figura 29).

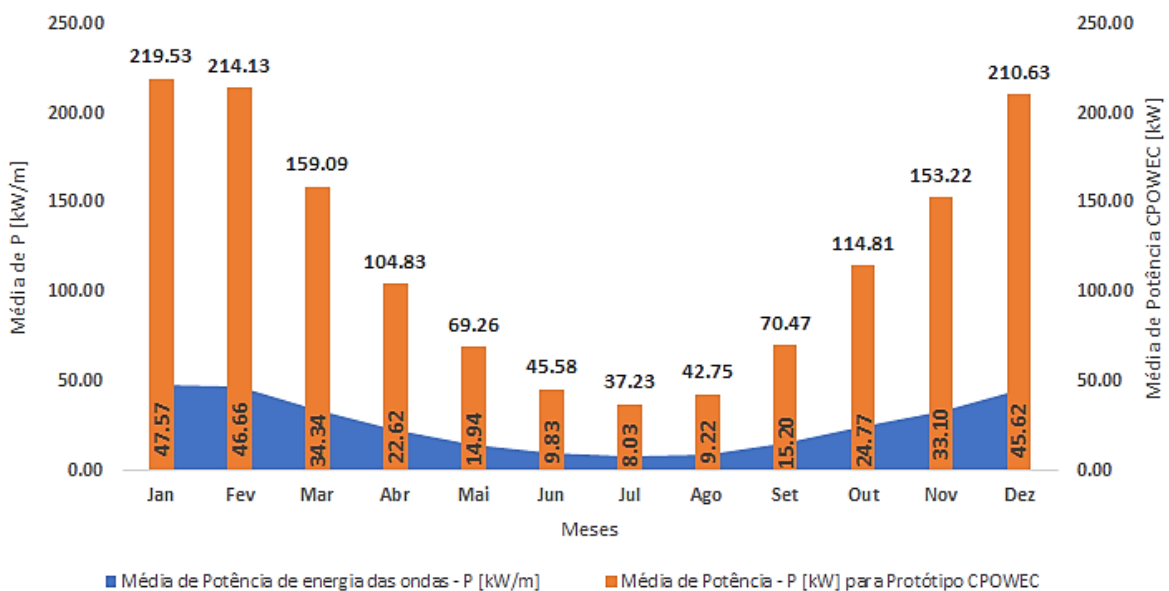


Figura 29 - Comparativo entre as potências das ondas e do dispositivo CPOWEC, ao longo dos meses, na Aguçadoura.

Por último, numa perspetiva comercial, considerando todos os dias e horas da base de dados, efetuou-se o somatório dos valores mensais de P_{CPOWEC} (Figura 30),

convertendo-os para MWh, notando-se que, anualmente, poderiam ter sido produzidos 1048.09 MWh, na Aguçadoura.

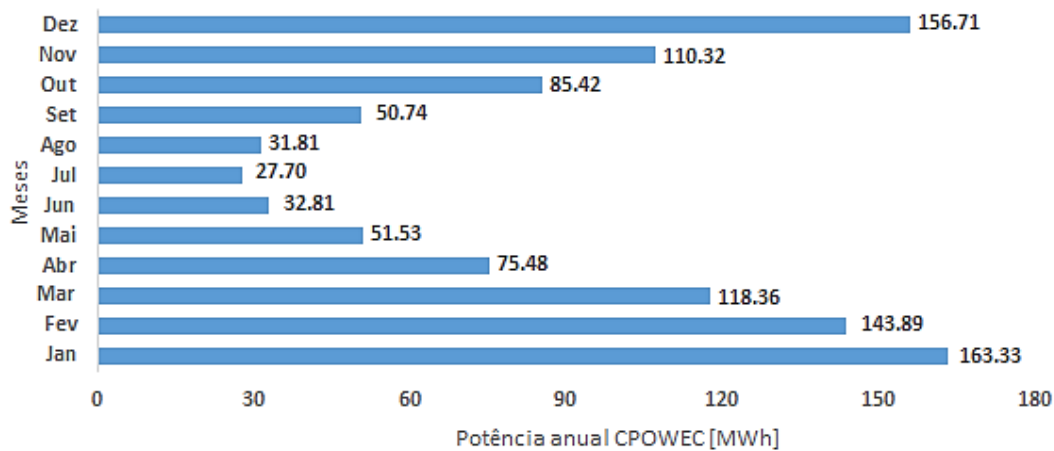


Figura 30 - Perspetiva comercial do valor de potência CPOWEC, ao longo dos meses, na Aguçadoura.

Sabendo-se do estabelecimento de um caminho livre para um nivelado custo de energia, em torno de 60 €/MWh, isso resultaria em, aproximadamente, 62 885 € de investimento anual. O custo nivelado da energia – *Levelized Cost of Energy* (LCOE), também conhecido como custo nivelado da eletricidade, é um indicador económico que traduz o custo do sistema de geração de energia, incluindo todas as despesas ao longo da sua vida útil, como o investimento inicial, operação e manutenção, custo do combustível e custos de capital investido. Por conseguinte, o valor alcançado representa uma medida usada para avaliar e comparar o custo de produção de energia elétrica, a partir de fontes alternativas.

4.2 Estudo de Caso - Brasil

4.2.1 Resultados anuais

Assim como foi feito anteriormente, a princípio, investigou-se a direção de onda na região de Rio Grande, cujo valor médio de Θ_m encontrado foi igual a 125.96° N, com um desvio padrão médio de 55.29°.

A seguir, pode ser observada na Figura 31 a comparação entre a variação da altura de onda significativa limitada e do período de pico. Neste local, evidencia-se que as médias de H_s e de T_p , ao longo das 7 décadas, apresentam um ligeiro aumento dos valores. Embora não se pretenda aqui explorar os motivos que estão associados a esta possível alteração (e.g., alterações climáticas), percebe-se de antemão que um estudo do

potencial energético efetuado por décadas denotará, igualmente, uma subida dos valores da potência.

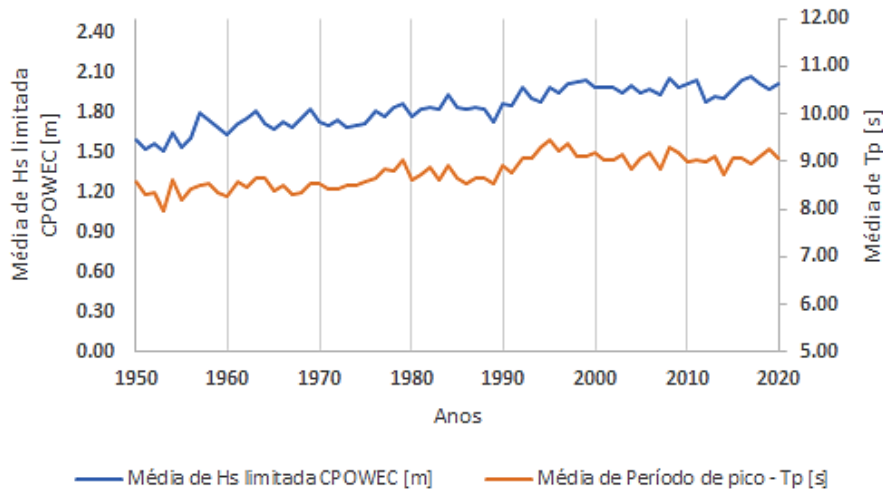


Figura 31 - Comparativo entre H_s limitada e T_p ($T_p < 12$ s e $H_s < 8$ m), de 1950 a 2020, no Rio Grande.

A Tabela 9 lista os valores mínimos, máximos, desvio padrão, e valores médios de H_s e T_p . Em termos médios, tem-se $H_s = 1.84$ m e $T_p = 8.78$ s. Se a preocupação referente à limitação e desligamento do aparelho em situações adversas ($T_p > 12$ s e $H_s > 8$ m) no Norte de Portugal era praticamente muito baixa, no Rio Grande isso é inexistente.

Verificou-se que entre 1950 e 2020, a exploração total de energia só ficaria muito próxima de ser comprometida, durante um curto período, em um dia no ano de 1999 (17/04), para $H_s = 8.45$ m com $T_p = 11.98$ s. Logo, da maneira ocorrida na Aguçadoura, a Tabela 9 comprova a semelhança entre os valores de agitação observados no local, e os valores médios e desvio padrão de limites do CPOWEC.

Tabela 9 - Valores aproximados, para variáveis limitantes do CPOWEC, no Rio Grande.

VARIÁVEIS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
H_s das ondas [m]	0.50	8.45	1.84	0.69
H_s limitada CPOWEC [m]	0.00	8.00	1.84	0.69
T_p [s]	3.23	23.87	8.78	2.00

Assumindo o período de energia, T_e , igual ao produto entre $\alpha = 0.86$ e T_p , a potência média alcançada pelas ondas no Sul do Brasil, nos 71 anos de dados, foi de 14.93 kW/m. O resultado enquadra-se ao estudo dos dados das boias PNBOIA RG e PNBOIA CF, entre 1973 e 1983, referida no capítulo 2 (recordar Figura 15), confirmando a magnitude energética da região para um intervalo de 14 kW/m a 18 kW/m (Guimarães *et al.*, 2019).

Por fim, para o mesmo C_w e η usados pelo protótipo em Portugal, foi possível obter o valor médio de P_{CPOWEC} igual a 69.20 kW.

Em uma divisão por décadas, apresentada pela Tabela 10, lista-se um crescimento contínuo espetável, com ápice nos anos 2000, a um valor médio de 81.95 kW. Comparando esta década com a dos anos 50, nota-se um aumento de cerca de 1,6 vezes. No entanto, observa-se que os valores das últimas duas décadas são muito similares, o que corrobora o mapa apresentado na Figura 12, do estudo de 1989 a 2018, com índices de variabilidade interanual (*inter-annual variability* – IAV) inferior a 10% nas latitudes correspondentes desta região sul-americana (Rusu e Rusu, 2021).

Tabela 10 - Potência CPOWEC, avaliada por décadas, no Rio Grande.

DÉCADAS	MÉDIA DE H_s LIMITADA CPOWEC [m]	MÉDIA DE PERÍODO DE PICO - T_p [s]	MÉDIA DE POTÊNCIA CPOWEC [kW]
1950	1.62	8.39	50.91
1960	1.73	8.47	58.46
1970	1.75	8.63	62.22
1980	1.82	8.68	67.60
1990	1.95	9.13	79.74
2000	1.98	9.08	81.95
2010	1.98	9.04	81.64

O aumento da potência registrado ao longo das 7 décadas pode ser visualizado, igualmente, na Figura 32. De facto, nas últimas três décadas parece que o potencial energético se encontra mais constante, assumindo um patamar que ronda os 80 kW.

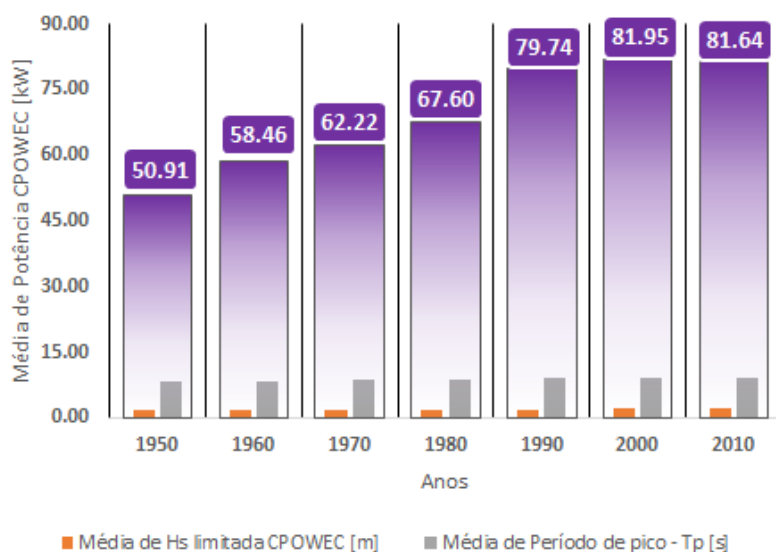


Figura 32 - Histórico da potência CPOWEC, avaliada por décadas, no Rio Grande.

4.2.2 Resultados mensais

Relativamente à direção da agitação, θ_m , observou-se baixas variações mensais e dispersões de dados, comparativamente ao que foi apresentado no primeiro estudo de caso de Portugal (

Figura 33). Aqui, para os meses de maio e junho obtiveram-se valores de 142.58° N e 143.19° N, respetivamente, e para dezembro e janeiro, valores de 115.10° N e 112.54° N, respetivamente. Isso corresponde a uma variação de θ_m inferior a 20° enquanto, no caso de Portugal, as diferenças maiores podiam alcançar 30° (Figura 24). Contudo, nota-se que o desvio padrão ao longo dos meses é quase sempre superior a 50° nesta região do Brasil, em oposição ao Norte de Portugal, que é quase sempre inferior a 40° .

Confirma-se o histórico de oscilações atmosféricas do Brasil, com depressões mais frequentes no inverno, porém, diferentemente de Portugal, em decorrência do movimento de translação, dada a posição do hemisfério sul em relação ao sol, a região de Rio Grande terá maior potencial energético entre os meses de junho a setembro. A confirmar, a

Tabela 11 lista informação das médias mensais de H_s e T_p .

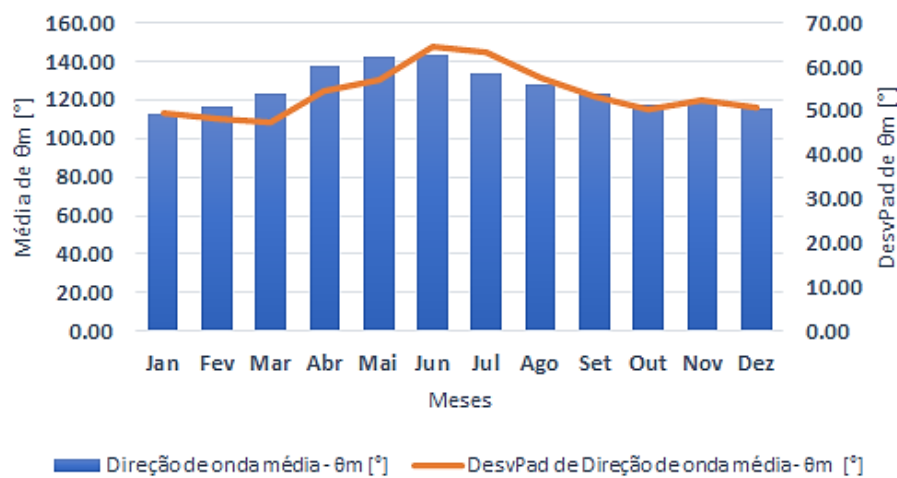


Figura 33 - Comparativo entre média de θ_m e seu desvio padrão, ao decorrer dos meses, no Rio Grande.

Tabela 11 - Comportamento médio de H_s limitada CPOWEC e T_p , ao longo dos meses, no Rio Grande.

MESES	MÉDIA DE H_s LIMITADA CPOWEC [m]	MÉDIA DE PERÍODO DE PICO - T_p [s]
Jan	1.61	8.16
Fev	1.65	8.27
Mar	1.73	8.64
Abr	1.83	9.04
Mai	1.88	9.41
Jun	1.94	9.29
Jul	1.92	9.10
Ago	1.92	8.98
Set	2.07	9.03
Out	1.92	8.63
Nov	1.83	8.51
Dez	1.71	8.25

A representação gráfica de ambas as variáveis, em função do desvio padrão, é relatada na Figura 34. Sendo o mês de setembro que apresenta o maior valor médio de H_s , é por volta de junho que se assiste a uma maior variabilidade desta variável, confirmada pelos valores mais elevados do desvio padrão. É, também, em junho que se assiste ao maior desvio padrão de T_p . Contudo, nesta região do Brasil em estudo, em termos médios, constata-se que a variação mensal de T_p é reduzida, pois situa-se praticamente sempre entre os 8 e os 9 s.

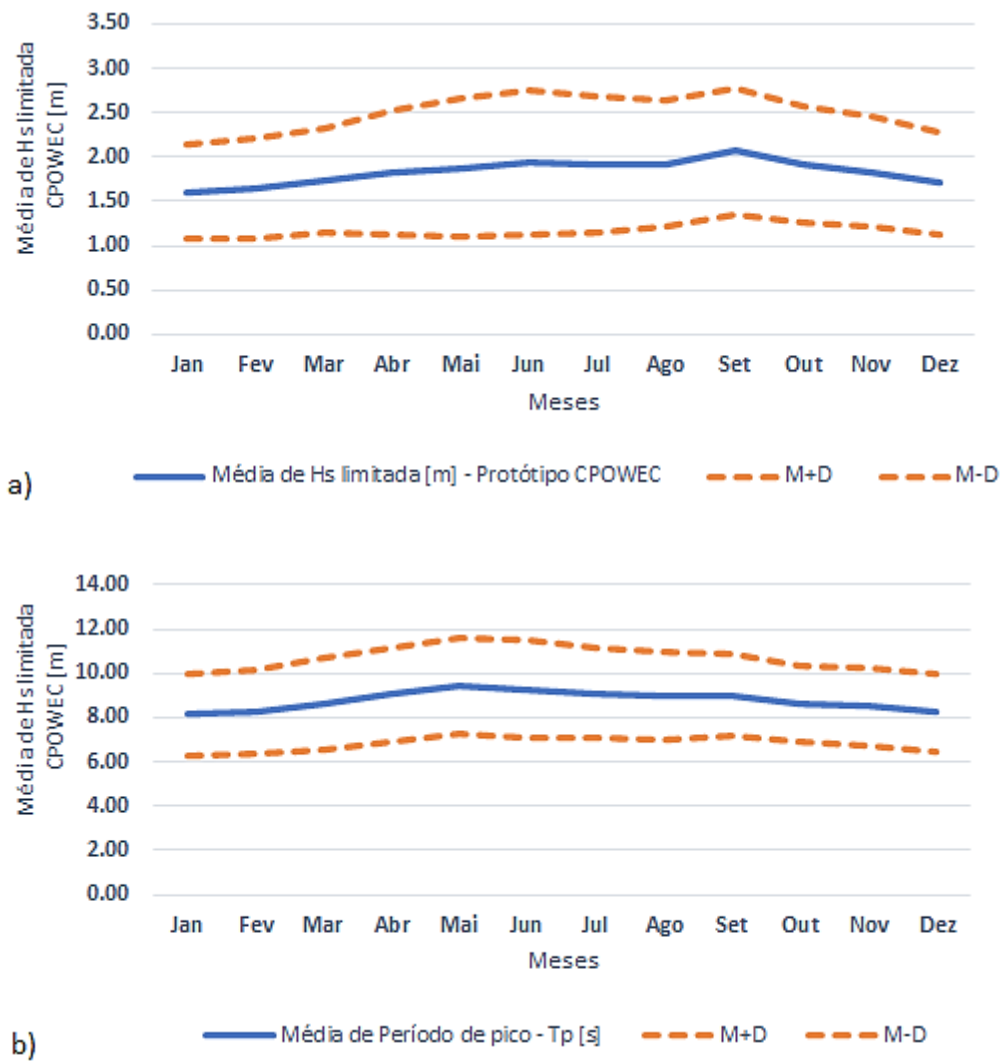


Figura 34 - Variação de H_s limitada CPOWEC a) e T_p b), durante os meses do ano, no Rio Grande. As linhas sólidas representam os valores médios. As linhas tracejadas, a soma e subtração das médias, ao respectivo desvio padrão.

Assim, é notório que é durante o inverno, seja na Europa ou na América do Sul, em que este tipo de aproveitamento de ondas conduz aos melhores valores energéticos. A Figura 35 relata as potências reais do recurso das ondas, no litoral do Rio Grande, onde o mês de setembro foi o de maior retorno, com média P igual a 18.97 kW/m.

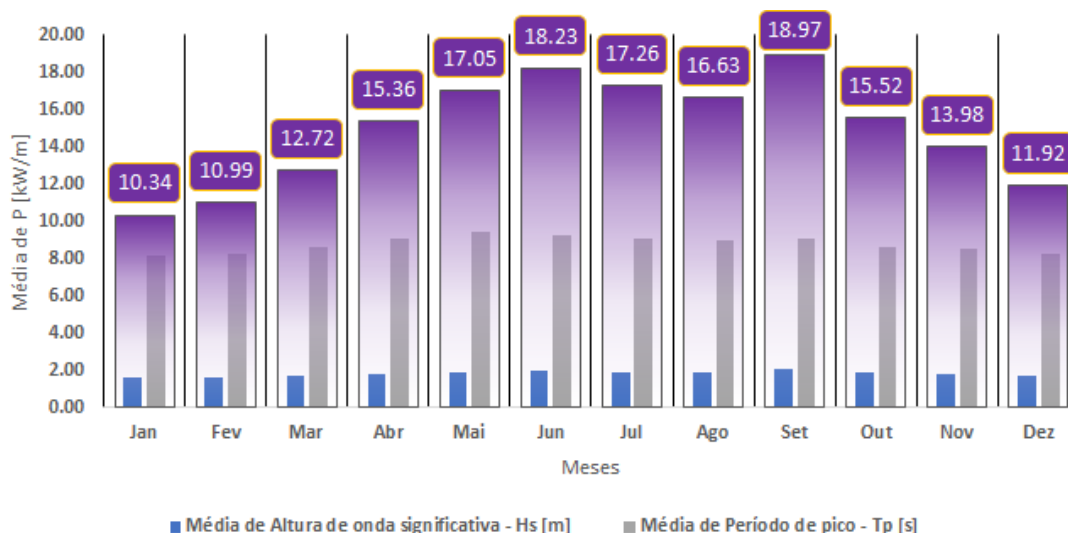


Figura 35 - Potencial de energia das ondas – P , ao longo dos meses, no Rio Grande.

Entretanto, assim como no estudo do mês de alta em Portugal (janeiro), de modo a se atentar para uma futura análise de risco, foi feita uma filtragem individual dos 71 anos de dados para o referido mês de setembro, cujo gráfico da Figura 36 evidencia uma boa previsibilidade, dada a menor variação, com média mínima em 1956 (6.71 kW/m) e média máxima em 2002 (30.17 kW/m). Por conseguinte, há que notar que existe uma menor variabilidade que se reflete nos valores do desvio padrão médios mensais que se encontram assinalados na Figura 37.

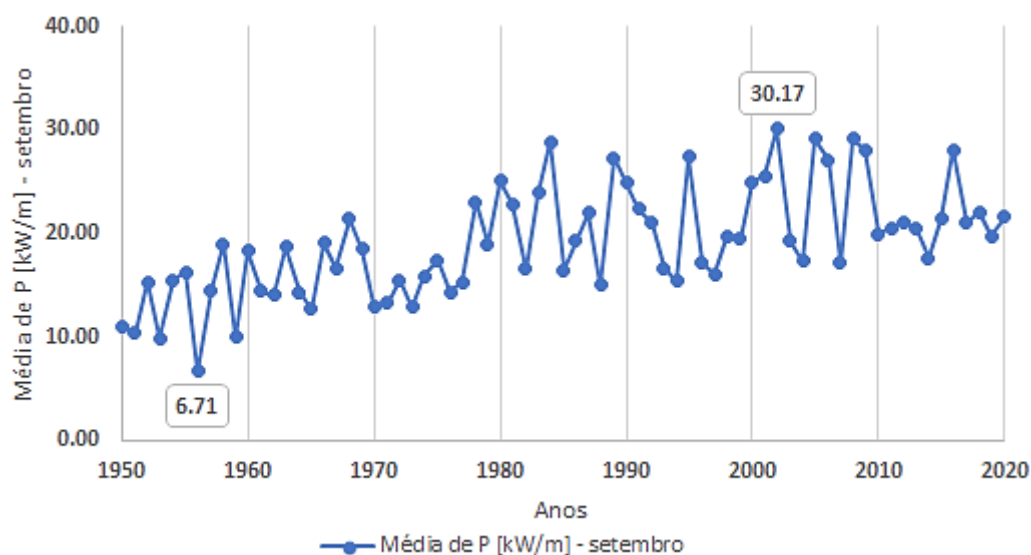


Figura 36 - Variabilidade da média de P no mês de setembro, de 1950 a 2020, no Rio Grande.

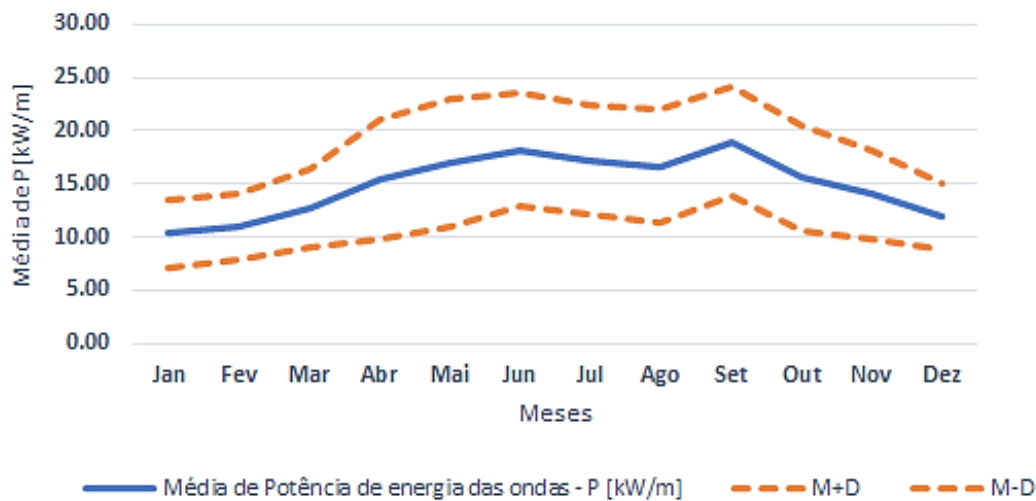


Figura 37 - Variação de P durante os meses do ano, no Rio Grande. As linhas sólidas representam os valores médios. As linhas tracejadas, a soma e subtração das médias, ao respetivo desvio padrão médio mensal.

Considerando os valores do potencial de energia da Figura 35, consegue-se alcançar para o protótipo para o mês de setembro um valor médio máximo de 87.92 kW (Figura 38). Este valor é sensivelmente o dobro do valor mais baixo obtido para o mês de janeiro de 47.92 kW. Constata-se, portanto, que a variabilidade entre meses nesta região do Brasil é muito inferior à observada para a região da Aguçadoura, onde a diferença máxima podia ser de quase seis vezes (recordar Figura 29).

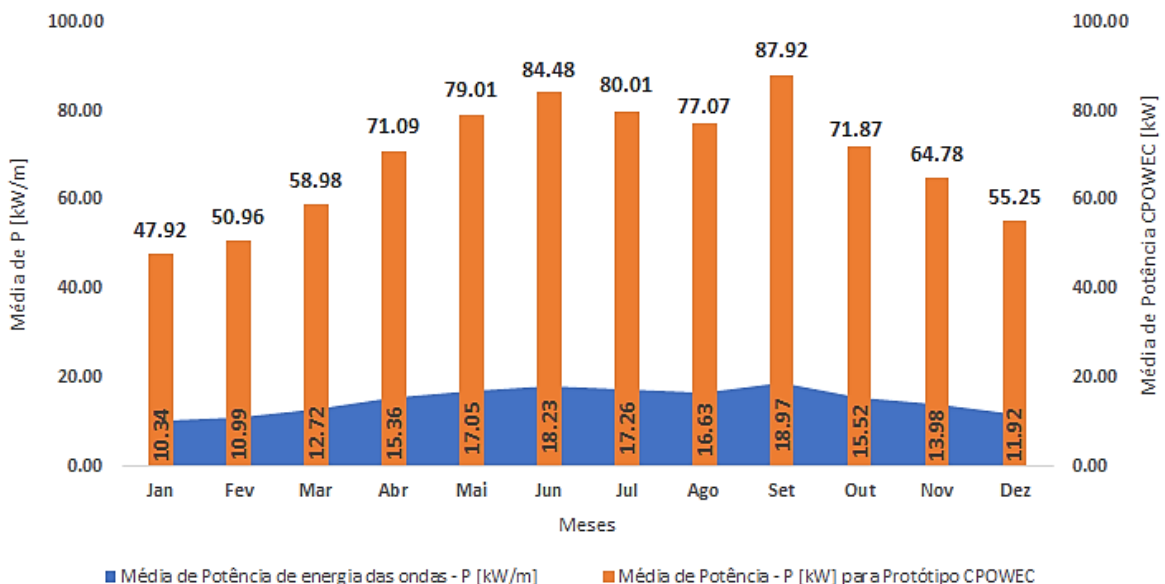


Figura 38 - Comparativo entre as potências das ondas e do dispositivo CPOWEC, ao longo dos meses, no Rio Grande.

Finalmente, na perspectiva comercial, a considerar todos os dias e horas da base de dados, a Figura 39 mostra o somatório dos valores mensais de P_{CPOWEC} , a dizer que na região de Rio Grande, poderiam ser produzidos 605.96 MWh, anualmente.

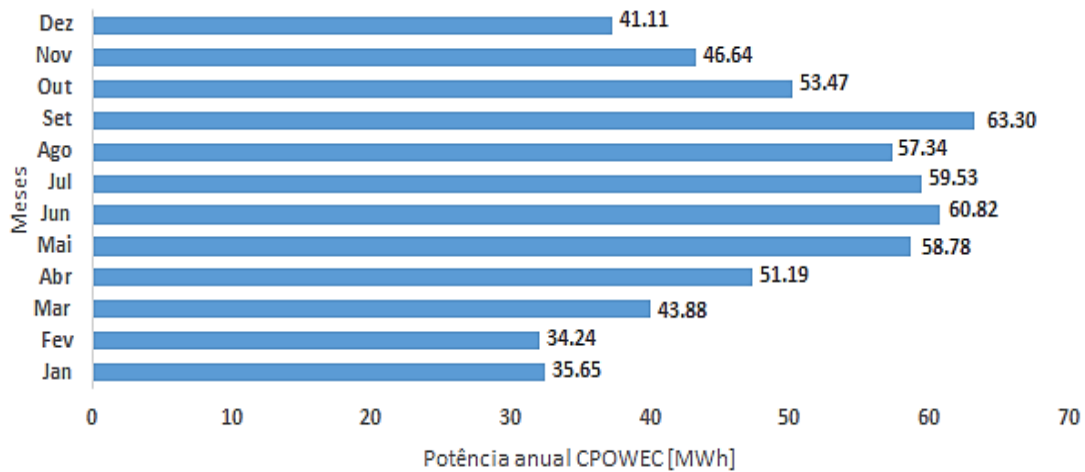


Figura 39 - Perspetiva comercial do valor de potência CPOWEC, ao longo dos meses, no Rio Grande.

Portanto, diante de um LCOE de 60 €/MWh, isso resultaria em, aproximadamente, 36 358 € de investimento anual.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- 5.1 Conclusões
- 5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

Este trabalho recorre a um conjunto de dados de *hindcast* de agitação marítima, entre os anos de 1950 a 2020, com aplicação do modelo de quinta geração *ERA5 Hourly Data on Single Levels*, do ECMWF. O objetivo prende-se com a avaliação do potencial energético para duas localizações geográficas escolhidas para aplicação do projeto de aproveitamento da energia das ondas *HiWave-5*. Um local escolhido corresponde à região da Aguçadoura, localizada no Norte de Portugal, onde se prevê a instalação efetiva deste projeto e, o outro local, situa-se na região costeira de Rio Grande, no Sul do Brasil.

A análise de dados de sete décadas permitiu caracterizar as condições de agitação de ambos os locais. Constatou-se que os valores médios das variáveis da altura de onda significativa e do período de pico de onda, respectivamente, para o Norte de Portugal (2.04 m e 10.74 s) e o Sul do Brasil (1.84 m e 8.78 s), não comprometem significativamente o absoluto desempenho do CPOWEC, frente às suas limitações, em modo de sobrevivência a condições adversas. Nota-se, ainda, que este tipo de tecnologia não depende da direção de propagação das ondas.

Em termos de avaliação anual, dos 25.84 kW/m de potência média de energia das ondas disponibilizados na faixa oceânica da Aguçadoura, o protótipo proposto conseguiria captar 119.45 kW. Notou-se também que a última década foi ligeiramente mais energética que as demais. Já na zona de Rio Grande, dos 14.93 kW/m presentes, podia-se extrair 69.20 kW. Notou-se que a década de 2000 apresentou um aumento de energia que se tem mantido sensivelmente constante até 2020. Enfatiza-se que o valor mais alto para Portugal é diretamente proporcional a sua latitude, pois encontra-se dentro de um bom intervalo (30 a 60°) onde existe um bom potencial de energia de ondas.

De modo mais detalhado, a avaliação mensal pôde comprovar que o inverno (a obedecer ao período anual de cada continente), é a estação do ano de maior retorno energético. Em Janeiro (ápice do inverno europeu), na Aguçadoura, alcançou-se o valor médio de P_{CPOWEC} de 219.53 kW, para uma disponibilidade natural de 47.57 kW/m. Em Setembro (ápice do inverno sul-americano), no Rio Grande, alcançou-se o valor médio de P_{CPOWEC} de 87.92 kW, para uma disponibilidade natural de 18.97 kW/m. Não obstante, a variabilidade entre meses na região do Brasil é muito inferior à observada para a região de Portugal, onde a diferença máxima entre meses pode ser muito significativa.

Em suma, com um valor anual acumulado de 1048.09 MWh, pela unidade de tecnologia sueca, o Norte de Portugal consolida seu potencial de energia das ondas, com um investimento anual de 62 885 €, que tende a cumprir metas de grande geração elétrica sustentável, em um prazo bem menor do que o Sul do Brasil, com expectativa de crescimento exponencial até 2030, graças ao aumento do número de dispositivos, em conceito de fazenda. Entretanto, apesar dos seus 605.96MWh acumulados e investimento anual de 36 358 €, ressalta-se um olhar diferenciado para a menor variabilidade sazonal e maiores resultados de médias mensais brasileiras na estação do verão, quando comparados as baixíssimas produções de energia do cenário português.

5.2 Sugestões de Trabalhos Futuros

Apesar da menor potência instalada acumulada, em comparação com Portugal, observa-se no Brasil, uma oportunidade de trabalhos futuros que sejam voltados a tentar equivaler os resultados aqui apresentados e atrair importantes investidores para a produção de eletricidade renovável, pelo estudo do comportamento das ondas, via dados de boias, para adoção futura de duas fazendas de ondas ou ainda melhor, na implantação de uma fazenda que atue integrada a um parque eólico *offshore*. Por esta última proposta, o Norte português pode vir a ser muito sugestivo a novos programas de análise, entre o consolidado projeto *WindFloat Atlantic* e o conhecimento da CorPower Ocean nessa geração combinada, afinal, a empresa já fornece a interligação dessa matriz de conversão de energia das ondas, a um parque eólico flutuante administrado por outra instituição, a Simply Blue Energy, a cerca de 4 km da costa da cidade de Clare - Irlanda. A menor variabilidade sazonal do potencial energético observado para o Brasil poderá conduzir a estratégias que consigam melhorar o rendimento deste tipo de sistemas de aproveitamento, podendo ser interessante explorar esta característica de futuro.

Adicionalmente, os dados de agitação ao longo de 7 décadas apresentam algumas variações que podem advir, por exemplo, de alterações climáticas. Será interessante explorar esta questão de futuro em termos energéticos, efetuando uma análise de um conjunto de cenários hipotéticos.

Alargar esta análise a dados de agitação marítima obtidos de boias e de modelos de reanálise de alta resolução para avaliar variações de longo e médio prazo no potencial da energia de ondas, em ambas as costas, muito enriqueceria trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADERINTO, Tunde; LI, Hua - Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters. **Energies** **2019**, Vol. **12**. 12:22, 4329 (2019). doi: 10.3390/EN12224329.

BELL, B, *et al.* - **ERA5 hourly data on single levels from 1950 to 1978 (preliminary version)** [Em linha], atual. Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS). 2020. [Consult. 25 mai. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-preliminary-back-extension?tab=overview>>.

BEN - **Balanço Energético Nacional** [Em linha], Relatório Final: Ano Base 2019. 2020. [Consult. 12 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf>.

BOSSERELLE, Cyprien, *et al.* - **Waves and Coasts in the Pacific Cost analysis of wave energy in the Pacific** [Em linha], Pacific Community. 2015. [Consult. 3 mai. 2021]. Disponível em WWW:<URL:http://wacop.gsd.spc.int/WACOP-COE_Wave_Pacific-FINAL.pdf>.

BP - **Energy Outlook 2020 edition** [Em linha], British Petroleum. 2020. [Consult. 30 mar. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf>>.

CALEJO, Paulo Joaquim Pires - **Sistema conversor de energia das ondas do mar**. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, [S.l.], 2012. Tese de mestrado.

CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES - Ocean Energy Conversion in Europe: Recent advancements and prospects. **RTD info**, (2006) 36.

CORPOWER OCEAN - **Communication - Press kit - CorPower Ocean - 2021** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 16 ago. 2021]. Disponível em WWW:<URL:[https://corpowersharing.sharepoint.com/sites/Communication/Delade dokument/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FCommunication%2FDelade dokument%2FGeneral%2FPress kit%2FPress kit - CorPower Ocean - 2021&p=true&originalPath=aHR0cHM6Ly9jb3Jwb3dldm9jZWZuLnNoYXJlcG9pbmQuY29tLzpmOi9zL0NvbW11bmljYXRpb24vRWtKeVl6dnM3TmxBbmhScmVPeUVCUUFWZm01VWV5Rjcxc1JCb2R0ajZHQ9ydGltZT02a1BVc3M1ZzJVZw](https://corpowersharing.sharepoint.com/sites/Communication/Delade%20dokument/Forms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FCommunication%2FDelade%20dokument%2FGeneral%2FPress%20kit%2FPress%20kit%2FCorPower%20Ocean%2021&p=true&originalPath=aHR0cHM6Ly9jb3Jwb3dldm9jZWZuLnNoYXJlcG9pbmQuY29tLzpmOi9zL0NvbW11bmljYXRpb24vRWtKeVl6dnM3TmxBbmhScmVPeUVCUUFWZm01VWV5Rjcxc1JCb2R0ajZHQ9ydGltZT02a1BVc3M1ZzJVZw)>.

CORPOWER OCEAN - **Dropbox - Press kit - CorPower Ocean - 2020** [Em linha], atual. 2020. [Consult. 28 jul. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.dropbox.com/sh/gfqsg5o682v68rt/AADuEgQAG0ZRikekO42f18PLa?dl=0>.

CORPOWER OCEAN - **Technology** [Em linha], atual. 2019. [Consult. 20 jun. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.corpowerocean.com/technology/>.

CRUZ, Bernardo Ferreira Freire da - **Diagnóstico de Falhas num Conversor de Energia das Ondas**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, [S.l.], 2018. Tese de mestrado.

CRUZ, João; SARMENTO, António - **Energia das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais**. [S.l.]: Instituto do Ambiente - Alfragide, Portugal, 2004. ISBN 9728577117.

DGEG - **Energia dos Oceanos – Implantação em Portugal** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 8 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/energia-dos-oceanos/implantacao-em-portugal/>.

EPE - **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050** [Em linha], Nota Técnica PR 04/18 – Série Recursos Energéticos. 2018. [Consult. 13 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/NT04_PR_RecursoEnergeticos 2050.pdf>.

FALNES, Johannes - *Ocean Waves and Oscillating Systems: Linear Interaction including Wave-Energy Extraction*. **Cambridge University Press**. ISSN 00704571. 52:100, 75–83 (2002). doi: 10.1016/S0070-4571(08)70417-5.

FONTES, Margarida - **Caracterização das principais condicionantes socioeconómicas ao desenvolvimento e implementação das tecnologias e identificação de estratégias de abordagem**. [Em linha], Relatório Final – Atividade 5, Projeto OffshorePlan, 2019. [Consult. 15 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://offshoreplan.Ineg.pt/wp-content/uploads/2020/06/D5.1-Analise-SocioEconomica-Desenvolvimento-Disseminacao-Tecnologias-Renovaveis-Offshore.pdf>.

GOMES, João Graça, *et al.* - Modeling and planning of the electricity energy system with a high share of renewable supply for Portugal. **Energy**. ISSN 03605442, 211 (2020). doi: 10.1016/j.energy.2020.118713.

GOMES, Mateus Das Neves - **Constructal Design de Dispositivos Conversores de Energia das Ondas do Mar em Energia Elétrica do tipo Coluna de Água Oscilante**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, [S.l.], 2014. Tese de doutoramento.

GONÇALVES, Willian Mattes, *et al.* - Energia de ondas: aspectos tecnológicos e econômicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil. **ResearchGate**. 1–12 (2015).

GOOGLE – **Aguçadoura e Rio Grande – Google Maps** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 26 mai. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://goo.gl/maps/rn5QnFRsdvrfBhM8>>.

GUIMARÃES, Ricardo Cardoso, *et al.* - An overview of the Brazilian continental shelf wave energy potential. **Regional Studies in Marine Science**. ISSN 23524855, 25 (2019). doi: 10.1016/j.rsma.2018.100446.

HALS, Jørgen - **Modelling and phase control of wave-energy converters**. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Noruega, [S.l.], 2010. Tese de doutoramento.

HANNON, Matthew, *et al.* - **Marine Energy (World Energy Resources 2016)**. [Em linha], World Energy Council. 2016. [Consult. 26 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/309012890_Marine_Energy_World_Energy_Resources_2016>.

HERSBACH, H, *et al.* - **ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present** [Em linha], atual. Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS). 2018. [Consult. 27 mai. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>>.

IRENA - **Pessoas, planeta e propriedade: aumento da ambição climática através da energia renovável** [Em linha], International Renewable Energy Agency. 2019. [Consult. 29 mar. 2021]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Pessoas-Planeta-Prosperidade>>.

IVANOVA, I. A, *et al.* - Simulated generator for wave energy extraction in deep water. **Ocean Engineering**. ISSN 00298018. 32:14– 15, 1664– 678 (2005). doi: 10.1016/j.oceaneng.2005.02.006.

JIN, Siya; GREAVES, Deborah – Wave energy in the UK: Status review and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. ISSN 18790690. 143: September 2020 (2021). doi: 10.1016/j.rser.2021.110932.

LÓPEZ, Iraide; *et al.* - Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment. **Elsevier - Renewable and Sustainable Energy Reviews**. ISSN 13640321, 27, 413–434 (2013). doi: 10.1016/j.rser.2013.07.009.

MARINET - **Tank testing of high-efficiency phase-controlled Wave Energy Converter – CorPower Ocean** [Em linha], Infrastructure Access Report: User-Project HiWave. 2015. [Consult. 16 mai. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/HiWave_ECN_infrastructure_access_report.pdf>.

MENDES, Rui Pedro Gouveia - **Energia das Ondas Desenvolvimento de uma tecnologia de geração (gerador tubular)**. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, [S.l.], 2011. Tese de mestrado.

MENDES, Diogo; OLIVEIRA, Tiago C. A. - Deep-water spectral wave steepness offshore mainland Portugal. **Ocean Engineering**. ISSN 00298018, 236 (2021). doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109548.

MOTA, P.; PINTO, J. P. – Wave energy potential along the western Portuguese coast. **Renewable Energy**. ISSN 09601481, 71, 8– 17 (2014). doi: 10.1016/j.renene.2014.02.039.

MUETZE, A.; VINING, J. G. - Ocean wave energy conversion - A survey. **Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)**. ISSN 01972618, 3, 1410–1417 (2006). doi: 10.1109/IAS.2006.256715.

NUNES, Mariana Aguirre - **Cálculo do Potencial Energético das Ondas na Região Sul do Brasil e Levantamento Teórico de Tecnologias de Conversão de Energia de Ondas em Energia Elétrica Aplicáveis a esta Região**. Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, Brasil, [S.l.], 2018. Monografia apresentada para obtenção do grau de bacharel em Oceanografia.

OES - **Instalações offshore em todo o mundo – Recurso OES Web-GIS** [Em linha], atual. 2021. [Consult. 27 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://www.ocean-energy-systems.org/ocean-energy/gis-map-tool/>.

OLIVEIRA, Tiago, *et al.* - Variability of wave parameters and Hmax/Hs relationship under storm conditions offshore the Portuguese continental coast. **Ocean Engineering**. ISSN 00298018, 153, 10–22 (2018). doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.01.080.

OLIVEIRA, Tiago, *et al.* - Wind-waves in the coast of mainland Portugal induced by post-tropical storms. **Ocean Engineering**. ISSN 00298018, 217 (2020). doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.108020.

PARKER, Bruce B. - Monitoring and modeling of coastal waters in support of environmental preservation. **Journal of Marine Science and Technology**. ISSN 09484280. 1:2, 75–84 (1996). doi: 10.1007/BF02391163.

PARTICIPA - **Projeto «HiWave» - Demonstração da Energia das Ondas. CorPower Ocean Portugal, Unipessoal, LDA**. [Em linha], atual. 2020. [Consult. 26 abr. 2021]. Disponível em WWW:<URL:https://participa.pt/pt/consulta/projeto-hiwave-demonstracao-da-energia-das-ondas>.

RIBEIRO, Américo S, *et al.* - Evaluating the Future Efficiency of Wave Energy Converters along the NW Coast of the Iberian Peninsula. **Energies**. 13:3563, 1–15 (2020).

RUSU, Liliana; RUSU, Eugen - Evaluation of the worldwide wave energy distribution based on ERA5 data and altimeter measurements. **Energies**. ISSN 19961073, 14 (2), 394 (2021). doi: 10.3390/en14020394.

SIERRA, J. P, *et al.* - Wave energy resource assessment in Lanzarote (Spain). **Renewable Energy**. ISSN 09601481, 55, 480–489 (2013). doi: 10.1016/j.renene.2013.01.004.

SILVA, Dina *et al.* - Wave energy distribution along the Portuguese continental coast based on a thirty-three years hindcast. **Renewable Energy**. ISSN 18790682, 127, 1064–1075 (2018). doi: 10.1016/j.renene.2018.05.037.

ULVGÅRD, Liselotte - **Wave Energy Converters: An experimental approach to onshore testing, deployments and offshore monitoring**. Uppsala University, Uppsala, Suécia, [S.l.], 83-92, 2017. Tese de doutoramento.

WAVE ENERGY CENTER - **Potencial e estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal** [Em linha], Centro de Energia das Ondas. 2004. Disponível em WWW:<URL:http://energiasrenovaveis.com/images/upload/Relatorio_DGGE_ondas.pdf>.

ZHOU, Tianzhi - **Damping Profile Research for Corpower Ocean's Wave Energy Converter**. KTH Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia, [S.l.], 2016. Tese de mestrado.

ANEXO

7 ANEXO - Detalhamento do Projeto *HiWave-5*

O presente Anexo foi baseado nas informações fornecidas pelo Anexo 4 do portal PARTICIPA (2020).

O CPOWEC utilizado inclui os seguintes subsistemas: casco da boia, cilindro de pretensão, cilindro *WaveSpring*, caixa de velocidades, sistema de controlo, sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), sistema de comunicação, sistema de conversão de energia (geradores, conversor de frequência, armazenamento de energia), sistemas auxiliares, sistema de regulação das marés, amarrações, fundação, âncoras, cabo umbilical, conectores e métodos de operações e manutenção. A seguir, apresentam-se a configuração geral (Figura 40) e tecnologia *WaveSpring* (Figura 41).

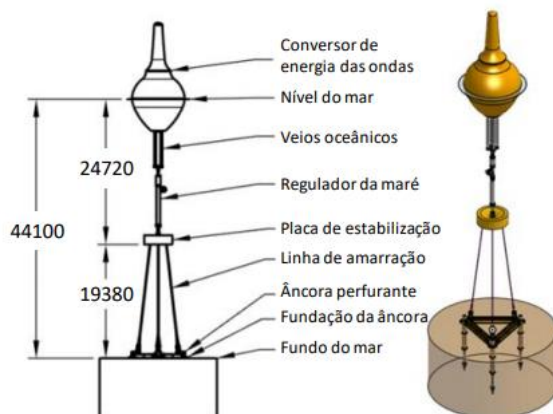


Figura 40 - Configuração de um conversor *HiWave*, valores em milímetros (PARTICIPA, 2020).

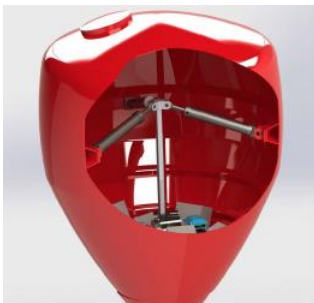


Figura 41 - Tecnologia *WaveSpring* (PARTICIPA, 2020).

Na Figura 42, à esquerda, está o atenuador de regulação da maré (para ajustar a distância vertical entre o conversor de energia das ondas e o fundo do mar, de forma que o conversor esteja sempre numa posição intermédia na coluna de água, independentemente da altura desta). Ao meio, a fundação, uma estrutura em aço de formato relativamente pequeno (dimensão lateral menor que 9 milímetros) que assenta no fundo do mar e da qual saem três pontos de ancoragem. À direita, dimensões e massas das âncoras perfurantes (menos ruído comparadas ao sistema de martelo).

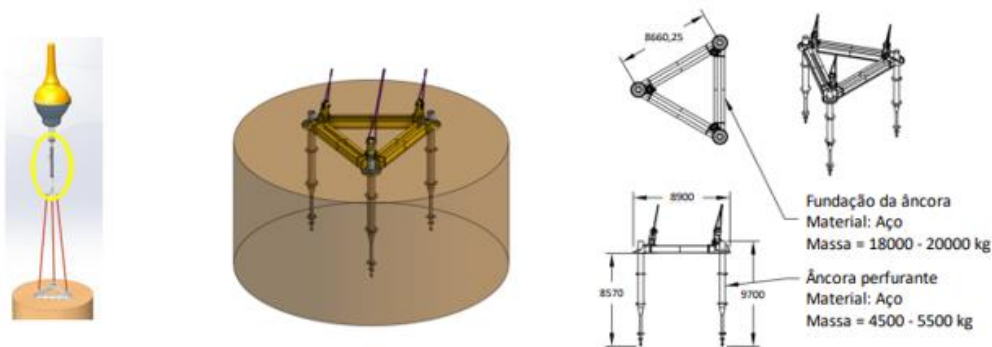


Figura 42 - Representação do atenuador (à esquerda), fundação (meio), dimensões e massas das âncoras perfurantes (à direita) (PARTICIPA, 2020).

No que se refere ao sistema elétrico da tecnologia *HiWave*, cujos dispositivos operam a 400 volts, destacam-se um módulo de geração e conversão de energia, um módulo de transmissão de energia e um módulo de controlo de hardware (todos eles ligados a um sistema de abastecimento de energia de emergência).

As operações gerais da rede do sistema e o esquema elétrico estão representados na Figura 43 (CB – *circuit breaker*; G – gerador), onde o CB3 representa o equipamento da aparelhagem de corte, o *Step-up Trafo* é o transformador e o CB4 é usado para proteger os circuitos de baixa tensão dentro do conversor. É utilizado um transformador trifásico (constituído por dois terminais de entrada de baixa tensão para assegurar duas linhas de geração de energia) para aumentar a tensão para 6,6 kV de modo a exportar a energia através do cabo umbilical submarino.

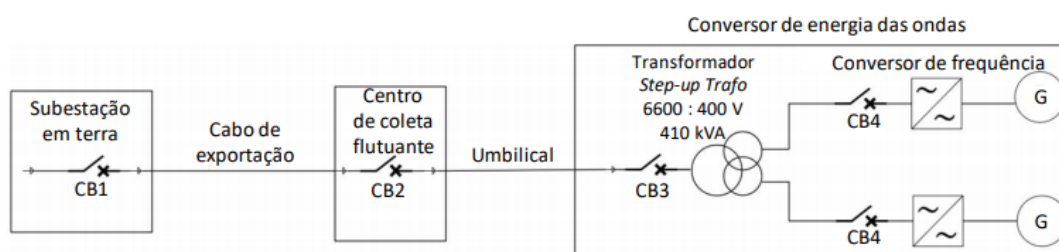


Figura 43 - Operações gerais da rede do sistema e esquema elétrico (PARTICIPA, 2020).

De modo a permitir a ligação de vários conversores *HiWave* (pelo almejado princípio de fazenda de ondas) e concentrar energia produzida no local, antes de a enviar para a subestação em terra, com propósito de fazer com que a infraestrutura do cabo submarino seja mantida no mínimo, são usados os coletores da Figura 44.

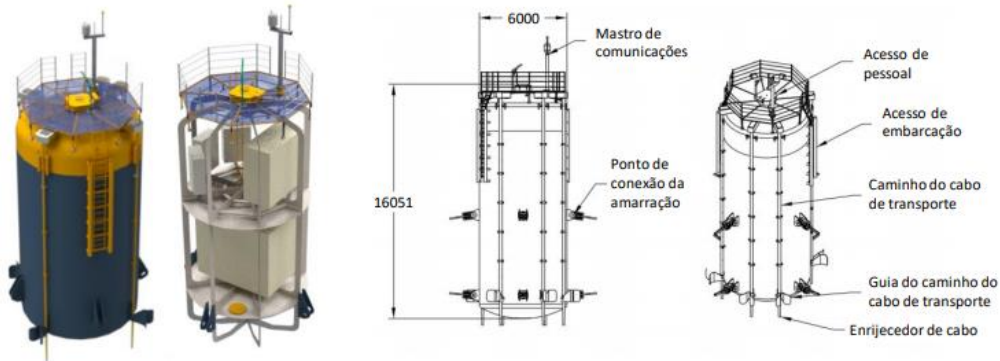


Figura 44 - Coletores de energia (PARTICIPA, 2020).

A interligação desses coletores (instalados por uma pequena embarcação de reboque) será feita por cabos dinâmicos colocados no fundo do mar e seguirão numa catenária, até a plataforma de estabilização, abaixo de cada conversor. Prevê-se que o comprimento do cabo entre os conversores C5 seja inferior a 200 m, como pode ser visto na Figura 45.

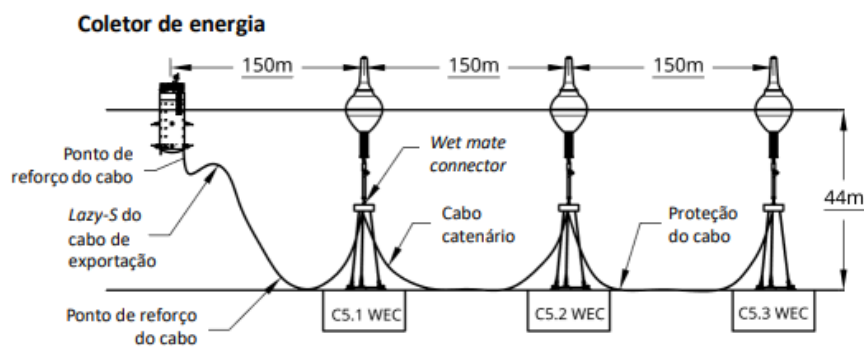


Figura 45 - Interligação dos coletores de energia aos conversores CPOWEC (PARTICIPA, 2020).

Para a monitoração da altura das ondas, a Figura 46 considera a boia *Wave Rider*.

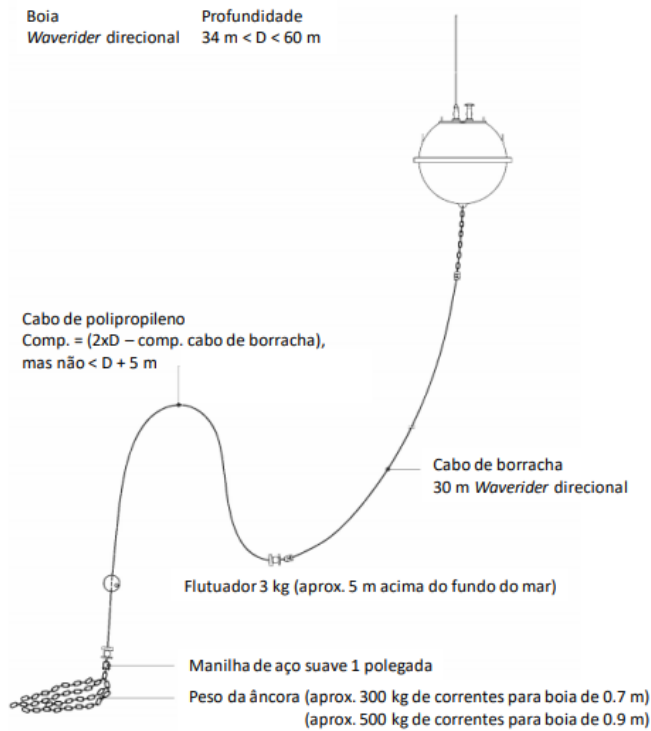


Figura 46 - Representação da boia Wave Rider (PARTICIPA, 2020).

Listam-se na Figura 47, os materiais a utilizar no CPOWEC.

Nome e número de equipamentos	Material	Dimensões
Casco do dispositivo	Composito	Diâmetro \leq 9 m Altura \leq 18,5 m
Armação do PTO e veios oceânicos	Aço	-
Caixa de velocidades	Armação em Alumínio Cremalheira de aço	-
Geradores	Motor de tração	1550 x 910 1270 mm
Transformador	ABB RESIBLOC	1800 x 800 x 600 mm
Aparelhagem de corte	ABB SafePlus SF6 6.6 kV	Comprimento: \leq 10 m Diâmetro: \leq 1,0 m
Âncoras (3x4)	Aço	Diâmetro: \leq 10 m
Fundações das âncoras (4)	Aço	Diâmetro: < 100 mm
Linhas de amarração	Cabos em fibra de aramida, estrutura em poliuretano	Comprimento: 3 x 23 m
Plataforma de estabilização	Aço	Diâmetro < 4 m
Sistema de regulação de maré	Aço	Atuador linear Comprimento: 10 – 16 m

Figura 47 - Listagem dos materiais a serem utilizados no CPOWEC (PARTICIPA, 2020).

Por fim, na análise dos diferentes estágios do projeto e compreensão do plano de manutenção operacional periódico, a Figura 48 mostra que serão utilizadas embarcações de diferentes portes, para as seguintes atividades: a) colocação de cabos e instalação de âncoras; b) instalação do conversor de energia *HiWave*; c) operações de manutenção do projeto, depois da instalação.

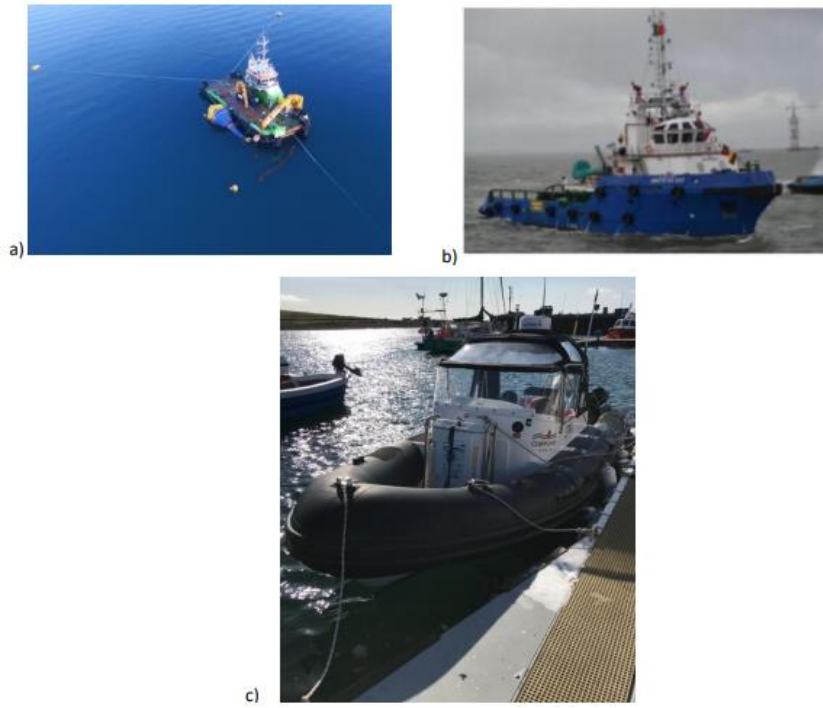


Figura 48 - Exemplos de embarcações utilizadas.