

# **Energia das ondas: dispositivo de conversão oscilante axial**

**Jean-Luc Teixeira Rodrigues**

Relatório da Dissertação Final Submetida a  
**Escola Superior de Tecnologia e de Gestão**  
**Instituto Politécnico de Bragança**

Para a obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia Industrial**

**Março 2017**

# Agradecimentos

Em primeiro lugar quero demonstrar o meu sincero agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Luís Frólén Ribeiro, pois sem ele teria sido impossível realizar este projecto. Obrigado pela orientação, companheirismo e interesse demonstrados.

Ao professor Carlos Andrade, Manuel Braz César, João Eduardo Ribeiro e Vítor Gomes, pelo tempo despendido, paciência e conhecimentos transmitidos, o meu muito obrigado.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão, obrigado pela oportunidade e pelos recursos fornecidos ao longo deste trabalho.

A todo o Grupo Grupel Energy Everywhere, em especial ao Luís Carvalho, o meu muito obrigado pela disponibilidade, dicas e conhecimentos fornecidos.

Quero também agradecer a toda a minha família, em especial aos meus pais, por me apoiarem sempre e por nunca deixarem que me faltasse nada; esta dissertação também é vossa!

Por último, um especial agradecimento à minha namorada, por ter sido sempre paciente comigo, e por ter estado ao meu lado, sempre que precisei.

# Resumo

Esta dissertação refere-se aos aspectos e etapas de dimensionamento utilizadas para a criação de uma plataforma flutuante para a produção de electricidade, implementado um sistema de conversão oscilante axial para o aproveitamento das ondas, usando um alternador de potência de 1 MW para produção de electricidade. Foi escolhido implementar um sistema hidráulico para alimentar o alternador, tendo sido feita a escolha dos componentes necessários. A plataforma flutuante proposta terá oito braços acoplados, que se movimentam na vertical com a elevação das ondas. Em cada braço há um cilindro hidráulico. Para esse processo os cilindros hidráulicos irão injectar um determinado caudal consoante a elevação das ondas, onde irá chegar a um reservatório de pressão, que depois de cheio, alimenta um motor hidráulico. Prevê-se que o motor hidráulico, opera com 157 lpm a uma rotação de 2000 RPM. Posteriormente, um redutor mecânico que irá absorver as rotações iniciais para diminuir até as 1800 RPM finais, estando por fim acoplado a um alternador. Após a escolha dos componentes hidráulicos, foi dimensionada a plataforma. Foi escolhido plástico HDPE, um polímero, onde irá sustentar a massa dos restantes componentes. Essa plataforma, para assegurar a flutuação, tendo em conta a massa dos componentes atribuindo, terá de ter um volume de água deslocada superior a  $3.96 \text{ m}^3$ . A plataforma terá um comprimento de 9.30 m, uma largura de 5.5 m, altura de 2 m, tendo um volume de água deslocada de  $5.2 \text{ m}^3$  e um coeficiente de segurança de 1.5.

# Abstract

This thesis presents the project of a 1 MW wave axial converting system. This system is hydropower generated and is placed in a floating platform. The floating platform will have eight arms bound, which move vertically with the waves. In each arm there is a hydraulic cylinder. For this process the hydraulic cylinders will inject a certain flow depending on the height of the waves, feeding a pressure tank, which after full, feeds an hydraulic motor. The hydraulic motor, operates with a flow of 157 lpm at 2000 RPM rotation. A gearbox will reduce the angular velocity to 1800 RPM, being finally coupled to an alternator. The floating platform will be build in HDPE, a polimeric plastic. This platform, must have a volume of displaced water exceeding  $3.96 \text{ m}^3$ . The platform will have a length of 9.30 m, a width of 5.5 m, height 2 m, having a volume of water moved from  $5.2 \text{ m}^3$  and a coefficient of safety of 1.5.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação e Objetivos . . . . .	1
1.2	Estado da Arte . . . . .	1
1.2.1	A energia das ondas em Portugal . . . . .	3
1.3	Classificação das tecnologias . . . . .	6
1.3.1	Tipos de Tecnologias. . . . .	6
1.3.1.1	Atenuador . . . . .	6
1.3.1.2	Sistema oscilante de simetria axial . . . . .	7
1.3.1.3	Conversores oscilantes de translação das ondas . . . . .	8
1.3.1.4	Coluna de água oscilante (CAO) . . . . .	8
1.3.1.5	Dispositivo de galgamento . . . . .	9
1.3.1.6	Dispositivo submerso de diferença de pressão . . . . .	10
1.3.2	Diagrama Unifilares Simplificado dos WEC's . . . . .	10
1.4	Organização . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Revisão da Literatura</b>	<b>14</b>
2.1	Como se formam as ondas? . . . . .	14
2.2	Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas . . . . .	15
2.3	Energia das ondas . . . . .	17
2.3.1	Energia Cinética . . . . .	17
2.3.2	Energia Potencial . . . . .	17
2.3.3	Vantagens e inconvenientes das ondas . . . . .	18
2.3.3.1	As vantagens são as seguintes: . . . . .	18
2.3.3.2	Inconvenientes . . . . .	18
2.4	Condições necessárias para a formação das ondas . . . . .	18
2.5	Princípio de Arquimedes . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Desenvolvimento do Produto</b>	<b>22</b>
3.1	Concepção e desenvolvimento. . . . .	22
3.2	Árvore de decisões, exclusões e escolhas . . . . .	23

3.2.1	Exclusões: . . . . .	24
3.2.2	Escolhas . . . . .	26
3.2.3	Árvore de decisões . . . . .	27
3.3	Esquema hidráulico . . . . .	28
3.3.1	Esquema hidráulico . . . . .	29
3.4	Dimensionamento da base da plataforma . . . . .	30
3.5	Cálculo do escoamento e braço hidráulico . . . . .	31
3.5.1	Cálculo do escoamento . . . . .	31
3.6	Cálculo da potência do braço hidráulico . . . . .	32
3.7	Comportamento do braço flutuante em várias fases de onda . . . . .	34
<b>4</b>	<b>Produto final</b>	<b>37</b>
4.1	Escolha dos componentes . . . . .	37
4.1.1	Grupo Alternador . . . . .	37
4.1.2	Motor hidráulico . . . . .	37
4.1.3	Redutor Mecânico . . . . .	37
4.1.4	Colector hidráulico . . . . .	38
4.1.5	Cilindro hidráulico . . . . .	38
4.1.6	Tanque de pressão . . . . .	38
4.1.7	Reservatório Hidráulico . . . . .	38
4.1.8	Purgador . . . . .	38
4.1.9	Mangueira . . . . .	39
4.1.10	Óleos . . . . .	39
4.2	Peças a adquirir no mercado . . . . .	39
4.3	Peças a fabricar . . . . .	41
4.4	Desenhos Cotados . . . . .	43
4.4.1	Desenho técnico (001), Bóia central de quatro pontas. . . . .	44
4.4.2	Desenho técnico (002), Bóia encaixe central extremidade . . . . .	45
4.4.3	Desenho técnico (003), Bóia extremidade lateral . . . . .	46
4.4.4	Desenho técnico (004), Encaixe lateral . . . . .	47
4.4.5	Desenho técnico (005), Encaixe . . . . .	48
4.4.6	Desenho técnico (006), Bóia encaixe central extremidade 2, com 1 apoio . . . . .	49
4.4.7	Desenho técnico (007), Bóia encaixe central extremidade 2, com 3 apoio . . . . .	50
4.4.8	Desenho técnico (008), Bóia centro, interior . . . . .	51
4.4.9	Desenho técnico (009), Encaixe extremidade fêmea . . . . .	52
4.4.10	Desenho técnico (010), Encaixe extremidade macho com gancho . . . . .	53
4.4.11	Desenho técnico (011), Bóia central, meio . . . . .	54

4.4.12	Desenho técnico (012), Bóia central extremidade com gancho . . .	55
4.4.13	Desenho técnico (013), Bóia central extremidade sem gancho . . .	56
4.4.14	Desenho técnico (014), Encaixe extremidade macho com apoio segurança, hid . . . . .	57
4.4.15	Desenho técnico (015), Bóia central, meio com encaixe . . . . .	58
4.4.16	Desenho técnico (016), Barra estabilizadora . . . . .	59
4.4.17	Desenho técnico (017), Barra estabilizadora 1 . . . . .	60
4.4.18	Desenho técnico (018), Barra estabilizadora 2 . . . . .	61
4.4.19	Desenho técnico (019), Barra estabilizadora central 1 . . . . .	62
4.4.20	Desenho técnico (020), Parafuso base . . . . .	63
4.4.21	Desenho técnico (021), Porca base . . . . .	64
4.4.22	Desenho técnico, vista explodida: Base plataforma . . . . .	65
4.4.23	Desenho técnico (022), Chapa de apoio manutenção central . . . . .	66
4.4.24	Desenho técnico (023), Caixa componentes . . . . .	67
4.4.25	Desenho técnico (024), Apoio hidráulico esquerda . . . . .	68
4.4.26	Desenho técnico (026), Barra encaixe hidráulico . . . . .	69
4.4.27	Desenho técnico (028), Braçadeira tanque . . . . .	70
4.4.28	Desenho técnico (029), Barra estabilizadora lateral . . . . .	71
4.4.29	Desenho técnico (030), Barra estabilizadora central hid . . . . .	72
4.4.30	Desenho técnico (031), Apoio hidráulico . . . . .	73
4.4.31	Desenho técnico, vista explodida: Hidráulico central . . . . .	74
4.4.32	Desenho técnico (041), Chapa de apoio de manutenção . . . . .	75
4.4.33	Desenho técnico (042), Apoio hidráulico central . . . . .	76
4.4.34	Desenho técnico (043), Barra estabilizadora hidráulico . . . . .	77
4.4.35	Desenho técnico, vista explodida: Hidráulico lateral . . . . .	78
4.4.36	Desenho técnico (045), Cilindro flutuante . . . . .	79
4.4.37	Desenho técnico (046), Fixador de barras bóia externa . . . . .	80
4.4.38	Desenho técnico (047), Proteção bóia externa . . . . .	81
4.4.39	Desenho técnico (048), Braço bóia externa . . . . .	82
4.4.40	Desenho técnico (049), Barra superior . . . . .	83
4.4.41	Desenho técnico (050), Sem fim cilindro . . . . .	85

4.4.42	Desenho técnico, vista explodida: Cilindro flutuante . . . . .	85
4.4.43	Desenho técnico (052), Grelha de apoio gerador . . . . .	86
4.4.44	Desenho técnico (053), Caixa coletor . . . . .	87
4.4.45	Desenho técnico, vista explodida: Alternador e suporte . . . . .	88
4.5	Produto final . . . . .	89
4.5.1	Dispositivo de conversão oscilante axial . . . . .	90
4.6	Características Técnicas . . . . .	91
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>92</b>
5.1	Etapas concluídas . . . . .	92
5.2	Conclusões . . . . .	92
5.3	Trabalhos Futuros . . . . .	93

# Lista de Figuras

1.1	Visão da Central da ilha do Pico, Portugal, (Tethys 2016). . . . .	4
1.2	Aguçadora Wave Park, Póvo de Varzim (Pelamis), (Hill 2016). . . . .	4
1.3	Conversores Oscilantes de Translação das ondas, (PortalEnergia 2016). . . . .	5
1.4	Atenuador, (Paes 2010). . . . .	7
1.5	Sistema oscilante de simetria axial, (Paes 2010). . . . .	7
1.6	Conversores oscilantes de translação das ondas, (Paes 2010). . . . .	8
1.7	Coluna de água oscilante (CAO), (Paes 2010). . . . .	9
1.8	Dispositivo de galgamento, (Paes 2010). . . . .	9
1.9	Dispositivo submerso de diferença de pressão, (Paes 2010). . . . .	10
1.10	Diagrama unifilares dos principais WEC's: A) Figura: (1.7) B) Figura: (1.9) C) Figura: (1.5) D) Figura: (1.4) E) Figura: (1.2), modificado (de Melo Veloso 2014). . . . .	11
1.11	Diagrama unifilar do dispositivo de conversão axial. . . . .	12
2.1	Princípio das ondas, (Conceicao 2010). . . . .	14
2.2	Clima e correntes marítimas no Mundo, (Conceicao 2010). . . . .	17
2.3	Distribuição do fluxo médio de energia das ondas em kW/m ou MW/h, (greenenergy 2016). . . . .	17
2.4	Parâmetros das ondas: Comprimento de onda $L$ , altura da onda $H$ , profundidade da água, $h$ , amplitude da onda $A$ e o nível da água $MWL$ , (Garrido 2011). . . . .	19
2.5	Teorema de Arquimedes. (White 1991) . . . . .	21
3.1	Funcionamento de absorção de energia. . . . .	34
3.2	Sistema hidráulico simplificado. . . . .	35
3.3	Posicionamento inicial sem ondulações marítimas. . . . .	35
3.4	Posicionamento do cilindro flutuante a meia altura. . . . .	36
3.5	Posicionamento do cilindro flutuante na altura máxima. . . . .	36

# Lista de Tabelas

1.1	Factores relevantes na história da energia das ondas, Sarmiento (2004). . .	2
1.3	Protótipos e instalações em Portugal. . . . .	5
2.1	Condições necessárias para a formação de ondas em função da velocidade do vento, do fetch (alcance) e parâmetros das ondas resultantes, (Garrido 2011). . . . .	20
3.1	Tabela dados da plataforma inicialmente. . . . .	30
3.2	Cálculo volume mínimo necessário. . . . .	30
3.3	Dimensões base plataforma. . . . .	30
3.4	Resultado final, Volume Final. . . . .	31
3.5	Volume do cilindro hidráulico. . . . .	31
3.6	Variação de litros em relação as repetições para a máximo valor da altura média. . . . .	32
3.7	Cálculo da altura devido a curso hidráulico. . . . .	32
3.8	Variação de litros em relação as repetições para o mínimo valor da altura média. . . . .	32
3.9	Valor máximo e mínimo das ondas, ( $K = 0$ ). . . . .	33
3.10	Formula da derivação de Airy usando a amplitude de onda $A$ , a velocidade angular $\omega$ , frequência $f$ . . . . .	33
3.11	Potência máxima no ponto mínimo e máximo ordem ao tempo. . . . .	34
4.1	Peças a adquirir no mercado. . . . .	40
4.2	Peças a fabricar. . . . .	42

# Nomenclature

2D	Duas dimensões
$\eta$	Superfície livre
$\omega$	Velocidade angular (rad/s)
A	Amplitude da onda
bar	Pressão
BEI	Banco de investimento
CAO	Coluna de água oscilante
cm	centímetro
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
f	Frequência da onda (Hz)
g	Aceleração da gravidade
GW	Gigawatt
H	Altura da onda
h	Profundidade da água, distância do solo à superfície da água
HDPE	Polietileno de alta densidade
hs	Hora
ID	Investigação e desenvolvimento
INETI	Instituto nacional de engenharia, tecnologia e inovação
IST	Instituto superior técnico

k	Número de onda
kg	Quilograma
km	Quilomêtro
kW	Quilowatt
kW/m	Quilowatt metro
L	Comprimento da onda
l	Litro
LNETI	Laboratório nacional de engenharia e tecnologia industrial
lpm	Litro por minuto
m	Metro
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
MW	Megawatt
MW/h	Megawatt hora
MWL	Nível médio de água (Mean Water Level)
N	Newton
P	Potência
rad/s	Radiano por segundo
RPM	Rotação por minuto
s	Segundos
T	Período
t	Tempo [s]
W	Watt
WEC's	Grupo de energia (WEC energy group, Inc.)
x	Ponto do espaço na direcção de propagação da onda
°C	Graus Celsius

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Motivação e Objetivos

Este trabalho visa o dimensionamento de uma plataforma flutuante para a produção de electricidade para uma potência de 1 MW, utilizando a energia das ondas. Considere-se que tem um forte interesse na indústria das energias renováveis, visto que tem como fonte as energias das ondas, e não precisa de utilizar os recursos naturais fósseis e finitos.

O ser humano desde sempre, procura ter melhor qualidade de vida. Por isso foi obrigado utilizar os recursos naturais, que são muito valiosos e vitais para o Homem no processo de desenvolvimento da civilização, sobrevivência e conforto da sociedade em geral. O desenvolvimento da sociedade industrial levou ao Homem a usar e procurar cada vez mais esses recursos naturais para a produção de electricidade. A energia renovável oferece-nos recursos sem fim para combatermos o excesso do consumo finitos.

Nesta dissertação foi desenvolvido o projeto de uma plataforma flutuante com um comprimento 9.30 m, uma largura de 5.5 m, altura de 2 m. Nesta plataforma foram instaladas oito braços hidráulicos se movimentando na vertical aproveitando a energia das ondas através de um alternador que se situa no centro da plataforma, tendo como objectivo, transformar esse movimento em energia eléctrica.

### 1.2 Estado da Arte

Como foi citado por (Sarmiento 2004), embora nem sempre associado ao conceito de energia útil, o potencial energético das ondas dos oceanos é reconhecido desde a antiguidade, sendo do século XVIII as primeiras propostas para aproveitamento da energia das ondas (McCormick (1981), Ross (1995)). Na Tabela 1.1 procura-se esquematizar os factos importantes desde a década de 1960 até à actualidade, sendo que o primeiro nome que nela figura é o do comandante Yoshio Masuda, que, a partir de meados da década de 1960, iniciou no Japão o desenvolvimento de bóias de sinalização marítima alimentadas por

energia das ondas.

Tabela 1.1: Factores relevantes na história da energia das ondas, Sarmento (2004).

<b>1960</b>	Princípios	
	Meados	Bóias Comandante Y. Masuda
	Finais	
<b>1970</b>	Princípios	Propostas Salter para a produção de energia em larga escala
	Meados	Programa Reino Unido (2 GW)
	Finais	
<b>1980</b>	Princípios	Teoria Linear no domínio da frequência
	Meados	Primeiras centrais piloto no Japão e na Noruega
	Finais	Modelos lineares no domínio do tempo de WEC's
<b>1990</b>	Princípios	Análise linear no domínio da frequência de conjuntos de WEC's
	Meados	Modelos "Wave-to-Wire" de WEC's
	Finais	Análise hidrodinâmica não linear de WEC's
<b>2000</b>	Princípios	Testes no mar de diversas centrais piloto
	Meados	Demonstração de tecnologia
	Finais	Demonstração da viabilidade económica da tecnologia

Foi no período que se seguiu à crise no mercado petrolífero de 1973 que a energia das ondas surgiu nos programas de I&D (Investigação e Desenvolvimento) no Reino Unido, sendo que o trabalho de Salter chamou a atenção para o potencial energético disponível nas ondas (Salter 1974). O resultado imediato deste interesse culminou no aparecimento de diversas actividades em diversos países (casos da Suécia, Noruega, Dinamarca, Portugal, Irlanda, Japão e EUA) salientando-se o programa britânico que se revelaria demasiado ambicioso (o objectivo inicial visava a instalação de centrais que totalizavam 2 GW, facto que se pode considerar responsável pelo abandono quase na totalidade do apoio governamental a este programa em meados da década de 1980, (Sarmento 2004).

O final da década de 1990 e início do novo século viram aparecer 5 centrais piloto de 4 diferentes tecnologias, vindo a ser testadas no mar já no século XXI. O facto de 4 destas centrais piloto serem propriedade de empresas deve ser encarado como factor de motivação extra, e como sinal da evolução para a maturidade das tecnologias de energia das ondas. Os dados retirados destas centrais piloto são fundamentais para o desenvolvimento dos sistemas, pois constituem, por exemplo, ferramentas de validação dos modelos realizados. Uma outra etapa não menos importante passa pela demonstração da viabilidade económica das tecnologias, que seguirá um processo análogo ao de outras tecnologias, como as inerentes à conversão da energia eólica, (Sarmento 2004).

### 1.2.1 A energia das ondas em Portugal

A problemática associada à energia das ondas é particularmente pertinente no caso Português. Portugal foi um dos países pioneiros a estudar este tema e tem ainda uma contribuição activa no panorama internacional, facto que não deve ser encarado com estranheza e que se encontra directamente relacionado com as características energéticas das ondas da costa portuguesa, (Sarmento 2004).

A actividade de investigação e desenvolvimento nesta área iniciou-se no IST em 1978, motivada pelo aparecimento de um invento Português, da autoria do Sr. Agnelo Gonçalves David, um comerciante de Almeirim entretanto falecido, premiado em feiras internacionais de inventos. O invento consistia numa central de coluna de água oscilante, exemplificado através de um pequeno tanque em que as ondas eram geradas manualmente. Continha uma coluna de água oscilante no lado oposto ao batedor, e no topo estava uma pequena turbina de ar de fluxo reversível acoplada a um dínamo eléctrico que alimentava um pequeno rádio, (Sarmento 2004).

A actividade iniciou-se com o desenvolvimento de métodos analíticos para análise da interacção de ondas com sistemas de aproveitamento de energia das ondas do tipo de coluna de água oscilante (CAO). Numa fase posterior foram realizados ensaios experimentais com modelos reduzidos em canais e tanques de ondas regulares e irregulares, quer para verificação dos resultados analíticos, quer para apoio ao dimensionamento da central de CAO que veio a ser construída na ilha do Pico, figura (1.1). Esta central de 0,4 MW de potência instalada foi construída (1998-2000) com o apoio financeiro da EU, do estado português, da Electricidade dos Açores e da Electricidade de Portugal, empresas que, conjuntamente com o IST, o INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação), a Profabril e a EFACEC, forneceram o suporte técnico-científico ao projecto, (Sarmento 2004).

Por volta do início desta actividade criava-se no Departamento de Energias Renováveis do INETI (à data LNETI) - um grupo com o objectivo primordial de estudar o recurso energético das ondas em Portugal, (Sarmento 2004).



Figura 1.1: Visão da Central da ilha do Pico, Portugal, (Tethys 2016).

Posteriormente desenvolvido uma Aguçadora Wave Park em 2008, figura (1.2), desenvolvida na parceria entre a companhia Enersis e a Escocesa Ocean Power Delivery, onde foram colocados três Pelamis com 2.25 MW de potência cada um, na Póvoa do Varzim.



Figura 1.2: Aguçadora Wave Park, Póvo de Varzim (Pelamis), (Hill 2016).

Também em 2007 uma companhia Filandesa, AW-Energy / Finland, entrou em parceria com o Grupo Português Lena, para a implementação e desenvolvimento de um WaveRoller figura (1.3) de 13 kW cada elemento, localizado em Peniche, já tendo desde 2012 três protótipos em teste em Portugal, cada um com potência de 100 kW. Entre 2016 e 2017 a AW-Energy vai assim, construir um total de 16 unidades, com maturidade até quize anos com o Financiamento pelo Banco de Investimento (BEI), com o apoio programa comunitário Horizonte 2020.



Figura 1.3: Conversores Oscilantes de Translação das ondas, (PortalEnergia 2016).

Na tabela (1.3) que se segue poderemos observar os Protótipos e instalações existentes em Portugal, tal como a sua localização e Tecnologia usada.

Tabela 1.3: Protótipos e instalações em Portugal.

Localização	Tecnologias	Potência [MW]
Ilha do Pico, Açores	Coluna de Água Oscilante (CAO)	0.40
Quebra-mar, Foz do Douro, Porto	Coluna de Água Oscilante (CAO) - 4 unidades	2.5*4
Peniche	Conversores Oscilantes de Translação das Ondas (WaveRoller)	0.10
Póvoa de Varzim	Sistema Oscilante de Simetria Axial (AWS); Atenuador (Pelamis)	2.25

## 1.3 Classificação das tecnologias

Após décadas de investigação e desenvolvimento para responder ao desafio tecnológico foram sugeridas e desenvolvidas na actualidade diferentes soluções na extração de energia das ondas. É fundamental estabelecer critérios de classificação adoptado na esmagadora maioria de referência prende-se com a distância à costa do dispositivo, agrupando-os desta forma em:

- dispositivos costeiros (na nomenclatura ingles: shoreline);
- dispositivos próximos da costa (near-shore);
- dispositivos afastados da costa (offshore).

A principal diferença entre os dispositivos próximos e os afastados da costa resulta das profundidades envolvidas. No primeiro caso as profundidades serão normalmente inferiores a 20 m e os dispositivos serão assentes no fundo do mar, enquanto no segundo caso rondarão os 50 m e os dispositivos serão flutuantes. É importante notar que o regime de ondas é mais energético em profundidades de 50 m do que em profundidades de 20 m, havendo, por este lado, vantagem em colocá-los em profundidades superiores. Assim quando o leitor for confrontado com a classificação genérica de “distância à costa” deve ter presente que o factor preponderante é a profundidade evidenciada a essa distância e não ao valor da distância à costa em si.

Uma outra classificação é plausível, classificação essa que está associada ao modo de conversão de energia das ondas em energia eléctrica (isto é o tipo de dispositivo). Temos assim três classes principais de dispositivos de conversão de energia das ondas, que podem ser de:

- coluna de água oscilante, CAO (OWC - Oscillating Water Colum);
- corpos flutuantes, podendo ser absorvidos de absorção pontual (Point Absorbers) ou progressivos (Surging devices);
- galgamento (Overtopping devices), (Sarmiento 2004).

### 1.3.1 Tipos de Tecnologias.

#### 1.3.1.1 Atenuador

Este é um dispositivo longo que é alinhado perpendicularmente em relação à frente da onda representado na figura (1.4). O dispositivo flutua efectivamente sobre as ondas e capta a energia quando as ondas o atravessam, devido ao movimento progressivo que estas provocam ao longo do seu comprimento, (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

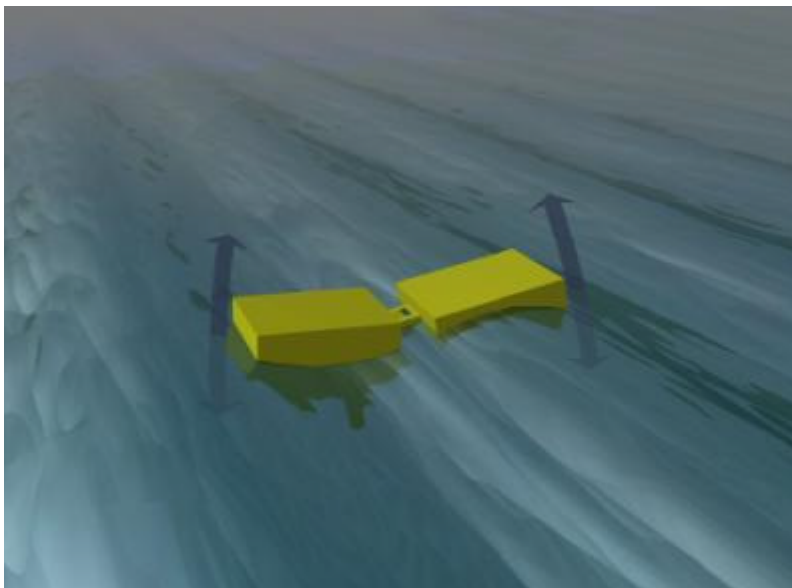


Figura 1.4: Atenuador, (Paes 2010).

### 1.3.1.2 Sistema oscilante de simetria axial

Na figura (1.5) representa uma estrutura flutuante que absorve a energia das ondas em todas as direcções por força dos movimentos das ondas na superfície da água ou perto dela. Este sistema oscilante, tendencialmente com poucos metros de diâmetro, é de pequenas dimensões comparado com o comprimento de onda típico, (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

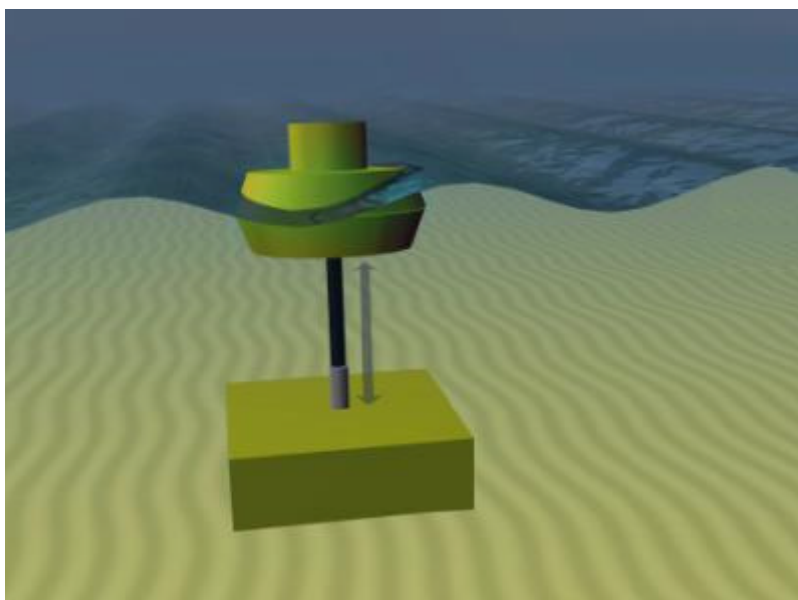


Figura 1.5: Sistema oscilante de simetria axial, (Paes 2010).

### 1.3.1.3 Conversores oscilantes de translação das ondas

Este é um colector instalado perto da superfície, montado sobre um braço colocado sobre um eixo perto do fundo do mar. O braço escila como um pêndulo invertido, devido ao movimento das partículas da água nas ondas, representado na figura (1.6), (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

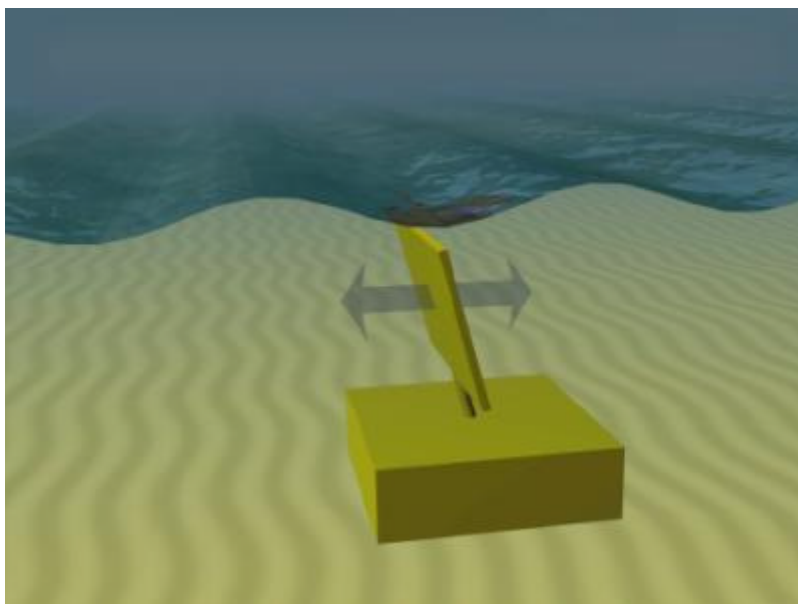


Figura 1.6: Conversores oscilantes de translação das ondas, (Paes 2010).

### 1.3.1.4 Coluna de água oscilante (CAO)

Na figura (1.7) encontra-se uma estrutura parcialmente submersa, oca, com abertura no fundo para entrada de água, de forma a que o ar contido no seu interior seja comprimido pela coluna de água. Este ar é conduzido através de uma turbina de ar para produzir electricidade, (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

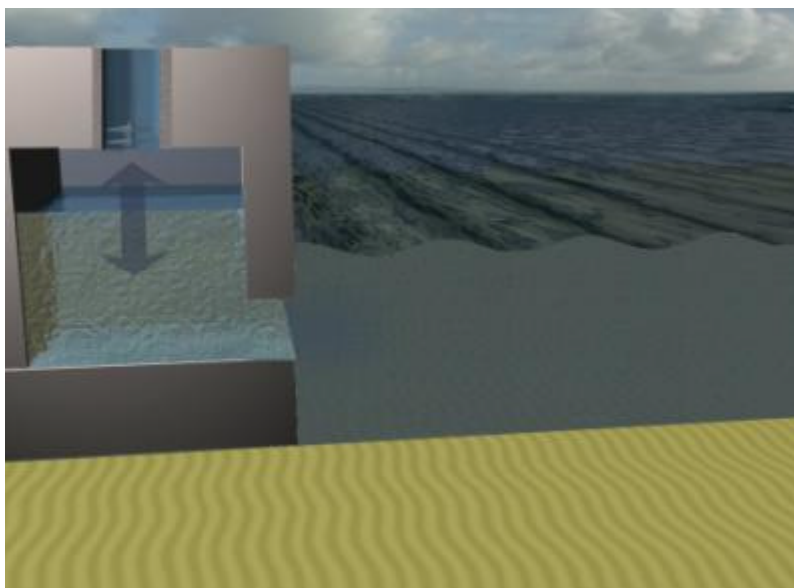


Figura 1.7: Coluna de água oscilante (CAO), (Paes 2010).

### 1.3.1.5 Dispositivo de galgamento

O dispositivo na figura (1.8) consiste numa rampa que é galgada pelas ondas e num reservatório de armazenagem que recolhe a água das ondas. As ondas que entram no reservatório criam uma altura de água que é devolvida ao mar através de turbinas convencionais de baixa queda, instaladas no fundo do reservatório, (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

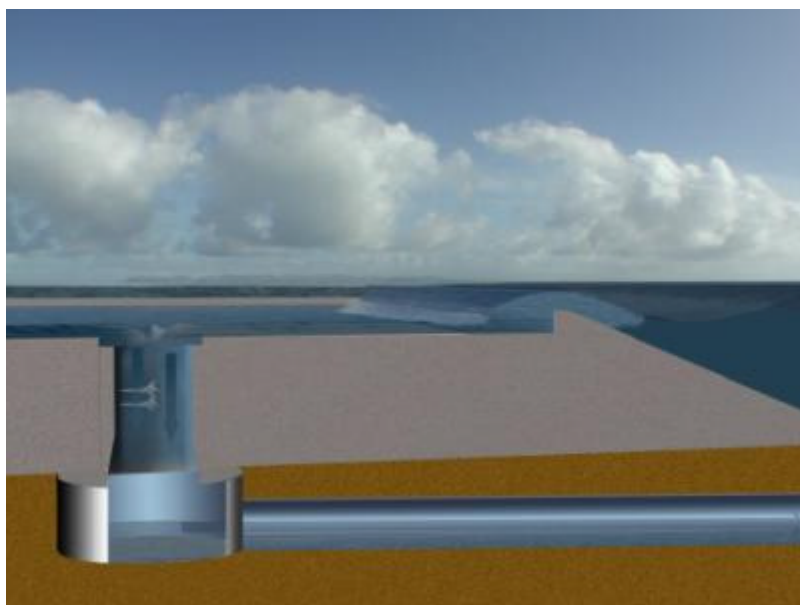


Figura 1.8: Dispositivo de galgamento, (Paes 2010).

### 1.3.1.6 Dispositivo submerso de diferença de pressão

O dispositivo submerso na figura (1.9), normalmente instalado perto da costa é apoiado no fundo do mar. O movimento das ondas provoca a subida e descida do nível da água acima do dispositivo, induzido uma diferença de pressão que provoca a subida e descida do dispositivo juntamente com as ondas, (PortalEnergia 2016), (Leandro 2016),(de Melo Veloso 2014),(Sarmiento 2004).

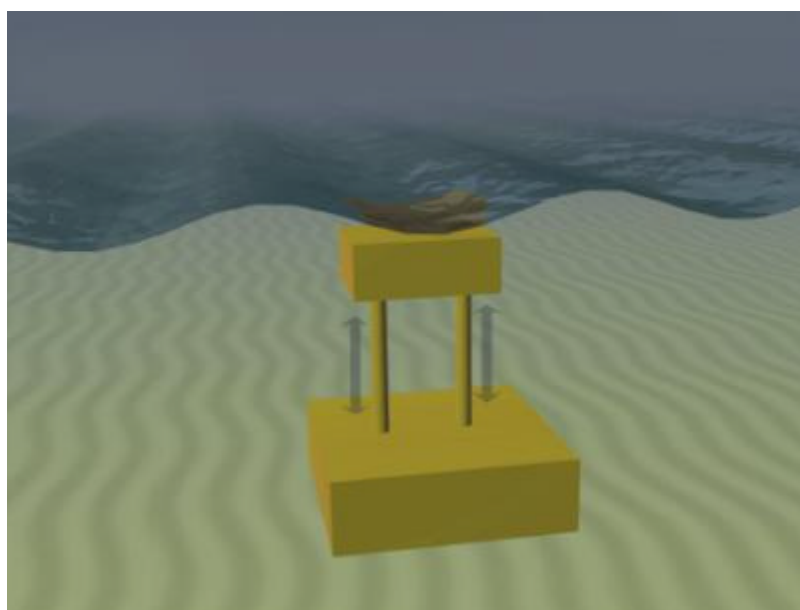


Figura 1.9: Dispositivo submerso de diferença de pressão, (Paes 2010).

### 1.3.2 Diagrama Unifilares Simplificado dos WEC's

É apresentado na figura (1.10) e representado um sumário do sistema de funcionamento dos WECs.

Na figura (1.10) A, representa o funcionamento da coluna de água oscilante (CAO). Este sistema tem cinco fases: as duas primeiras com fluído, onde as ondas entram para a câmara de ar que é turbinado; a terceira fase através de um mecanismo prossegue para um alternador de indução dupla. As fases finais referem-se à electrónica, e à injeção à rede.

Na figura (1.10) B, representa o funcionamento do sistema submerso de diferença de pressão. Este sistema sendo o mais curto com três fases, iniciando com a vinda da onda para a o alternador linear de íman permanente através de um mecanismo prosseguindo para o sistema eléctrico finalizando na rede: as duas fases finais representam a parte electrónica.

Na figura (1.10) C, representa o funcionamento do sistema oscilante de simetria axial. Este sistema tendo seis fases, as três primeiras fases com a vinda da onda iniciando na bomba de mangueira seguindo para o reservatório, prosseguindo para a turbina de impulsão, essas três fases iniciais fazendo movimentar um fluído. Como quarta fase encontra-se

um alternador, sendo a parte do mecanismo, seguido para o sistema eléctrico finalizando na rede.

Na figura (1.10) D, representa o funcionamento do atenuador. Este sistema também tendo seis fases, semelhante com o sistema C, variando o reflector de aumento que substitui a bomba de mangueira a turbina de hélice substituindo a turbina de impulsão.

Na figura (1.10) E, representa o funcionamento do dispositivo de galgamento. Este sistema também tendo seis fases, semelhante com o sistema C, havendo como variação a bomba na primeira fase, o motor Hidráulico na terceira fase, o alternador de indução na quarta fase e a existência de um transformando na quinta fase.

Para o projecto foram implementando diversos sistemas, esses sendo semelhantes ao sistema C e D representados na figura (1.10), variando algumas fases. O sistema final utilizando encontra-se na figura (3.2), com a explicação detalhada.

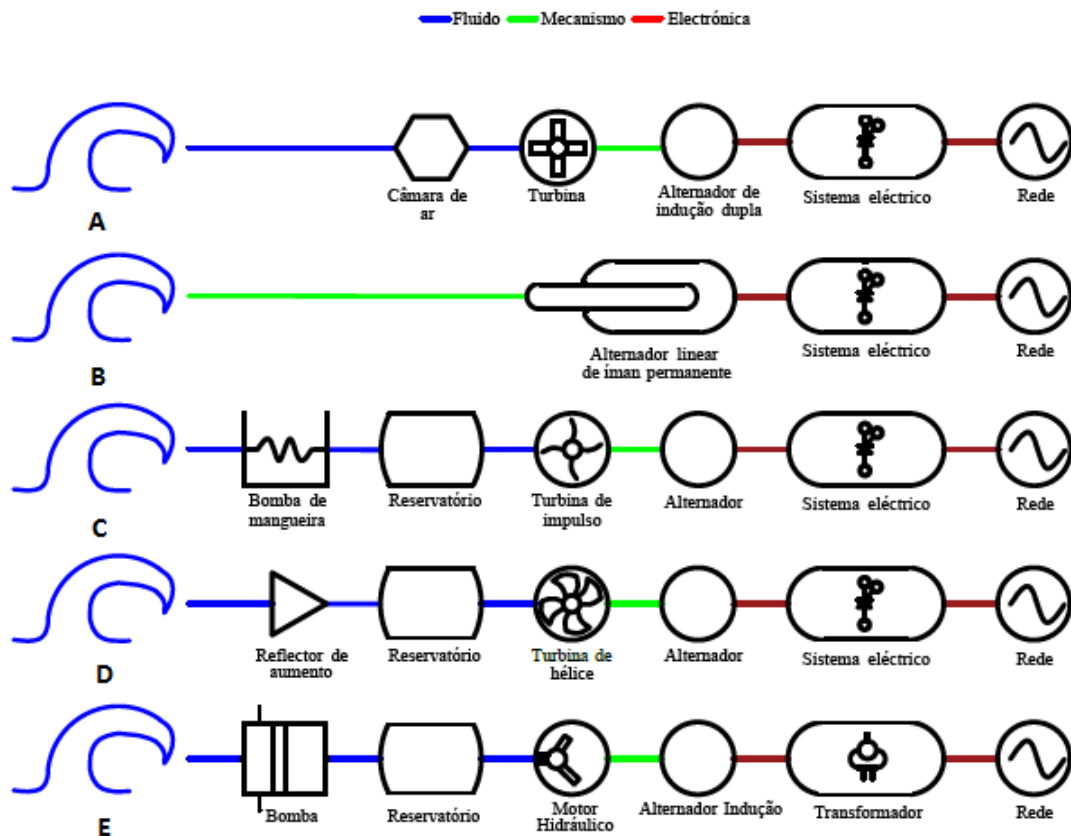


Figura 1.10: Diagrama unifilares dos principais WEC's: A) Figura: (1.7) B) Figura: (1.9) C) Figura: (1.5) D) Figura: (1.4) E) Figura: (1.2), modificado (de Melo Veloso 2014).

Para o projeto do dispositivo de conversão axial foi implementando diversos sistemas, esses sendo semelhantes ao sistema C e E representados na figura (1.10), variando algumas fases. Na figura (1.11), representa o sistema com oito fases. A onda acciona a bomba que pressiona o sistema hídrico.

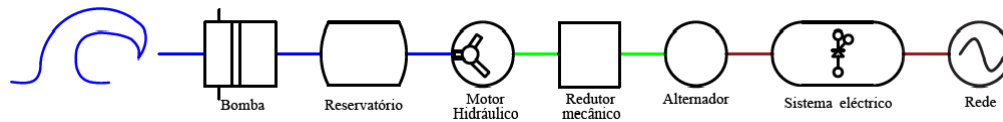


Figura 1.11: Diagrama unifilar do dispositivo de conversão axial.

## 1.4 Organização

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. No Capítulo 1, Introdução, são apresentados os principais objetivos para este projeto assim como o estado de arte relativamente ao tema. O Capítulo 2, Revisão da literatura, apresenta a teoria abordada na execução de todo o trabalho: ondas, a sua formação e modelação. O conteúdo prático está apresentado no Capítulo 3, Ensaio e Técnicas Experimentais, onde são expostos todos os cálculos e técnicas abordadas de modo a alcançar o objetivo pretendido, assim como alguns dos resultados obtidos. No Capítulo 4, discussão dos resultados também uma discussão sobre os mesmos. As conclusões deste trabalho estão apresentadas no Capítulo 5, Conclusão, onde são apresentadas as conclusões e sugestões de possíveis trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## Revisão da Literatura

### 2.1 Como se formam as ondas?

Assim que o vento começa a soprar no mar, ocorre uma colisão entre as moléculas, iniciando-se um processo de transferência de energia entre o ar e o mar. Surgem pequenas deformações com comprimento de 1 a 2 cm, conhecidas por ondas capilares. A superfície do mar torna-se rugosa. Se o vento cessar, a rugosidade também cessa imediatamente, (Angelotti 2005).

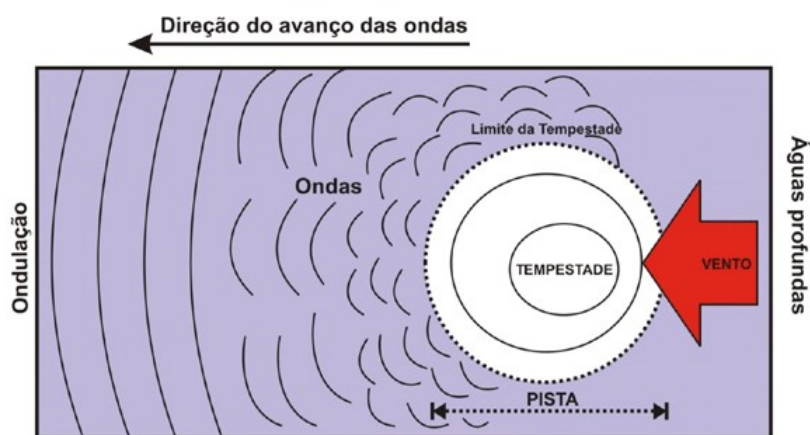


Figura 2.1: Princípio das ondas, (Conceicao 2010).

As deformações aumentam se o vento soprar continuamente, e se transformam em pequenas ondas com uma parte elevada chamada crista, e uma depressão chamada cavado. Neste estágio, se o vento cessar elas continuarão a ter vida própria e se propagarão pela superfície. São conhecidas por ondas de gravidade.

A distância entre duas cristas consecutivas, é superior a 2 cm no início de sua formação. Com o vento soprando, a transferência de energia prossegue, e as ondas ganham altura. Logo haverá ondas de vários comprimentos, formando um conjunto de ondas denominado espectro. Se o vento soprar por vários dias, atinge-se um estágio onde o

espectro está no desenvolvimento máximo e torna-se estável. Neste instante há um equilíbrio e a energia que é transferida do vento para as ondas se iguala à energia que é perdida por dissipação e transporte.

A regra é simples, quanto maior for a velocidade do vento, maiores serão as ondas que compõe o espectro, e mais tempo será necessário para atingir o estágio estável. A forma ou as características do espectro de ondas depende de 3 propriedades do vento, (Angelotti 2005):

- **Intensidade:** ventos intensos formam ondas maiores. Velocidades acima de 10 m/s são necessárias para construir ondas com uma altura superior a 1 m.;
- **Duração:** se o vento cessar prematuramente poderá não haver tempo suficiente para construir um espectro estável. Precisam soprar durante alguns dias para que ocorra transferência de energia suficiente para formar ondas acima de 2 a 3 metros. Só para quantificar, um vento de 20 m/s necessita de cerca de 48 horas para construir um espectro estável;
- **Extensão:** ventos soprando sobre uma pequena área não conseguem formar espectros estáveis. Precisam soprar por uma área de cerca de 1 a 2 mil quilômetros de comprimento, chamada pista de vento, para formar o espectro estável, (Angelotti 2005).

## 2.2 Aspectos genéricos sobre a tecnologia do aproveitamento da energia das ondas

Na sua forma mais simples, as ondas são apresentadas como ondas sinusoidais, caracterizadas por uma amplitude  $A$  e um período  $T$ , sendo a sua superfície livre  $\eta$  dada por:

$$\eta = A \cos(ft - kx) \quad (2.1)$$

em que  $f = 2\pi/T$  é a frequência da onda,  $t$  é o tempo,  $x$  o ponto do espaço na direção de propagação da onda e  $k = 2\pi/L$  o número de onda ( $L$  é o comprimento de onda), relacionado com a frequência e a profundidade da água no local  $h$  por:

$$k = \frac{f^2}{g} \coth(kh) \quad (2.2)$$

em que  $g$  e a aceleração da gravidade. Ao dobro da amplitude é chamada a altura da onda,  $H = 2A$ . Ao propagar-se, a onda transporta consigo um fluxo de energia que é proporcional ao período da onda e ao quadrado da sua amplitude, (de Energia das Ondas 2004).

Por razões de ordem hidrodinâmica, os sistemas de extracção de energia das ondas são muito sensíveis ao período da onda. A eficiência máxima de aproveitamento de energia obtém-se para uma onda cuja frequência é idêntica à frequência própria de oscilação (isto é àquela a que o sistema fica a oscilar quando é perturbado da sua posição de equilíbrio). Como a equação (2.2) mostra há uma relação entre a frequência e o comprimento de onda. Desta forma há também uma relação entre o comprimento de onda e a dimensão do sistema de absorção para uma extracção de energia eficiente. Quanto mais a frequência (e o comprimento de onda) se afastam do óptimo, menor a eficiência de extracção de energia. A taxa com que a eficiência de extracção de energia decresce com a frequência é uma característica de cada sistema de extracção e pode variar significativamente com o tipo de sistema. O mesmo é verdade em geral com a direcção de propagação da onda, sendo óbvio que sistemas de extracção com simetria axial não são afectados por este parâmetro, (de Energia das Ondas 2004).

Para além dos valores médios, as ondas do mar são caracterizadas pela forma como a energia se distribui em frequência e por direcção de propagação, o que leva ao conceito de espectro direccionado (distribuição da energia das ondas conjuntamente por frequência e por direcção de propagação) e de espectro de frequência (distribuição da energia apenas por frequência, independentemente da direcção de propagação).

Na figura (2.2), demonstra as várias correntes marítimas globais no mundo. A caracterização do clima de ondas de um determinado local pressupõe, portanto, que se conhece o fluxo médio de energia transportado pelas ondas, o diagrama de ocorrências, a distribuição do fluxo de energia por rumos de propagação de onda e as formas espectrais dominantes no local. A distribuição média do fluxo representado na figura (2.3) onde ilustra as diferentes variações do fluxo no mundo, também representado um linha vermelha na horizontal significado o maior fluxo, (de Energia das Ondas 2004).

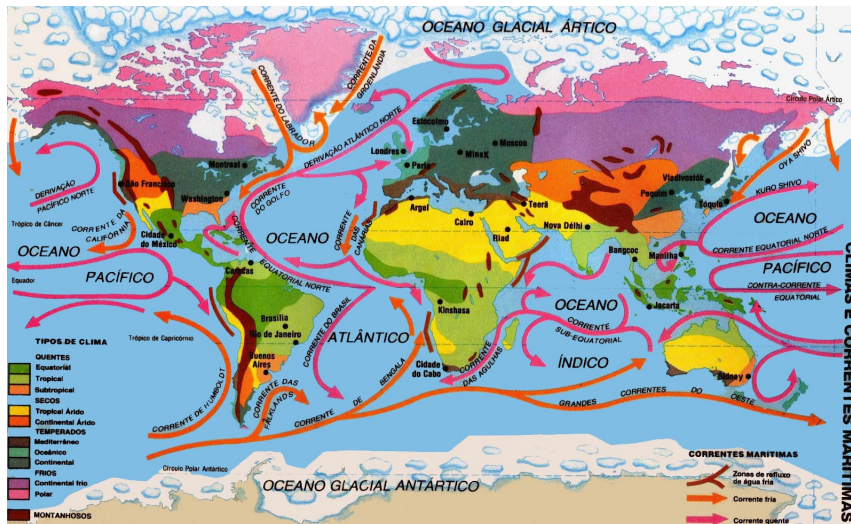


Figura 2.2: Clima e correntes marítimas no Mundo, (Conceicao 2010).

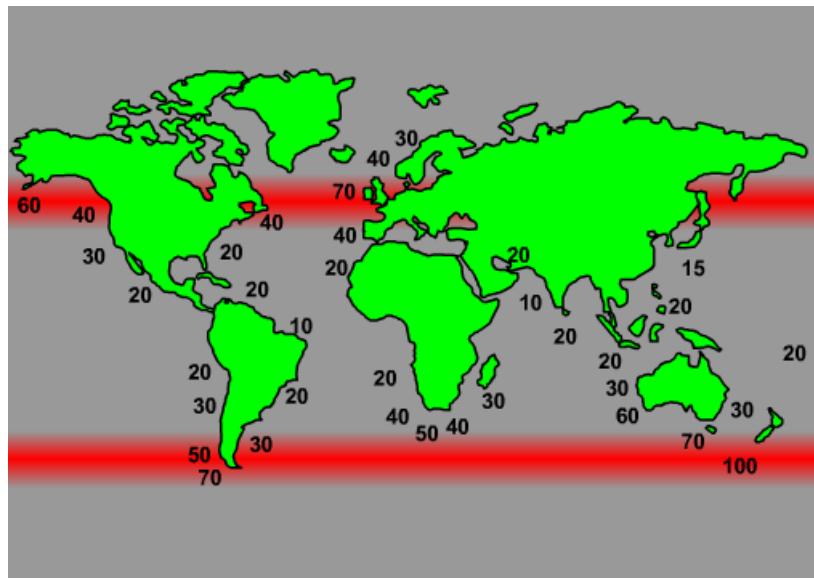


Figura 2.3: Distribuição do fluxo médio de energia das ondas em kW/m ou MW/h, (greenenergy 2016).

## 2.3 Energia das ondas

### 2.3.1 Energia Cinética

Este tipo de aproveitamento corresponde essencialmente a exploração da energia cinética associada às massas de água movidas pelas correntes marítimas.

### 2.3.2 Energia Potencial

Este tipo de aproveitamento da energia potencial das ondas é devido ao movimento da água e a altura. A energia potencial varia consoante a ondulação.

### 2.3.3 Vantagens e inconvenientes das ondas

#### 2.3.3.1 As vantagens são as seguintes:

- É uma energia renovável;
- Não produz qualquer tipo de poluição;
- O facto das ondas serem uma fonte inesgotável de energia;
- A sua fiabilidade.

#### 2.3.3.2 Inconvenientes

- Os custos de instalação são bastantes elevados;
- Instalação de potência reduzida;
- Impossibilidade a navegação (na maior parte dos casos);
- A deterioração pela exposição à água salgada do mar.

## 2.4 Condições necessárias para a formação das ondas

Para melhor perceber o processo de aproveitamento da energia das ondas serão apresentadas algumas das suas principais características. Na figura (2.4) encontra-se representado as características básicas de uma onda. Há duas grandezas principais físicas que identificam directamente uma onda, (de Melo Veloso 2014):

- $H$ - Altura da onda; é a medida da distância vertical entre o cavado e a crista da onda.
- $T$ - Período da onda; é o intervalo de tempo que uma onda leva a completar um ciclo ou cruzar o ponto zero três vezes consecutivas.

Atráves destas duas propriedades é possível calcular a maior parte das restantes características.

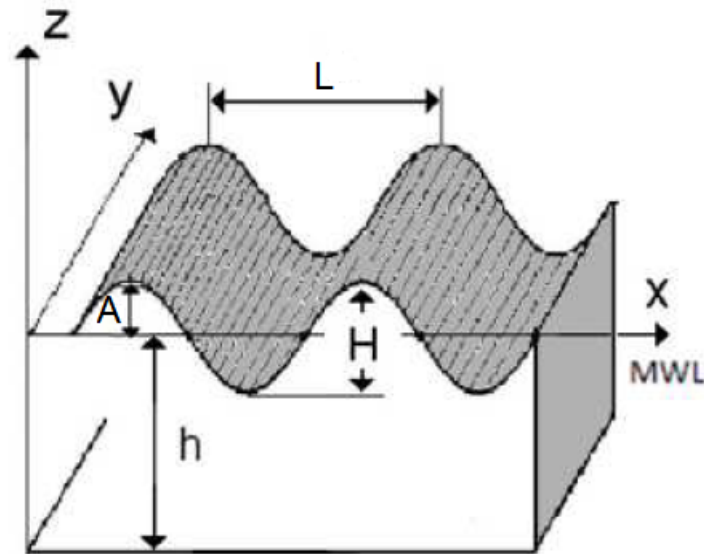


Figura 2.4: Parâmetros das ondas: Comprimento de onda  $L$ , altura da onda  $H$ , profundidade da água,  $h$ , amplitude da onda  $A$  e o nível da água  $MWL$ , (Garrido 2011).

Para além da altura e do período, a característica de uma onda é representada por mais alguns parâmetros:

- $f$  - Frequência; É o inverso do período;  $f = \frac{1}{T}$
- $L$ - Comprimento de onda; é a distância horizontal entre dois picos ou dois mínimos consecutivos.
- $A$  - Amplitude da onda; correspondente a metade da altura e é a distância vertical entre a crista da onda e o ponto médio.
- $h$  - Profundidade da água; distância do solo à superfície da água.
- $MWL$ - Nível médio da água do mar.

A tabela (2.1) representa as condições necessárias para a formação de ondas, a partir dos quais será calculada a potência de cada cilindro flutuante.

Tabela 2.1: Condições necessárias para a formação de ondas em função da velocidade do vento, do fetch (alcance) e parâmetros das ondas resultantes, (Garrido 2011).

Velocidade do vento (m/s)	Fetch (km)	Duração (hs)	Altura média (m)	Comprimento Médio (m)	Período médio (s)
5.14	18.50	2	0.27	8.5	3.0
6.17	33.30	4	0.43	12.2	3.4
7.20	51.90	5	0.61	16.8	4.0
8.23	74.10	7	0.85	21.6	4.6
9.26	101.9	8	1.20	27.4	5.0
10.29	138.9	10	1.50	33.8	5.7
11.32	185.2	12	1.90	41.2	6.3
12.35	240.8	14	2.40	48.8	7.0
13.38	333.4	17	2.90	57.3	7.4
14.40	426.0	20	3.50	66.4	8.0
15.43	518.6	23	4.10	76.5	8.6
16.46	629.7	27	4.90	86.9	9.0
17.49	777.8	30	5.70	98.2	9.7
18.52	926.0	34	6.50	110.1	10.3
19.55	1111.2	38	7.50	122.6	10.9
20.58	1314.9	42	8.50	136.0	11.4
21.61	1537.2	47	9.60	149.7	12.0
22.64	1777.9	52	10.80	164.6	12.6

Segundo a teoria desenvolvida por Airy pressupõe a existência da velocidade potencial ( $\phi$ ), que satisfaz a equação de Laplace. A elevação da superfície da onda, é descrita por uma curva senoide e é função da posição horizontal ( $x$ ) e do tempo ( $t$ ). A elevação superfície da onda ( $Y$ ), é assim dada pela equação seguinte:

$$Y = (x, t) = a \sin(\omega t - kx) \quad (2.3)$$

- $A$  é a amplitude da onda e corresponde a metade da altura da onda ( $a = \frac{H}{2}$ ).
- $k$  é o número de onda.
- $\omega$  é a velocidade angular.

## 2.5 Princípio de Arquimedes

Um objecto é um corpo flutuante em equilíbrio num fluido quando são verificadas as seguintes características:

- O volume submerso é menor do que o volume do corpo ( $V_{subm} < V_{corpo}$ );

- A massa volúmica do fluido é maior do que a do corpo ( $\rho_{fluido} > \rho_{corpo}$ );
- Obedecendo ao princípio da flutuação: “a impulsão do fluido tem intensidade igual ao peso do corpo e a força é nula”.  $\sum \vec{F} = \vec{0} \rightarrow E = P$

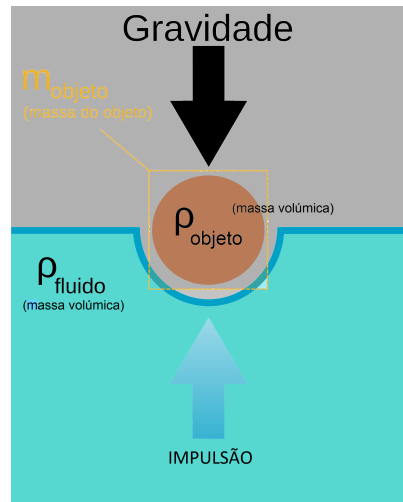


Figura 2.5: Teorema de Arquimedes. (White 1991)

sendo,  $V_{subm}$  - Volume submerso  $m^3$ ,  $V_{corpo}$  - Volume do corpo  $m^3$ ,  $d_{fluido}$  - Densidade do fluido  $kg/m^3$ ,  $\sum \vec{F}$  - Somatório,  $E$  - Impulsão e  $P$  - Peso  $N$ . (White 1991)

# Capítulo 3

## Desenvolvimento do Produto

### 3.1 Concepção e desenvolvimento.

Quando se pretende dimensionar uma plataforma com atuadores, a análise e o dimensionamento envolve um número de cálculos, muitos dos quais iterativos.

O primeiro passo tomado neste projecto foi escolher a melhor maneira de conseguir aproveitar a energia potencial das ondas.

Realizou-se o estudo de um grande número de componentes, para o qual, surgiriam vários tipos de soluções para resolver cada tipo de aplicação. Logo em termos de organização e facilidade de trabalho, foi necessário e decidiu-se construir uma árvore de decisões. Nesta constam todas as opções de construção para determinadas aplicações, procedendo-se a uma análise pormenorizada de cada uma delas, seleccionando a mais viável segundo os critérios construtivos. Esta árvore de decisões encontra-se na secção (3.2), bem como todas as exclusões efectuadas, e as respectivas justificações de tais exclusões (3.2.2) (3.2.1). Esta árvore de decisões, também transcreve todas as opções que o comprador tem que fazer, de acordo com o tipo de aplicação a que destina a plataforma. A título de exemplo, apresenta-se um excerto da árvore de decisões, juntamente com a numeração da exclusão e escolhas com o respectivo motivo na secção (3.2.2).

Na secção (3.3), apresenta-se o esquema hidráulico funcional, onde está representado o funcionamento hidráulico da plataforma assim com os componentes necessários para o funcionamento. O sistema hidráulico implementado foi escolhido utilizando a árvore de decisões.

Aplicando o teorema de Arquimedes na secção (2.5), dimensionou-se a plataforma para assegurar a sua flutuação. Na secção (3.5) apresenta-se o funcionamento da plataforma bem como o aproveitamento de cada braço nas várias fases de ondulação a diferentes alturas.

Seguidamente identificam-se as peças a adquirir no mercado, além daqueles a construir. Os desenhos técnicos de construção mecânica dos componentes da plataforma, assim

como toda a sua listagem, encontra-se apresentado ( 4.4).

Inicialmente todo esse trabalho começou por uma simples ideia de construção. Passando de seguida a um estudo mais aprofundado, estudo esse que se pretende adaptar as exigências do mercado e características requeridas, assim a construção da árvore de decisões e o esquema hidráulico para seleccionar as opções mais viáveis, começando a desenhar e a proceder à montagem dos componentes um a um, e assim sucessivamente.

## **3.2 Árvore de decisões, exclusões e escolhas**

Para melhor entender as escolhas do projecto, foi criada uma árvore de decisões. Essa árvore de decisões apresenta vários tipos de soluções, relativamente a cada equipamento parte da plataforma e sistema de conversão energética. Os primeiros treze tópicos da árvore de decisões são cruciais para o desenvolver do projecto. Os principais tópicos são: Forma, funcionamento, posicionamento do alternador, material da plataforma, tipo de transmissão, tipo de fluido para o hidráulico, forma das bóias externas movimento, material de apoio ao alternador, tipo de motor hidráulico, comprimento do braço da bóia externa, tipo de alternador, tipo fixação da plataforma ao solo do Oceano e número de bóias externas. No total são apresentadas de vinte e quatro exclusões e de treze escolhas. Á árvore de decisões encontra-se depois das exclusões e escolhas.

### 3.2.1 Exclusões:

Nesta secção constam as exclusões efectuadas da árvore de decisões.

Em forma da plataforma, optou-se por excluir plataformas circulares devido a sua baixa estabilidade, a sua forma geométrica, instabilidade a carga do alternador tendo pouco espaço de operação para os restantes equipamentos.

A mesma razão levou à exclusão das plataformas quadráticas.

Relativamente ao funcionamento da plataforma, optou-se por excluir fixa porque necessita de mais elementos metálicos para chegar ao fundo do mar, com maiores gastos.

Para o posicionamento do alternador plataforma, optou-se por excluir a central, tendo um centro de gravidade instável, provocando um maior risco de ruptura sendo necessário reforçar mais as laterais, incluindo mais gastos.

No material da plataforma, optou-se por excluir o metal devido o material ser muito caro, necessita de ser inoxidável, incluído maior custos de produção.

Para o tipo de transmissão, optou-se por excluir a correia porque tem um aquecimento elevado em altas rotações, fraca durabilidade exposto ao mau tempo, elevado custo de manutenção. A corrente, pelo motivo de baixa durabilidade, necessita de manutenção constante e lubrificação devido a água salgada, emite ruídos, acumula resíduo. A pneumática, por causa da compressibilidade do ar, diminuído o desempenho requerido, não possibilita o controlo de velocidade constante durante vários ciclos. Para o cabo de aço, ganha corrosão ao longo do tempo devido a água salgada. Podem aparecer fissuras, gerando um mau funcionamento e risco de quebra. Dificulta a instalação à mão. Por fim, as rodas dentadas, tem elevada corrosão impossibilitando transmissão. Mau funcionamento quando é transferido poder entre eixo paralelo. Ganha sujidade devido aos resíduos marítimos, impossibilitando um bom funcionamento.

No tipo de fluido para o hidráulico, optou-se por excluir a água, devido as propriedades de lubrificação muito baixas sendo um fluido pouco espesso.

Relativamente a forma bóias externas de movimento, optou-se por excluir a forma quadrática, porque tem uma forma não adequado para o nosso problema e uma construção mais difícil.

Para o material de apoio do alternador, optou-se por excluir o aço porque é um material muito pesado, necessita de ser inoxidável aumentando os custos. E o alumínio por ter um elevado preço e um maior desgaste a corrosão.

No caso do motor hidráulico, optou-se por excluir o motor hidráulico de ventoinha, o motor hidráulico de pistão, e os atuadores giratórios, tendo eles os mesmo motivo serem desnecessários para o nosso problema e um custo elevado de aquisição.

Para o comprimento do braço da bóia externa, optou-se por excluir o braço curto, porque têm baixa capacidade de criar momento de inércia devido ao seu comprimento, um mau aproveitamento da altura das ondas.

Relativamente ao tipo de Alternador, optou-se por excluir o de 500 KVA e de 1000 KVA, porque tem uma incapacidade de produção eléctrica para o nosso problema, e a frequência de 60Hz, dado que o sistema não é usado na Europa.

No caso do tipo fixação plataforma ao solo do Oceano, optou-se por excluir a corrente metálica e o cabo de aço, por ter um peso elevado, ter fraca resistência a corrosão, aumentando os gastos para ser tratado.

Para o número de bóias externas, optou-se por excluir, menor que 1, devido a incapacidade de alimentar o motor hidráulico e uma má distribuição do peso da plataforma.

### 3.2.2 Escolhas

Nesta secção constam as escolhas efectuadas da árvore de decisões.

Na forma da plataforma, optou-se pela rectangular, assim possibilitando maior espaço, possibilitando a introdução do alternador ao centro assim como os restantes componentes nas extremidades, anulando as variações do centro de massa.

Relativamente ao funcionamento da plataforma, optou-se pela flutuante, por ser a mais apropriada para o nosso problema, com menor gasto de material, reduzindo os custos.

Para o posicionamento do alternador plataforma, optou-se na central, por motivo de ter um centro de massa equilibrado assim melhorando o aproveitamento e funcionamento dos restantes componentes.

No material da plataforma, optou-se por o plástico porque tem uma boa capacidade de flutuação devido ao seu peso ser reduzido e com menor custo.

Para o tipo de transmissão, optou-se pela transmissão hidráulica, por ter uma maior eficiência, necessitando de menos equipamentos para um bom funcionamento.

Relativamente ao tipo de fluido para o hidráulico, optou-se pelo óleo porque reúne boas propriedades de lubrificação as partes internas dos componentes, actua como um meio de transmissão de energia, libertando calor, preenche a folga entre os componentes móveis e um bom inibidor de corrosão. E para escolha do óleo Cepsa Hidráulico HM”, sendo ele recomendando pelos fornecedores dos hidráulicos.

Na forma bóias externa movimento, optou-se por a cilíndrica, ocupando menor espaço, melhor estética, maior volume de água deslocado devido a sua profundidade e menor raio.

Para o material de apoio do alternador, optou-se pelo material RobberCoker, por ser um material com incorporação de cortiça e de boa qualidade.

Relativamente ao tipo de motor hidráulico, optou-se pelo motor hidráulico de engrenagem, devido a sua rapidez de resposta com um peso reduzido, um bom funcionamento e muita durabilidade.

Para o comprimento do braço da bóia externa, optou-se pelo comprimento longo, conseguindo criar maior momento de inércia, aproveitando a altura das ondas assegurando o movimento do hidráulico até ao fim de curso.

No tipo de alternador, optou-se por uma potência 1000KVA, por ter uma elevada produção de electricidade, e a frequência o 50Hz, porque é sistema usado na Europa.

Relativamente ao tipo fixação plataforma ao solo do Oceano, optou-se pela corda de Poliéster, por dispor melhor qualidade, uma baixa corrosão com um menor custo.

Para o número de bóias externas, optou-se por mais que 1, conseguindo dividir por igual o centro de massa devido ao número de bóias aumentando a eficiência e reduzindo o curso dos cilindros hidráulico diminuindo os gastos.

### **3.2.3 Árvore de decisões**

### 3.3 Esquema hidráulico

Nesta secção é apresentado o funcionamento do esquema hidráulico funcional assim como os componentes necessários para o funcionamento. Os vários componentes essenciais que o fluido tem a percorrer até chegar ao final.

Prescrevendo o funcionamento de apenas um cilindro hidráulico, observa-se no esquema hidráulico, representado a seguir que quando a onda aciona o cilindro hidráulico CH4 o fluido sairá do reservatório hidráulico (27) por uma mangueira hidráulica (TH). Transitando pela Conexão TEE Macho central Rosca (CTM5), onde irá para o ponto HA10 entrando no cilindro flutuante. No outro lado o fluido estará de saída no ponto HA9 progredindo para válvula alternador (VA4). Esse processo é repetido inúmeras vezes.

Quando esse procedimento estiver terminado, o fluido continuará para o colector hidráulico (C), saindo para o tanque de pressão (55), continuando para o purgador (p), fazendo movimentar o motor hidráulico (54). Quando o fluido percorrer o motor hidráulico, regressara ao tanque passando por o filtro (F), Quando o motor hidráulico começar a funcionar também acciona o redutor mecânico (56), transmitido essa rotação ao alternador (57) para a produção de electricidade que será posteriormente injectada a rede.

### **3.3.1 Esquema hidráulico**

### 3.4 Dimensionamento da base da plataforma

Neste ponto, sabendo que a base da plataforma, será uns dos elementos principais em contacto com a água, assim sendo, onde será exposto as maiores forças dos componentes. Para assegurar a flutuação da plataforma, utilizando o teorema de Arquimedes na secção (2.5). Inicialmente, utilizando os valores já conhecidos ver tabela (3.1), foi calculado o volume mínimo deslocado necessário para haver flutuação, ver tabela (3.2) que é de 3.967 m<sup>3</sup>. A plataforma foi dimensionada com esse valor.

Já com a base da plataforma construída, encaixando as peças todas na horizontal para obter um comprimento total da base num valor de 50 m, com um raio de 0.35 m ver tabela (3.3), assim reunindo esse dados e já sabendo o peso de todos os componentes e da plataforma, chegamos a conclusão que o peso total final é de 3654 kg, tendo assim de deslocar um volume mínimo de 3.6 m<sup>3</sup>. Sabendo o volume da base da plataforma de 5.22 m<sup>3</sup>, referido na tabela (3.4), concluimos que a base tem um coeficiente de segurança de 1.5 conseguindo suportar o peso dos equipamentos.

Tabela 3.1: Tabela dados da plataforma inicialmente.

Dados:	
Peso alternador [kg]	2279
Peso plataforma, atribuído [kg]	1000
Equipamentos hidráulicos atribuído [kg]	500
Peso max. para duas pessoas manutenção [kg]	200
Somatório total [kg]	3979
Fluído	Água mar
Temperatura água do mar [°C]	16*
Densidade água do mar [kg/m <sup>3</sup> ]	997.13
Gravidade [m/s <sup>2</sup> ]	9.81

\*Temperatura média da água do mar de acordo com o instituto Português de Mar e Atmosfera.

Tabela 3.2: Cálculo volume mínimo necessário.

Cálculos:	
Densidade água do mar [kg/m <sup>3</sup> ]	997.13
Somatorio total dos equipamentos [kg]	39790
Volume deslocado [m <sup>3</sup> ]	3.967

Tabela 3.3: Dimensões base plataforma.

Dimensões base plataforma:	
Comprimento total plataforma [m]	50
Raio [m]	0.35

Tabela 3.4: Resultado final, Volume Final.

Peso:	[kg]
Peso Alternador	2279
Peso plataforma, atribuído	795
Equipamentos hidráulicos, atribuído	380
Peso max. para duas pessoas manutenção	200
Somatório total final	3654
Volume:	[m <sup>3</sup> ]
Volume deslocado	3.6
Volume base plataforma	5.22
Coefficiente de segurança	1.50

## 3.5 Cálculo do escoamento e braço hidráulico

### 3.5.1 Cálculo do escoamento

Para assegurar o escoamento total do fluido, dos cilindros hidráulicos. Através das dimensões iniciais e do conhecimento das alturas das ondas, será calculado utilizando a tabela (2.1). Com os maiores e menores dados, será calculado o número de repetições necessária para assegurar que cada cilindro hidráulico consiga injectar 20 lpm.

Na tabela (3.5) utilizando o dimensionamento do fornecedor, observamos quando o cilindro hidráulico está em avanço injectará ao sistema hidráulico um quantidade de 3.92 l, quando no retorno terá uma capacidade de 2.69 l, num total de 6.62 l quando completando um ciclo.

Os valores de 50 mm e 28 mm de raio com uma altura de 500 mm, na tabela (3.5), representam as dimensões do cilindro hidráulico, de marca Rexroth Bosch Group, modelo CDL2 com a referência MPS/100/56/500D1X/B11CKUMWW, ISO-228/1.

Tabela 3.5: Volume do cilindro hidráulico.

$\hat{A}rea_{base}$	$A_{base} = \pi * r^2 [mm^2]$	$r [mm]$	$h [mm]$
	7853	50	500
$\hat{A}rea_{haste}$	$A_{haste} = \pi * r^2 [mm^2]$	28	500
	2463		
$Volume_{avanço}$	$V_{base} = A_{base} * h [L]$		
	3.92		
$Volume_{Haste}$	$V_{haste} = A_{haste} * h [L]$		
	1.23		
$Volume_{retorno}$	$Litro_{retorno} = V_{base} - V_{haste} [L]$		
	2.69		
$Volume_{hidráulico}$	$Litros_{hidráulico} = Litro_{retorno} + V_{base} [L]$		
	6.62		

Na tabela (3.6), utilizando os dados anteriores situados na tabela (2.1), podemos obser-

var para uma altura média de 10.8 m, será necessário o cilindro hidráulico exercer quatro repetições com um período médio de 50 s para conseguir injectar 26.48 l, para o sistema hidráulico, assim conseguindo corresponder à necessidade mínima que terá de garantir de 20 lpm. O valor de 6.62 l, provém da tabela (3.5), assim calculado anteriormente.

Tabela 3.6: Variação de litros em relação as repetições para a máximo valor da altura média.

Altura média [m]	Período médio [s]	Repetições [r]	Litros [l]
10.8	12.6	1	6.62
	25.2	2	13.24
	37.8	3	19.86
	50.0	4	26.48
	63.0	5	33.00

Na tabela (3.8) também utilizando os dados da tabela (2.1), para uma altura média de 0.27 m, essa altura menor relativamente ao curso do cilindro hidráulico sendo esse de 0.5 m foi criado a tabela (3.7), tendo sido obtido um valor de 3.57 l para a altura média de 0.27 m.

Tabela 3.7: Cálculo da altura devido a curso hidráulico.

	Volume Cilindro Hidráulico [l]	Curso cilindro Hidráulico [m]
Altura de 0.27 [m]	6.62	0.50
	3.57	0.27

Tabela 3.8: Variação de litros em relação as repetições para o mínimo valor da altura média.

Altura média [m]	Período médio [s]	Repetições [r]	Litros [l]
0.27	3	1	3.57
	6	2	7.15
	9	3	10.72
	12	4	14.30
	15	5	17.88
	18	6	21.45
	21	7	25.03
	24	8	28.60

### 3.6 Cálculo da potência do braço hidráulico

Para o cálculo da potência utilizamos a equação de Airy (3.1) de elevação onde será derivada em ordem ao tempo, equação (3.2). Por ventura será utilizado o valor máximo e mínimo da tabela (2.1), criando uma nova tabela(3.9) para o cálculo a potência em ordem

ao tempo. Será adicionado à tabela (3.9) o peso cilindro flutuante, sendo importante porque é o componente que irá se deslocar na vertical consoante as oscilações das ondas, provocando o funcionamento dos cilindros hidráulicos assim sucessivamente.

$$Y(x,t) = A \sin(\omega t - kx) \tag{3.1}$$

$$\frac{dY}{dt} = A\omega \cos(\omega t - kx) \tag{3.2}$$

Table 3.9: Valor máximo e mínimo das ondas, ( $K = 0$ ).

	Mín.	Máx.
Velocidade vento (m/s)	5.14	22.64
Fetch (km)	18.5	1777.9
Duração (h)	2	25
Altura média (m)	0.27	10.8
Comprimento médio (m)	8.50	164.6
Período médio (s)	3	12.6
Cilindro flutuante (N)	245.25	245.25

Utilizando a equação de Airy (3.1) juntamente com a derivada em ordem ao tempo (3.2), utilizando a amplitude  $A$ , velocidade angular  $\omega$ , frequência  $f$ , referidos na secção (2.4). Assim conseguindo criar a tabela (3.10) possibilitado o cálculo da potência do braço flutuante no ponto máximo e mínimo .

Table 3.10: Formula da derivação de Airy usando a amplitude de onda  $A$ , a velocidade angular  $\omega$ , frequência  $f$ .

	Mín.	Max.
Formula elevação superfície da onda	$Y = A * \text{sen} * (\omega t - kx)$	$Y = A * \text{sen} * (\omega t - kx)$
$\frac{\partial}{\partial t}$	$Y' = A * \omega * \text{cos}(\omega * t)$	$Y' = A * \omega * \text{cos}(\omega * t)$
Amplitude: $A = \frac{H}{2}$ (m)	0.135	5.4
Vel. angular: $\omega = 2 * \pi * f$ (rad/s)	2.094	0.498
Frequência: $f = \frac{1}{T}$ (Hz)	0.333	0.079

Utilizando os valores da tabela (3.10) no ponto mínimo, foi calculado a potência exercida no braço flutuante em ordem ao tempo, com uma peso do braço flutuante de 245.25 kg uma amplitude de 0.135 m, velocidade angular de 2.094 rad/s. A potência varia entre [-34:69] W para o mínimo e de [-620:600] W para o máximo, representados na tabela (3.11).

Para encontrar os valores da potência foi utilizada a formula, descrita na (3.3).

$$P = Fi * A * \omega * \text{cos}(\omega * t) \tag{3.3}$$

Table 3.11: Potência máxima no ponto mínimo e máximo ordem ao tempo.

	$A$ [m]	$\omega$ [rad/s]	$f$ [Hz]	Peso braço Flutuante [kg]	Potência [W]
Mínimo	0.135	2.094	0.333	245.25	[-34:,69]
Máximo	5.4	0.498	0.079	245.25	[-620,660]

### 3.7 Comportamento do braço flutuante em várias fases de onda

Na figura (3.1) representado o funcionamento de absorção de energia num esquema simplificado do braço flutuante. Com o cilindro flutuante submerso a 1 m de profundidade a 2.14 m distância do centro do cilindro até ao encaixe do apoio hidráulico. Tendo o  $P_{entrada}$  a potência vindo do funcionamento do braço flutuante, alimentando o sistema criando energia eléctrica, por fim enviando ao consumidor final  $P_{saída}$ .

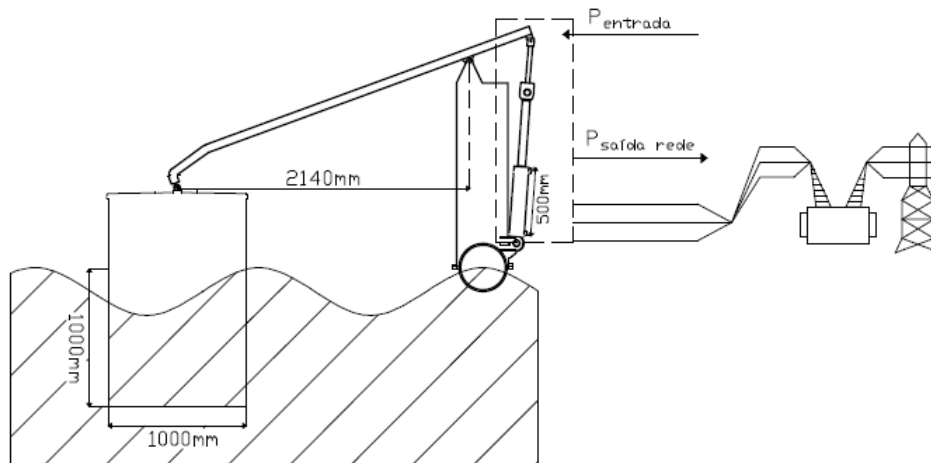


Figure 3.1: Funcionamento de absorção de energia.

O esquema hidráulico simplificado representado na figura (3.2) demonstra o funcionamento do sistema hidráulico passando por vários componentes hidráulicos essenciais para a produção de electricidade. Iniciando no cilindro hidráulico até chegando ao alternador.

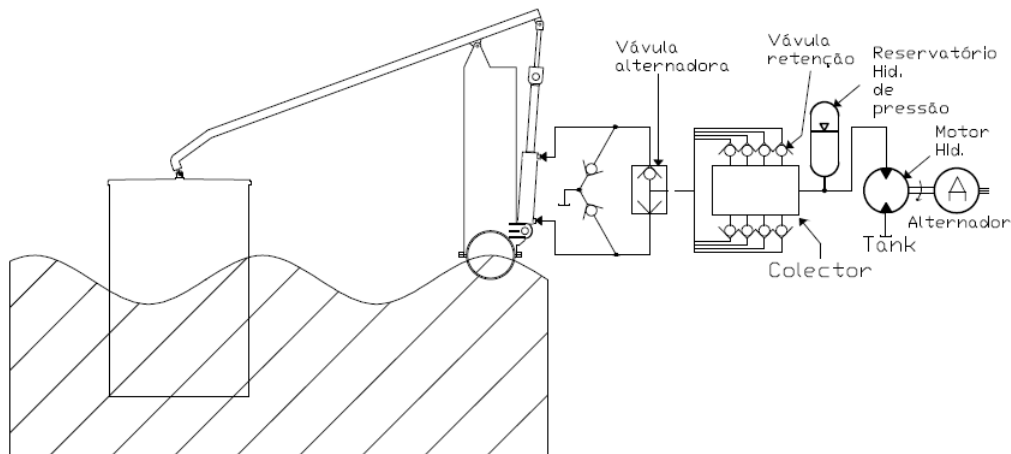


Figura 3.2: Sistema hidráulico simplificado.

Quando o cilindro flutuante estiver em repouso, não havendo ondulações marítimas representado na figura (3.3), o cilindro flutuante se encontrará a 1 m de profundidade, não existindo movimentação do braço. O cilindro hidráulico estará no ponto inicial de curso.

No ponto A localizasse um batente entre o braço flutuante e o cilindro flutuante, assegurando que o cilindro flutuante se movimente na vertical, sem provocar movimentos na vertical.

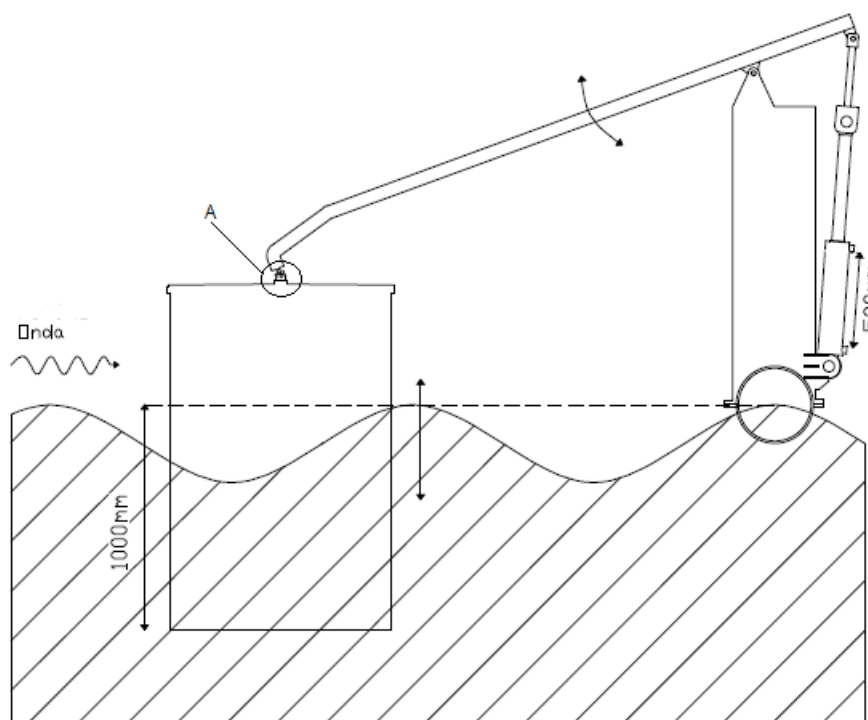


Figura 3.3: Posicionamento inicial sem ondulações marítimas.

Havendo agitação marítima, as ondas ao entrar em contacto com o braço flutuante fazendo-o movimentar na vertical, o processo de produção de electricidade é iniciado.

Na figura (3.4) o cilindro flutuante encontra-se na fase de subida a uma altura de 1.1 m. Fluido esse absorvido na  $Entrada_{Fluido}$ , vindo do reservatório, seguindo pela  $Saída_{Fluido}$  movimentando-se para os componentes do sistema hidráulico. Nesta fase o cilindro hidráulico encontra-se a meio curso, percorrendo 0.25 m.

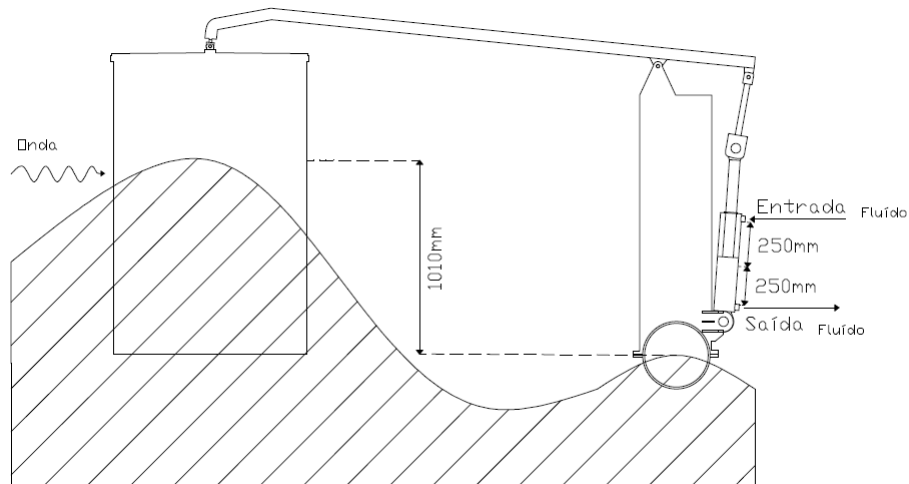


Figura 3.4: Posicionamento do cilindro flutuante a meia altura.

Por fim na figura (3.5) o cilindro flutuante encontra-se na sua altura máxima de 1.235 m. No topo do apoio hidráulico encontra-se um batente que impossibilita a quebra do cilindro hidráulico e do braço hidráulico. Durante esta fase o cilindro hidráulico encontra-se no máximo curso de 0.5 m, libertando o fluido na totalidade. Quando começar a fase de descida esse processo irá ser feito de forma descendente até chegar ao ponto de partida ilustrada na figura (3.3).

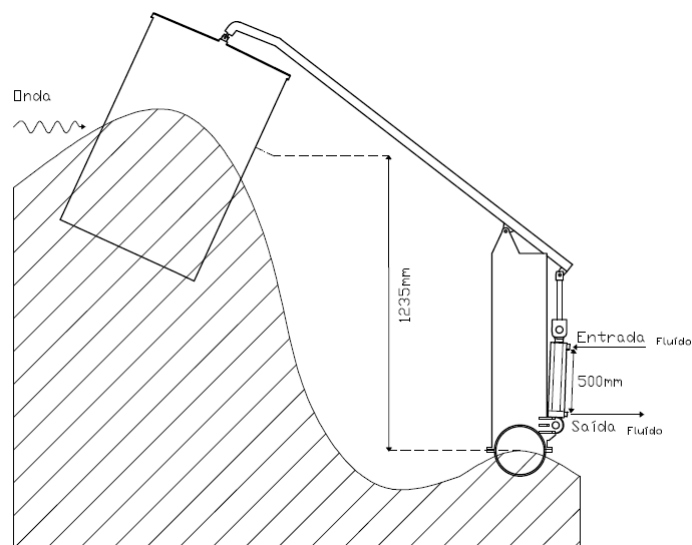


Figura 3.5: Posicionamento do cilindro flutuante na altura máxima.

# Capítulo 4

## Produto final

### 4.1 Escolha dos componentes

Nesta etapa foi necessário a escolha dos componentes para garantir um bom funcionamento da plataforma, assim será abordado de seguida cada componente fundamental, ilustrando as características de funcionamento de cada uma delas. A descrição detalhada de cada componente encontra-se na tabela (4.1) bem como o posicionamento dos componentes situando-se no esquema hidráulico (3.3). Os restantes componentes de ligação de acoplamento não serão abordados, mas podendo ser visto na tabela (4.1), e no esquema hidráulico (3.3).

#### 4.1.1 Grupo Alternador

Após pesquisa de alternadores, obteve-se por um alternador de 1 MW da Winding 312, o alternador tem um peso de 2279 kg, com um funcionamento ideal a 1800 RPM, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### 4.1.2 Motor hidráulico

Segundo pesquisa dos motores hidráulico de engrenagem existentes no mercado, teve de apresentar as características exigidas mínimas para conseguir fazer funcionar o alternador. Daí a escolha do motor M30, que por sinal é o mais pequeno desta gama de motores e satisfaz bastante as necessidades previstas, debitando uma rotação de 2000 RPM necessitando de um caudal de 157 LPM, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### 4.1.3 Redutor Mecânico

Para a escolha do redutor mecânico no mercado, tivemos de optar por um que reduza a rotação de 2000 RPM como entrada vindo do motor hidráulico para uma saída de 1800 RPM, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### **4.1.4 Colector hidráulico**

Como o colector hidráulico, terá quatro entradas em cada lateral, vindo óleo dos cilindros hidráulicos, com uma saída frontal para o escoamento direccionando para tanque de pressão, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### **4.1.5 Cilindro hidráulico**

A escolha dos cilindros hidráulicos teve como parâmetro principal conseguir injectar um caudal de 157 lpm, caudal esse, necessário para assegurar o funcionamento do motor hidráulico. A plataforma tendo oito braços flutuante acoplados, com um cilindro hidráulicos em cada braço, tendo assim cada cilindro hidráulico de garantir 20 lpm. Após pesquisa chegou-se a escolha de um cilindro hidráulico, com um diâmetro de êmbolo de 100 mm, diâmetro da haste do êmbolo de 56 mm e com um curso de 500 mm, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### **4.1.6 Tanque de pressão**

Neste ponto sabendo que o tanque terá de garantir um caudal volúmetrico de 157 lpm para o motor hidráulico, terá um reservatório de 80 l, com um disparo de caudal aos 50 l, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### **4.1.7 Reservatório Hidráulico**

Neste ponto sabendo que o reservatório terá de ter capacidade para conseguir alimentar o circuito hidráulico, daqui procedeu-se a escolha de um reservatório com capacidade de 160 l. O reservatório terá uma largura de 590 mm, altura de 510 mm e um comprimento de 817 mm. Quatro saídas de óleo em cada extremidade de uma polegada, oito no total, colocadas no fundo do reservatório assim facilitando a injeção para o sistema, onde cada saída irá alimentar um cilindro hidráulico, com uma entrada de óleo colocado no superior vindo do motor hidráulico e não interferindo com as restantes saídas, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

#### **4.1.8 Purgador**

Para o purgador, foi escolhido um Spirotech AA100 de uma polegada, altura de 180 mm, um comprimento de 88 mm. Terá que garantir a libertação de ar do fluido para que esse consiga sangrar o sistema hidráulico garantindo uma maior eficiência, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

### **4.1.9 Mangueira**

Para a escolha da mangueira hidráulica, é fundamental saber para que efeito será usada. Será através dela que o óleo percorrerá fazendo funcionar os restantes componentes, sabendo que será exposta a condições climáticas rigorosas, como a corrosão devido à água salgada. Para esse efeito foi escolhido uma tubagem hidráulica da Hennings EN 856 R13 de uma polegada, com seis espirais de aço traçados de fios reduzidos, tendo um menor desgaste devido a corrosão. De pressão máxima de 350 bar, e pressão máxima de rotura de 1650 bar, suportando temperaturas entre -10 °C a 121 °C, ver condições do fornecedor tabela (4.1).

### **4.1.10 Óleos**

A escolha do óleo dependeu das suas características devido ao temperaturas e clima que será exposto, tendo uma viscosidade suficiente para proporcionar adequada vazão, uma adequada resistência minimizando o atrito e o desgaste, assim sendo estável no que se refere à oxidação protegendo todos os componentes contra a ferrugem e corrosão, mantendo um bom funcionamento do sistema hidráulico. Foi escolhido um óleo da Cepsa Hidráulico HM da classe HLP, suportando temperaturas abaixo de 10 °C, com funcionamento a elevadas temperatura e pressões, ver condições. do fornecedor tabela (4.1).

## **4.2 Peças a adquirir no mercado**

Os desenhos técnicos de construção mecânica componentes são normalizados e assim existentes no mercado. A tabela 4.1 indica a referência da peça no desenho técnico bem como o marca e modelo comercial.

Tabela 4.1: Peças a adquirir no mercado.

Referência	Qt.	Designação
025	8	Rexroth Bosch Group CDL2MPS/100/56/500D1X/B11CKUMWW, ISO-228/1
027	1	Reservatório hidráulico hidracomp RST-160, DIN-24339
032	18	Parafuso M5 x 10-WN, ISO-4018
033	24	Parafuso M16 x 60-WN, ISO-4018
034	84	Porca M5-N, ISO-4034
035	36	Porca M10-N, ISO-4034
036	24	Porca M16-N, ISO-4034
037	38	Porca M20-N, ISO-4034
038	16	Veio B-50 x 100 x 10-St, ISO-2341
039	8	Veio B-20 x 55 x 5-St, ISO-2341
040	8	Veio B-20 x 90 x 5-St, ISO-2341
044	4	Sem fim 8 x 100-St, ISO-8752
051	8	Veio B-14 x 45 x 4-St, ISO-2341
054	1	Motor hidráulico Commercial hydraulics M75
055	1	Tanque de pressão Parker M2001-2/ 80L
056	1	Redutor mecânico NMRV040
057	1	Alternador Stamford HCI634J
058	6	Parafuso M5 x 12-WN, ISO-4018
VR	24	Válvula de retenção, Hidráulica Industrial e Mobile. TN 20, ISO 228/1
F	1	Filtro. Fluidservice. Série SF TIPO R060
VA	8	Válvula Alternadora, ABA.AT3134
C	1	Colector Hidráulico. Sepcoll, 8-1 1"
P	1	Purgador, Spirotech AA100
CTM	8	Coneção TEE Macho Central rosca, REF:TMA 28x1 NPT-L
CIR	80	Conexão igual recta, Hennings. Ref: UDA 25-L
CTI	16	Conexão TEE igual, Hennings. Ref: TIA 28-L
TPF	16	Terminal prensado 90° FêmeaF DKO-Cone 24° série. Hennings, DIN 3865 Ref:154 DL-28-16
CRR	9	Conexão redução reta Macho fêmea.Hennings, Ref: MATA 28x06L
TH		Tubagem Hidráulica 6 espirais de aço, Hennings. EN 856 R13 1" Óleo CEPSA Hidráulico HM , Cincinnati Machine P-70, 330 L

### **4.3 Peças a fabricar**

Apresenta-se toda a listagem, referência dos componentes e os desenhos técnicos. Seguindo da tabela (4.2), refere-se as referências e as designações dos componentes a construir consoante a numeração da listagem referida, indicando a quantidade de componentes necessárias.

Para a construção dos desenhos técnicos foi consultado o livro, (Morais 2006).

Tabela 4.2: Peças a fabricar.

Referência	Qt.	Designação
001	1	Bóia central de quatro pontas
002	2	Bóia encaixe central extremidade
003	8	Bóia extremidade lateral
004	4	Encaixe lateral
005	2	Encaixe
006	1	Bóia encaixe central extremidade 2, com 1 apoio
007	1	Bóia encaixe central extremidade 2, com 3 apoios
008	8	Bóia centro, interior
009	12	Encaixe extremidade fêmea
010	6	Encaixe extremidade macho com gancho
011	6	Bóia central, meio
012	4	Bóia central extremidade com gancho
013	4	Bóia central extremidade sem gancho
014	4	Encaixe extremidade macho com apoio segurança, hid
015	2	Bóia central, meio com encaixe
016	16	Barra estabilizadora
017	4	Barra estabilizadora 1
018	4	Barra estabilizadora 2
019	8	Barra estabilizadora central 1
020	70	Parafuso base
021	70	Porca base
022	1	Chapa de apoio manutenção central
023	8	Caixa componentes
024	3	Apoio hidráulico esquerda
026	8	Barra encaixe hidráulico
028	2	Braçadeira tanque
029	6	Barra estabilizadora lateral
030	2	Barra estabilizadora central hid
031	3	Apoio hidráulico
041	2	Chapa de apoio de manutenção
042	2	Apoio hidráulico central
043	8	Barra estabilizadora hidráulico
045	8	Cilindro flutuante
046	8	Fixador de barras bóia externa
047	8	Proteção bóia externa
048	8	Braço bóia externa
049	64	Barra superior
050	16	Sem fim cilindro
052	1	Grelha de apoio gerador
053	1	Caixa coletor

## **4.4 Desenhos Cotados**

De acordo com Abreu et al (F.Abreu 2012) a liga de alumínio 6101 tem uma boa resistência à corrosão pela água do mar, para além dessa característica tem também uma resistência mecânica elevada, (Committee 2002).

Para o plástico HDPE ou PE-HD, um Polietileno reciclado, de alta densidade com uma boa resistência à corrosão à água salgada, também uma elevada resistência mecânica, (Kent 2006), (Dias 2016).

**4.4.1 Desenho técnico (001), Bóia central de quatro pontas.**

#### **4.4.2 Desenho técnico (002), Bóia encaixe central extremidade**

### **4.4.3 Desenho técnico (003), Bóia extremidade lateral**

#### **4.4.4 Desenho técnico (004), Encaixe lateral**

#### **4.4.5 Desenho técnico (005), Encaixe**

**4.4.6 Desenho técnico (006), Bóia encaixe central extremidade 2, com 1 apoio**

**4.4.7 Desenho técnico (007), Bóia encaixe central extremidade 2, com 3 apoio**

**4.4.8 Desenho técnico (008), Bóia centro, interior**

**4.4.9 Desenho técnico (009), Encaixe extremidade fêmea**

**4.4.10 Desenho técnico (010), Encaixe extremidade macho com gancho**

**4.4.11 Desenho técnico (011), Bóia central, meio**

**4.4.12 Desenho técnico (012), Bóia central extremidade com gancho**

**4.4.13 Desenho técnico (013), Bóia central extremidade sem gancho**

**4.4.14 Desenho técnico (014), Encaixe extremidade macho com apoio  
segurança, hid**

**4.4.15 Desenho técnico (015), Bóia central, meio com encaixe**

**4.4.16 Desenho técnico (016), Barra estabilizadora**

**4.4.17 Desenho técnico (017), Barra estabilizadora 1**

**4.4.18 Desenho técnico (018), Barra estabilizadora 2**

**4.4.19 Desenho técnico (019), Barra estabilizadora central 1**

**4.4.20 Desenho técnico (020), Parafuso base**

**4.4.21 Desenho técnico (021), Porca base**

**4.4.22 Desenho técnico, vista explodida: Base plataforma**

**4.4.23 Desenho técnico (022), Chapa de apoio manutenção central**

**4.4.24 Desenho técnico (023), Caixa componentes**

**4.4.25 Desenho técnico (024), Apoio hidráulico esquerda**

**4.4.26 Desenho técnico (026), Barra encaixe hidráulico**

**4.4.27 Desenho técnico (028), Braçadeira tanque**

**4.4.28 Desenho técnico (029), Barra estabilizadora lateral**

**4.4.29 Desenho técnico (030), Barra estabilizadora central hid**

**4.4.30 Desenho técnico (031), Apoio hidráulico**

**4.4.31 Desenho técnico, vista explodida: Hidráulico central**

**4.4.32 Desenho técnico (041), Chapa de apoio de manutenção**

**4.4.33 Desenho técnico (042), Apoio hidráulico central**

**4.4.34 Desenho técnico (043), Barra estabilizadora hidráulico**

**4.4.35 Desenho técnico, vista explodida: Hidráulico lateral**

**4.4.36 Desenho técnico (045), Cilindro flutuante**

**4.4.37 Desenho técnico (046), Fixador de barras bóia externa**

**4.4.38 Desenho técnico (047), Proteção bóia externa**

**4.4.39 Desenho técnico (048), Braço bóia externa**

**4.4.40 Desenho técnico (049), Barra superior**

**4.4.41 Desenho técnico (050), Sem fim cilindro**

**4.4.42 Desenho técnico, vista explodida: Cilindro flutuante**

**4.4.43 Desenho técnico (052), Grelha de apoio gerador**

**4.4.44 Desenho técnico (053), Caixa coletor**

**4.4.45 Desenho técnico, vista explodida: Alternador e suporte**

## **4.5 Produto final**

### **4.5.1 Dispositivo de conversão oscilante axial**

## 4.6 Características Técnicas

A plataforma flutuante tem como características técnicas ser essencialmente construída em plástico HDPE, os componentes escolhidos foram seleccionados para garantir a eficácia devido as condições climatéricas. Tem como capacidade de produção de 1 MW com ajuda de oito cilindros flutuantes, executado totalmente através de um sistema hidráulico sem controlo eléctrico. Os cilindros flutuantes movimentam-se na horizontal com um ângulo de 0° até 75°.

# Capítulo 5

## Conclusão

### 5.1 Etapas concluídas

Neste projeto, elaborou-se o dimensionado e o estudo de uma plataforma flutuante. A elaboração de uma árvore de decisões e um esquema lógico do sistema hidráulico, fez-se a pesquisa e selecção dos componentes do circuito hidráulico tal como a selecção dos componentes a adquirir no mercado, a montagem dos componentes (computacionalmente), a representação dos componentes em desenhos técnicos a 2D juntamente com a listagem dos componentes e os cujo a fabricar.

### 5.2 Conclusões

Neste trabalho foi projectada em SolidWorks uma plataforma flutuante, praticamente toda construída com plástico HDPE, um polímero reciclado.

Todos os objectivos de dimensionamento e restrições apresentados inicialmente foram concluídos, isto com o apoio da árvore de decisões.

A plataforma tem um comprimento 9.30 m, uma largura de 5.5 m, altura de 2 m. Pretende-se que a plataforma produza uma potência de 1 MW, funcionando com um sistema hidráulico, acoplado a oito braços flutuantes. Cada braço flutuante conseguido com capacidade de absorção da potência das ondas num valor mínimo de 69 W e de máxima de 660 W.

A Plataforma flutuante terá um coeficiente de segurança de 1.5, assim assegurando a estabilidade exposto no mar, assim criando uma boa margem de flutuação.

Relativamente aos cilindros hidráulicos iram conseguir percorrer o curso total, visto que só necessita de uma altura de 1.235 m, assim facilitando o funcionamento correcto da plataforma.

### **5.3 Trabalhos Futuros**

Como o objectivo principal deste projecto foi atingido, mas faltando alguns pontos cruciais, de seguida segue a lista dos possíveis trabalhos futuros que poderão sugerir com este projecto:

- Realizar a simulação numérica da plataforma de forma a verificar a sua fiabilidade
- Alterar algumas matérias de construção diminuindo a massa ou aumentando a resistência mecânica.
- Melhoramento do sistema hidráulico, escolha dos componentes.
- Construção da plataforma em escala real.

# Bibliografia

Angelotti, J. P. B. N. J. . P. D. M. A. N. . R. (2005), ‘Praias saiba mais sobre elas...’.

**URL:** [http://www.cem.ufpr.br/praias/pagina/pagina.php?menu=ondas\\_formacao](http://www.cem.ufpr.br/praias/pagina/pagina.php?menu=ondas_formacao)

Committee, A. I. M. P. D. (2002), *Thermal Properties of Metal*.

Conceicao (2010), ‘Climas e correntes maritimas’.

**URL:** <http://geoconceicao.blogspot.pt/2010/04/oceanos-e-atmosfera.html>

de Energia das Ondas, C. (2004), ‘Potencial e estrategia de desenvolvimento da energia das ondas em portugal’.

de Melo Veloso, R. C. (2014), Avalião tecnica da energia das ondas em portugal, Master’s thesis, Tecnico Lisboa.

Dias, L. M. C. . A. A. (2016), ‘Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para o uso em elementos estruturais’.

F.Abreu, . A. . A. . A. (2012), ‘Avaliacao da resistencia a corrosao da liga aluminio 6101 apos diferentes tratamento termicos de recipitacao’, **31**(3/4).

Garrido, M. A. . M. A. . A. J. G. . I. (2011), *Modeling and Silmulation of wave Energy Generation Plants: Output Power Control*, Vol. 58, IEEE Transaction on Industrial Electronics.

greenenergy (2016), ‘Power current’.

**URL:** <http://www.gres.gr/>

Hill, T. (2016), ‘The front of the pelamis machine bursts through a wave at the agucadoura wave park in povoa de varzim, portugal. (photo: Courtesy pelamis wave power)’.

**URL:** <http://www.lemalae.com/energy.html>

Kent, D. R. (2006), ‘Trngram technology periodic table of thermoplastics’.

Leandro, S. (2016), ‘Projecto surge - energia das ondas’, *Aquaret* .

McCormick, M. (1981), *Ocean Wave Energy Conversion*, Jonh Wiley & Sons.

Morais, S. (2006), *Desenho Tecnico Basico 3*, number 320, Porto Editora.

Paes, P. S. . T. B. . M. (2010), 'Energia das ondas'.

**URL:** <https://sites.google.com/site/energiadasondas/tecnologia-offshore/atenuador>

PortalEnergia (2016), 'Waveroller, peniche'.

**URL:** <http://www.portal-energia.com/projeto-waveroller-energia-das-ondas-peniche-recebe-10-milhoes-euros/>

Ross, D. (1995), *Power from the Waves*, Oxford University Press.

Salter, S. (1974), *Wave Power*, vol. 5459 edn, reimpresso na Nature.

Sarmiento, J. M. C. . A. J. (2004), 'Energia das ondas: Introducao aos aspectos economicos e ambientais'.

Tethys (2016), 'Oscillating water column'.

**URL:** <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/pico-oscillating-water-column>

White, F. M. (1991), 'Mecanica dos fluidos'.