

Energia Renovável Oceânica - Conceção de um dispositivo para aproveitamento da Energia Eólica, das Ondas e das Correntes: *TRI POWER UP*

José Miguel Soares Macieira

Dissertação de Mestrado

Orientadores na FEUP: Prof. Augusto Barata da Rocha

Prof. António Torres Marques

Prof. Fernando Gomes de Almeida



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

janeiro de 2017

Resumo

A produção de energia elétrica é um dos maiores problemas que a sociedade atual enfrenta. O aumento da população mundial, aliada a uma cada vez maior evidência da necessidade de reduzir a dependência de fontes de energia não-renováveis como o petróleo, leva a que se procurem formas alternativas de produção de energia.

Como é do conhecimento geral, os oceanos cobrem a maioria da superfície terrestre (cerca de 71%). Tal como seria de esperar, estes apresentam um grande potencial de produção de energia elétrica. No entanto, este abundante recurso é, ainda, pouco explorado para a produção de energia devido às mais diversas dificuldades que o ambiente marítimo coloca. Assim sendo, com este trabalho, pretende-se apresentar uma proposta para aproveitar a energia que este recurso pode fornecer.

Primeiramente, foram estudadas as diferentes soluções existentes, procurando-se determinar os seus pontos fortes e o seu estado de desenvolvimento para se compreender aquilo que pode ser melhorado. Com esta informação, foram idealizadas soluções distintas para tal e avaliadas as suas características.

Finda esta primeira etapa, concluiu-se que as diferentes fontes de energia têm um carácter intermitente, isto é, a geração de energia não é feita a um ritmo uniforme. Para contrariar isto, surgiu a ideia de combinar as diferentes fontes de energia por forma a gerar energia a um ritmo mais uniforme. Assim, desenvolveu-se uma solução técnica capaz de combinar, de forma aditiva, 3 fontes de energia distintas (eólica, ondas e correntes) num único sistema, designado por *TRI POWER UP*.

Com este trabalho, pretendeu-se também que o sistema fosse patenteado. Para tal, e após optar por uma das soluções criadas, foi feita uma pesquisa das patentes que poderiam estar em conflito com o sistema idealizado. Após este trabalho de pesquisa de patentes, sucedeu-se um trabalho de análise das mesmas, do qual se concluiu que a solução idealizada era diferente de todas as outras e passível de ser patenteada, cumprindo-se assim um dos objetivos deste trabalho.

Em seguida, foi feita uma estimativa da quantidade de energia que poderia ser gerada por este sistema, a partir da qual foram avaliados os resultados e retiradas as devidas conclusões.

Por fim, com este trabalho foi possível concluir que o problema que foi proposto resolver tem solução, sendo, no entanto, necessário, num futuro próximo, continuar o trabalho de desenvolvimento do sistema.

Abstract

The production of electricity is one of the biggest problems facing society today. The increasing world population, coupled with increasing evidence of the need to reduce dependence on non-renewable energy sources such as oil, leads to the need of seeking alternative forms of energy production.

As it is well known, the oceans cover most of the Earth's surface (about 71%). As it might be expected, these have great potential for producing electrical energy. However, this abundant resource is still little explored for the production of energy due to the most diverse difficulties that the maritime environment poses. Therefore, with this work, it is intended to present a proposal to take advantage of the energy that this resource can provide.

First, the different solutions were studied, trying to determine their strengths and state of development to understand what can be improved. With this information, different solutions were designed for this and their characteristics were evaluated.

By the end of this stage, it was concluded that the different energy sources are intermittent, which means that the power generation it isn't done at an uniform rate. To solve this issue, a technical solution was developed in order to combine the different energy sources, and therefore generate power at an uniform rate. As so, it appears the idea of combine 3 different energy sources (wind, waves and currents) in a single system, designated as *TRI POWER UP*.

With this work, it was also intended to patent the system. To do this, and after deciding for one of the solutions created, a survey of the patents that could be in conflict with the idealized system was made. After this work of patent research, a work of its analysis happened, which concluded that the idealized solution was different from the others and could be patented, thus fulfilling one of the objectives of this work.

Then, an estimation was made of the amount of energy that could be generated by this system, from which the results were evaluated and the conclusions drawn.

Finally, with this work, it was possible to conclude that the problem proposed to be solved has a solution, being, however, necessary, in the near future, to continue the system's development work.



Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer a todos os envolvidos neste projeto, nomeadamente:

- Ao Prof. Augusto Barata da Rocha pela sua disponibilidade para me acompanhar neste projeto e por partilhar comigo a sua paixão por este tema;
- Ao Prof. António Torres Marques por todo o apoio neste trabalho;
- Ao Prof. Fernando Gomes de Almeida pelas suas sempre pertinentes sugestões e ideias;
- Ao Prof. Álvaro Rodrigues pelo seu apoio na compreensão do funcionamento dos aerogeradores;
- Ao Vasco Canavarro e ao Daniel Ferreira, do Design Studio, pela ajuda na elaboração de uma visão futurista do sistema criado;
- A todas os funcionários da FEUP por todos os dias me proporcionarem as melhores condições para desenvolver este trabalho;
- A toda a minha família, particularmente aos meus pais e irmão, por sempre me apoiarem e incentivarem.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação	1
1.2	Objetivos do projeto	1
1.3	Método seguido no projeto	1
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Conceitos Fundamentais e Estado da Arte	3
2.1	Energia renovável	3
2.1.1	Energia solar	5
2.1.2	Energia eólica.....	9
2.1.3	Energia das ondas.....	17
2.1.4	Energia das correntes marítimas.....	27
2.2	Patentes.....	29
3	Objetivos e Requisitos do Sistema	31
3.1	Objetivos	31
3.2	Requisitos	31
4	Solução Proposta	33
4.1	Criação do conceito <i>TRI POWER UP</i>	33
4.2	Desenho do sistema	35
4.2.1	Turbina eólica.....	37
4.2.2	Turbina de correntes	43
4.2.3	Sistema de aproveitamento da energia das ondas.....	47
4.2.4	Sistema anti-retorno	53
4.2.5	Barçaça	55
4.3	Sistema completo.....	59
4.4	Enquadramento da patente	63
4.5	Estimativa da capacidade de geração de energia do sistema	69
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	73
	Referências	75
	Anexos.....	81
	Anexo 1	83
	Anexo 2	105

Lista de siglas e acrónimos

A-Área (m^2)

a-Coefficiente de retardamento axial

AC-*Alternating Current*

A_R -Área resistente (m^2)

APREN-Associação Portuguesa de Energias Renováveis

c-Velocidade de uma onda (m/s)

C_p -Coeficiente de potência

D-Diâmetro (m)

DC-*Direct Current*

EPO-*European Patent Office*

EWEA-*European Wind Energy Association*

g-Aceleração da gravidade (m/s^2)

GFRP-*Glass Fiber Reinforced Plastic*

H_{mo} -Amplitude de uma onda (m)

IEA-*International Energy Agency*

IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera

Nó-Nó

s-Segundo

T-Quantidade de movimento (kg m/s^2)

TSR-*Turbine Speed Ratio*

T_E -Período de energia (s)

T_o -Período de uma onda (s)

ton-Tonelada

V-Velocidade (m/s)

WWEA-*World Wind Energy Association*

λ -Comprimento de onda (m)

ρ -Massa volúmica (kg/m^3)

η -Rendimento

Índice de Figuras

Figura 1-Fontes de energia renovável (Portal Energia 2015).....	3
Figura 2-Circuito elétrico com painéis solares (Jyoty Solar Power s.d.)	5
Figura 3-Constituição de uma célula fotovoltaica (Carrion 2011)	5
Figura 4-Painéis solares na Hidroelétrica de Balbina (Paiva 2016)	6
Figura 5-Lançamento do <i>Seacharger</i> na Califórnia (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013).....	6
Figura 6-Chegada do <i>Seacharger</i> ao Havai, 41 dias depois (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013).....	7
Figura 7-Coeficiente/Limite de Betz (Rodrigues 2016)	10
Figura 8-Teoria de <i>Glauert</i> (Rodrigues 2016).....	10
Figura 9-Curva de potência de um gerador eólico (Rodrigues 2016)	11
Figura 10-Principais constituintes de um aerogerador (Portal Energia 2016).....	12
Figura 11-Exemplos de aerogeradores de eixo vertical (Portal Energia 2016).....	13
Figura 12-Perfil de velocidades do vento desde o solo até a altura do vento geostrófico (Martins, Guarnieiri e Pereira 2008).....	13
Figura 13-Exemplos de aerogeradores de eixo horizontal (Portal Energia 2016).....	13
Figura 14-Variação da intensidade do vento com a altura e com a distância à costa (AquaRET 2012).....	14
Figura 15- <i>London Array</i> , o maior parque eólico <i>offshore</i> da Europa (Renewable Energy 2013)	15
Figura 16- <i>WindFloat</i> Portugal (Baptista 2011)	16
Figura 17-Efeito das diferenças de pressão na geração das ondas (Teixeira, et al. 2007)	17
Figura 18-Evolução das ondas de acordo com a profundidade (Sydow 2014)	17
Figura 19-Movimento das partículas de água nas diferentes regiões de uma onda e variação da sua intensidade com a profundidade (Sydow 2014).....	18
Figura 20-Efeito da profundidade no movimento orbital das partículas de água nas ondas (Teixeira, et al. 2007)	18
Figura 21-Distribuição global do recurso energético das ondas [kW/m] (Waters 2008).....	20
Figura 22-Distribuição do potencial energético na Europa (AquaRET 2012)	20
Figura 23-Constituintes do <i>Pelamis</i> (Leviton 2014)	21
Figura 24- <i>Pelamis</i> em funcionamento no parque de ondas da Aguçadoura (Silva, Barbosa e Paes 2009/2010)	21
Figura 25-Principais componentes do <i>Wavebob</i> (Reventós, et al. 2014)	22
Figura 26-Principais componentes do <i>SeaREV</i> (J. Cordonnier, et al. 2015).....	22
Figura 27-AWS MK I em alto mar (AWS Ocean s.d.)	23
Figura 28- <i>Oyster</i> (Reventós, et al. 2014).....	23
Figura 29-Instalação do <i>Waveroller</i> ao largo da costa de Peniche (TETHYS 2014).....	24
Figura 30-Princípio de funcionamento de uma turbina <i>Wells</i> (Wikipédia 2013).....	24
Figura 31-OWC <i>Pico Power Plant</i> (Reventós, et al. 2014).....	25

Figura 32-Princípio de funcionamento do <i>Wave Dragon</i> (Reventós, et al. 2014)	25
Figura 33-Protótipo do <i>Wave Dragon</i> em funcionamento (Reventós, et al. 2014)	26
Figura 34-Funcionamento esquemático de um dispositivo baseado no fenómeno da pressão diferencial (AquaRET 2012)	26
Figura 35- <i>Archimedes Wave Swing</i> (Fadaeenejad, et al. 2013)	26
Figura 36-Principais correntes oceânicas (Bureau of Ocean Energy Managment s.d.)	27
Figura 37-Turbina para aproveitamento da energia das marés em <i>Strangford Narrows</i> (Reventós, et al. 2014)	28
Figura 38-Exemplo de protótipo para aproveitamento da energia das correntes (Danko 2014)	28
Figura 39-Index da classificação de patentes e breve descrição do seu conteúdo (European Patent Office 2016)	29
Figura 40-Processo de ancoragem de um barco (Burden s.d.)	31
Figura 41-Componentes do conceito <i>TRI POWER UP</i>	33
Figura 42-Subsistemas que constituem o sistema <i>TRI POWER UP</i>	35
Figura 43-Perfil das pás da turbina de eixo horizontal	37
Figura 44-Rotor da turbina eólica	37
Figura 45-Turbina eólica e seus constituintes, com indicação do sentido de rotação	38
Figura 46-Turbina eólica de eixo horizontal acoplada ao veio comum do sistema <i>TRI POWER UP</i>	38
Figura 47-Vista em corte da turbina eólica de eixo horizontal e seus constituintes	39
Figura 48-Pá da turbina eólica de eixo vertical	39
Figura 49-Pormenor do perfil e do braço da turbina eólica de eixo vertical	40
Figura 50-Prato superior da turbina eólica de eixo vertical	40
Figura 51-Prato inferior da turbina eólica de eixo vertical	41
Figura 52-Turbina eólica de eixo vertical e seus constituintes	41
Figura 53-Turbina de correntes de eixo horizontal e seus constituintes, com indicação do sentido de rotação	43
Figura 54-Turbina de correntes de eixo horizontal	43
Figura 55-Vista em corte da turbina de correntes de eixo horizontal e seus constituintes	44
Figura 56-Pá da turbina de correntes de eixo vertical	44
Figura 57-Pormenor do perfil e do braço da pá da turbina de correntes de eixo vertical	45
Figura 58-Turbina de correntes de eixo vertical e seus componentes	45
Figura 59-Gerador para aproveitamento da energia das ondas e fluxo de água no dispositivo de Lei Han (Han 2015)	47
Figura 60-Princípio de funcionamento das válvulas unidireccionais (Han 2015)	48
Figura 61-Vista tridimensional do sistema de câmaras de Lei Han (Han 2015)	48
Figura 62-Vista em corte do sistema de Lei Han com a hélice acoplada ao veio comum (Han 2015)	48

Figura 63-Posicionamento da peça cónica para provocar aceleração no escoamento da água (Han 2015).....	49
Figura 64-Sistema pinhão-cremalheira para aproveitamento da energia das ondas.....	50
Figura 65-Sistema pinhão-cremalheira para aproveitamento da energia das ondas.....	50
Figura 66-Vista em corte da posição das cremalheiras na boia interna	51
Figura 67-Sistema de boias e amortecimento para absorção de movimentos laterais da boia interna	51
Figura 68-Vista tridimensional do interior do sistema anti-retorno	53
Figura 69-Vista tridimensional da peça de engate dos dentes anti-retorno	53
Figura 70-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno em uma engrenagem	54
Figura 71-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno na hélice	54
Figura 72-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno num dos pratos de uma das turbinas de eixo vertical.....	54
Figura 73-Forma do casco do tipo catamarã	55
Figura 74-Forma do casco de uma barça de fundo plano	55
Figura 75-Forma de um casco em "V"	56
Figura 76-Barça completa e seus constituintes	56
Figura 77-Pormenor de um dos suportes da barça	57
Figura 78-Vista em detalhe do mecanismo de âncora	57
Figura 79-Sistema completo com o sistema de Lei Han e as turbinas de eixo horizontal	59
Figura 80-Solução de sistema com um sistema de cremalheiras e rodas dentadas para aproveitamento da energia das ondas e com turbinas de eixo vertical.....	60
Figura 81-Forças envolvidas na geração do momento responsável pelo equilíbrio vertical do sistema	61
Figura 82-Efeito das marés na corrente de amarração	61
Figura 83-Vista tridimensional do <i>TRI POWER UP</i>	62
Figura 84-Vista tridimensional do <i>TRI POWER UP</i>	62
Figura 85- <i>TRI POWER UP</i> em funcionamento num ambiente marítimo	62

Índice de Tabelas

Tabela 1-Planeamento da dissertação	1
Tabela 2-Especificações técnicas do <i>Seacharger</i> (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013)	7
Tabela 3-Ranking mundial dos maiores produtores de energia (WWEA-World Wind Energy Association 2016)	14
Tabela 4-Patentes que surgiram da pesquisa realizada (European Patent Office 2016)	64
Tabela 5-Estimativa da potência média que pode ser extraída pelas turbinas eólica e de correntes.....	70
Tabela 6-Estimativa da potência que pode ser extraída do sistema de aproveitamento da energia das ondas.....	71

1 Introdução

Ao longo desta secção será apresentado não só o trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação, mas também o enquadramento e a motivação para a realização da mesma.

1.1 Enquadramento do projeto e motivação

Ao analisar as diferentes fontes de energia renováveis, constatou-se que uma apresentava um grande potencial, mas os conhecimentos sobre ela eram escassos. Essa fonte de energia era a energia do mar, particularmente das ondas. Da vontade de conhecer este recurso tão abundante e com um tão grande potencial, mas ao mesmo tempo desconhecido, surgiu a motivação para realizar a presente dissertação subordinada a esse tema. Além disso, fontes de energia renovável como a energia solar ou eólica já estão tecnologicamente avançadas (em diferentes estádios de maturidade em ambiente marítimo, estando a eólica muito desenvolvida ao passo que a solar está num estágio ainda embrionário), pelo que a conceção de um sistema capaz de gerar energia a partir destes recursos é um conceito extremamente interessante. A ideia de combinar estas fontes de energia surgiu da necessidade de gerar energia a um ritmo tão constante quanto possível. Uma vez que, individualmente, estas fontes de energia são intermitentes e variáveis ao longo do tempo, ao combiná-las, pretende-se que a geração de energia seja tão estável, quanto possível.

1.2 Objetivos do projeto

Com este projeto pretende-se criar um dispositivo (na forma conceptual) capaz de aproveitar a energia do mar de 3 formas distintas (eólica, ondas e correntes).

É esperado, ainda, que ao longo deste projeto sejam estudadas as diferentes fontes de energia em análise, as diferentes formas de as explorar e definida a melhor forma de extrair o seu máximo potencial.

No final desta dissertação, é esperado que seja criado o conceito de um dispositivo capaz de gerar energia de forma competitiva e sustentável, passível de ser patenteado.

1.3 Método seguido no projeto

Na Tabela 1 é apresentado um resumo do trabalho desenvolvido ao longo do tempo para elaborar esta dissertação. A elaboração deste documento foi feita à medida que as diferentes tarefas definidas no planeamento eram realizadas.

Tabela 1-Planeamento da dissertação

Mês	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Setembro	Escolha do tema		Definição do planeamento	
Outubro	Revisão Bibliográfica			
Novembro	Seleção das turbinas eólicas		Seleção das turbinas de correntes	
Dezembro	Criação dos sistemas de aproveitamento da energia das ondas			Montagem do sistema global
Janeiro	Pesquisa e escrita da patente			

A revisão bibliográfica incidiu sobre as diferentes fontes de energia oceânica e permitiu não só compreender um pouco melhor como podem ser aproveitadas, mas também perceber quais é que têm um maior potencial de exploração no futuro.

No seguimento do ponto anterior, foi feita a seleção das turbinas. Com base nas características das fontes de energia eólica e de correntes, foram avaliadas as principais características das turbinas disponíveis e selecionadas as que apresentam as características mais adequadas.

Relativamente aos sistemas de aproveitamento da energia das ondas, foi feita a criação de um sistema inovador para aproveitamento desta fonte de energia e adaptado um outro já existente.

A montagem do sistema global consistiu na junção dos diferentes sistemas num único dispositivo, onde foram estudadas diferentes configurações do mesmo, já que os diferentes sistemas de aproveitamento da energia oceânica podem ser adaptados a diferentes sistemas globais.

Relativamente às patentes, o trabalho foi desenvolvido após a montagem do sistema global. Foi feita uma pesquisa por patentes, incidente sobre o âmbito deste sistema global, de onde se concluiu que este era de facto um sistema inovador. Chegando a esta conclusão, foram elaborados os necessários textos para a respetiva submissão de patente.

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi estruturada para que o leitor facilmente localize a informação que necessita consultar. Para tal, este documento foi dividido da seguinte forma:

1. **Conceitos Fundamentais e Estado da Arte**. Nesta secção, pretende-se definir os principais conceitos para a compreensão dos termos utilizados ao longo deste documento. É também neste capítulo que é indicado o estado de maturidade em que se encontram as tecnologias de aproveitamento de energia assim como as perspetivas da sua evolução num futuro próximo;
2. **Objetivos e Requisitos do Sistema**. Com este capítulo pretende-se identificar e definir as características fundamentais necessárias para o sistema;
3. **Solução Proposta**. Nesta secção, são dadas as respostas às especificações definidas anteriormente;
4. **Conclusões**, onde são interpretados os resultados obtidos e avaliado o cumprimento dos objetivos definidos. São também sugeridos eventuais trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos a partir deste trabalho.

2 Conceitos Fundamentais e Estado da Arte

Com esta secção pretende-se apresentar os conceitos fundamentais em que se baseia esta dissertação, para que o leitor melhor possa compreender os assuntos abordados, sob a forma de uma revisão bibliográfica.

2.1 Energia renovável

Uma fonte de energia renovável pode ser definida como sendo uma fonte de energia em que “a sua utilização é renovável e pode-se manter e ser aproveitado ao longo do tempo sem possibilidade de esgotamento dessa mesma fonte” (Portal Energia 2015).

Já de acordo com a APREN (Associação Portuguesa de Energias Renováveis), “Fontes de energia renováveis são as fontes de energia provenientes de recursos naturais que se renovam constantemente, de um modo sustentável, mesmo depois de serem usadas para gerar eletricidade ou calor” (APREN s.d.).

Existem vários exemplos de fontes de energia renovável, nomeadamente:

- Energia hídrica;
- Energia eólica;
- Energia solar;
- Energia geotérmica;
- Energia das marés;
- Energia das ondas;
- Energia da biomassa.

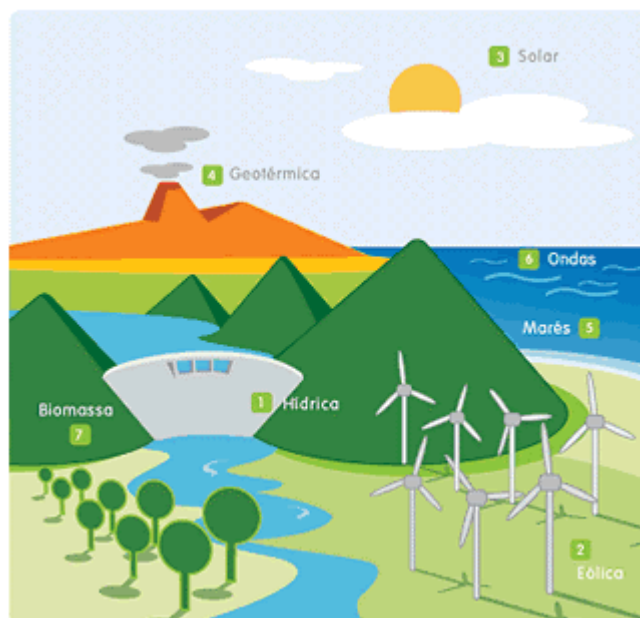


Figura 1-Fontes de energia renovável (Portal Energia 2015)

No contexto desta dissertação, nem todas estas fontes de energia merecem a mesma atenção. Assim sendo, ao longo das próximas secções as fontes de energia em análise serão a energia solar, energia eólica, a energia das ondas e a energia das correntes marítimas.

2.1.1 Energia solar

A energia solar é a energia contida na radiação eletromagnética emitida pelo Sol. A interação desta radiação com os painéis fotovoltaicos cria uma corrente elétrica contínua (DC, *Direct Current*) (Korey s.d.).

Uma vez que a maior parte dos equipamentos funciona com corrente alternada (AC, *Alternating Current*), a corrente contínua gerada (DC, *Direct Current*) passa por um inversor DC/AC

Caso se pretenda ter alguma energia de reserva, alguma da corrente DC gerada pode ser armazenada em baterias. Por outro lado, caso a geração de energia seja feita em excesso, alguma da corrente AC pode ser fornecida à rede elétrica (Jyoty Solar Power s.d.).

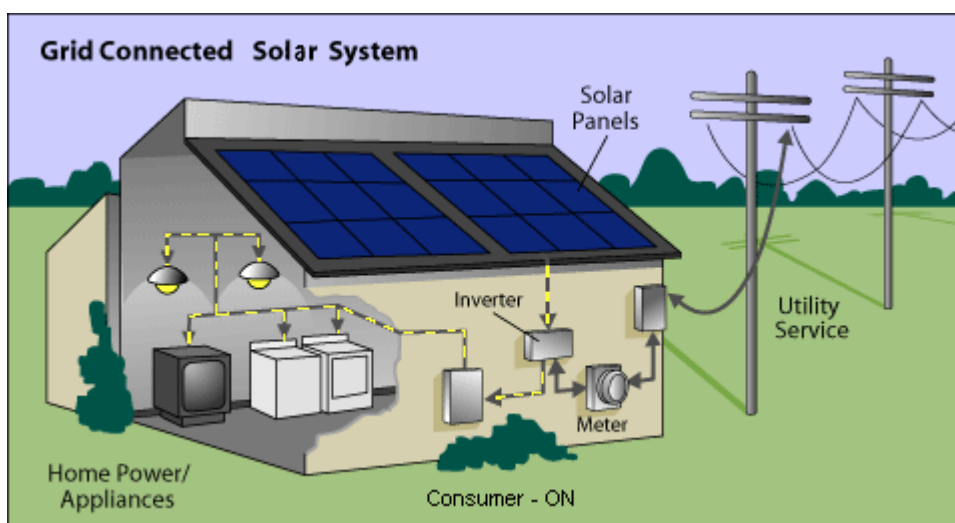


Figura 2-Circuito elétrico com painéis solares (Jyoty Solar Power s.d.)

A geração de energia nos painéis fotovoltaicos ocorre porque estes estão divididos em pequenas células fotovoltaicas, constituídas por materiais semicondutores que, devido à interação com a radiação eletromagnética emitida pelo sol, libertam eletrões. Os eletrões, ao se movimentarem através das células, geram energia (National Geographic s.d.).

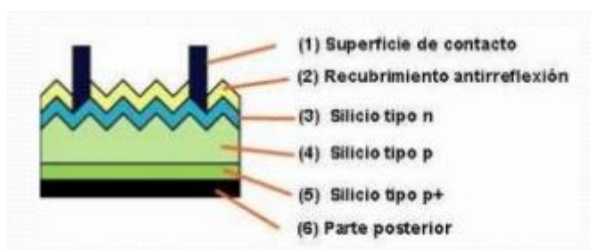


Figura 3-Constituição de uma célula fotovoltaica (Carrion 2011)

O grande interesse desta fonte de energia está relacionado com a sua abundância. A energia solar disponível é de tal forma abundante, que uma hora de radiação solar incidente na Terra, é suficiente para satisfazer as necessidades energéticas globais durante um ano (National Geographic s.d.).

Atualmente, não existem painéis solares instalados em ambiente marinho destinados à produção de energia para alimentar a rede elétrica.

No entanto, no Brasil, já foi instalada uma central de produção de energia solar flutuante, instalada num lago (lago artificial, devido à presença da Hidroelétrica de Balbina), no Amazonas. Trata-se de um projeto-piloto que, inicialmente deve gerar 1 MW de energia mas que tem previsto um incremento para 5 MW em 2017 (Paiva 2016).



Figura 4-Painéis solares na Hidroelétrica de Balbina (Paiva 2016)

O *Seacharger* é um projeto amador americano, que aproveita a energia solar num ambiente marítimo. Trata-se de um pequeno barco com um casco em GFRP (*Glass Fiber Reinforced Plastic*) em que o convés tradicional foi substituído por painéis solares. Estes painéis solares são utilizados para carregar uma bateria, que por sua vez fornece energia a todos os outros componentes, nomeadamente um motor elétrico que faz rodar uma hélice, um leme, um sistema de posicionamento global, assim como a toda a eletrónica associada ao controlo do sistema.

O primeiro objetivo desta equipa era fazer a viagem desde a Califórnia até ao Havai (cerca de 2400 milhas náuticas (ou 4445 km), mas devido ao enorme sucesso desta viagem (as reparações necessárias foram mínimas), deu-se início a uma nova etapa: uma viagem até à Nova Zelândia.



Figura 5-Lançamento do *Seacharger* na Califórnia (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013)

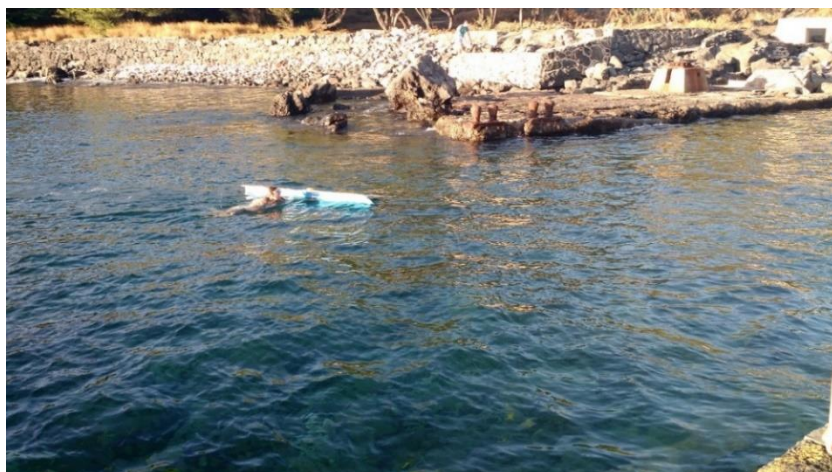


Figura 6-Chegada do *Seacharger* ao Havai, 41 dias depois (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013)

Trata-se de uma viagem de mais de 4600 milhas náuticas (8519 km) prevendo-se um tempo de viagem de cerca de 82 dias. Esta segunda etapa começou muito bem, com o barco a avançar a um bom ritmo mas condições atmosféricas adversas que não permitiram o seu avanço aliadas a uma falha no leme, conduziram ao fim deste ambicioso projeto, no passado dia 19 de Novembro de 2016 (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013).

No entanto, esta foi uma iniciativa muito positiva já que com um projeto amador (o barco foi construído como *hobby*) foi possível enfrentar as sempre difíceis condições num ambiente marítimo e percorrer aproximadamente 6500 milhas (mais de 10400 km) apenas com energia solar.

Na Tabela 2 é possível consultar as principais características técnicas do *Seacharger*.

Tabela 2-Especificações técnicas do *Seacharger* (McMilan, Arbuckle e Stowell 2013)

Características	Valor/Descrição
Comprimento	2,31 m
Largura	0,56 m
Peso	22,68 kg
Velocidade de cruzeiro	3 Nós (5,56 km/h)
Autonomia	Ilimitada com sol, 3 dias sem luz solar
Propulsão	Motor elétrico sem escovas com redução por corrente para acionamento da hélice
Painéis solares	2 Painéis flexíveis Renogy® de 100 W cada
Bateria	Bateria de LiFePo4, de 16V
Comunicações	<i>Modem</i> via satélite
Piloto automático	Baseado em <i>Arduino</i> (plataforma aberta de eletrónica)

2.1.2 Energia eólica

A energia eólica tem origem nas diferenças de pressão existentes na superfície terrestre devido à diferente incidência solar, que é maior nas zonas equatoriais do que nas zonas polares. Assim, pode-se dizer que a energia eólica tem origem na radiação solar (Castro 2005).

A energia eólica pode ser descrita como “a energia obtida pela ação do vento, ou seja, através da utilização da energia cinética gerada pelas correntes aéreas” (energias-renovaveis/energia-eolica/energiasalternativas.webnode s.d.).

Para que seja possível fornecer energia elétrica a partir desta fonte de energia, são necessários dispositivos capazes de fazer esta conversão de energia, dispositivos esses usualmente designados por aerogeradores.

Uma análise simplista e teórica deste processo pode fazer crer que toda a energia cinética contida no vento pode ser aproveitada, maximizando, portanto, a eficiência do aerogerador. No entanto, se tal ocorresse, a velocidade a jusante do rotor seria nula e, portanto, o vento estagnaria, o que provocaria a interrupção do escoamento do ar e, consequentemente, a interrupção da rotação do rotor (Rodrigues 2016).

Uma vez que se pretende extrair apenas a energia cinética contida no vento, este processo é acompanhado por uma diminuição gradual da velocidade do vento, devido à presença da turbina (Rodrigues 2016). Assim, verifica-se uma queda brusca de pressão após a passagem do ar pelo rotor, pressão essa que, a jusante do mesmo, vai aumentando até atingir a pressão atmosférica do local, verificando-se simultaneamente uma redução da velocidade do vento (prova que o aerogerador captou parte da energia cinética do vento) (Rodrigues 2016). Assim, é necessário determinar a fração de energia contida no vento que pode ser aproveitada. Em seguida é apresentado o processo de cálculo de acordo com (Rodrigues 2016).

Considerando V_∞ como sendo a velocidade do vento longe do rotor e a como o coeficiente de retardamento axial, a velocidade do vento na zona do rotor (V_D) é dada pela equação 1.

$$V_D = (1 - a) * V_\infty \quad (1)$$

Já a velocidade a jusante do rotor (V_e), de acordo com o princípio de conservação da massa e pela equação de Bernoulli é dada pela equação 2:

$$V_e = (1 - 2 * a) * V_\infty \quad (2)$$

De acordo com o princípio da conservação da quantidade de movimento (T),

$$T = \dot{m} * \Delta V = \dot{m} * (V_\infty - V_e) \quad (3)$$

Ao substituir a expressão do caudal mássico e a velocidade da esteira pelas condições de escoamento não-perturbado, obtemos a equação 4, onde ρ representa a massa volúmica do ar e A_R representa a área resistente do gerador (a sua área frontal).

$$T = 2 * \rho * A_R * a * (1 - a) * V_\infty^2 \quad (4)$$

Assim, para a potência, temos:

$$P = 2 * \rho * A_R * a * (1 - a) * V_\infty^2 * V_D = 2 * \rho * A_R * a * (1 - a)^2 * V_\infty^3 \quad (5)$$

Como foi possível constatar pela equação 5, não é possível converter em energia mecânica toda a energia cinética do vento. É usual designar-se à fração convertida coeficiente de potência, sendo o seu valor dado pela equação 6.

$$C_p = (\text{Potência Convertida}) / ((1/2) * \rho * V_{\infty}^3 * A_R) \quad (6)$$

Simplificando a equação 6, obtemos a equação 7.

$$C_p = 4 * a * (1 - a)^2 \quad (7)$$

Ao analisar a equação acima, Albert Betz (1885-1968) concluiu que o valor máximo que C_p pode tomar é 0.593, valor esse que ocorre para $a=1/3$. Este valor é também conhecido como coeficiente de Betz e nunca nenhum gerador ultrapassou este valor. Na Figura 7, podemos visualizar graficamente a determinação do valor máximo de C_p .

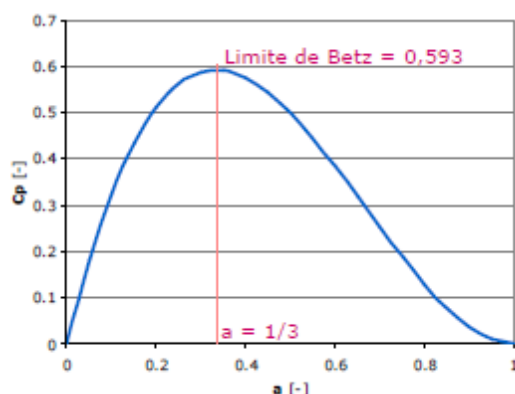


Figura 7-Coeficiente/Limite de Betz (Rodrigues 2016)

Nos dias de hoje, os aerogeradores apresentam coeficientes de potência na gama 0.4-0.5, o que corresponde a rendimentos entre 65% e 85% (Rodrigues 2016).

A teoria apresentada acima contém uma grande simplificação, pois considera a turbina como um disco estacionário. Ora, tal não se verifica pois é necessário que exista um binário para colocar o rotor em movimento (Rodrigues 2016). Surgiram então algumas teorias, tendo em conta a componente tangencial do vento após a passagem do rotor, sendo a teoria dos vórtices de *Glauert* a mais conhecida (ver Figura 8). Esta teoria conduz a um novo limite para C_p em função da velocidade específica da turbina (λ , TSR – *Turbine Speed Ratio*) (Rodrigues 2016). O valor de λ é dado pela equação 8.

$$\lambda = (\Omega * R) / V_{\infty} \quad (8)$$

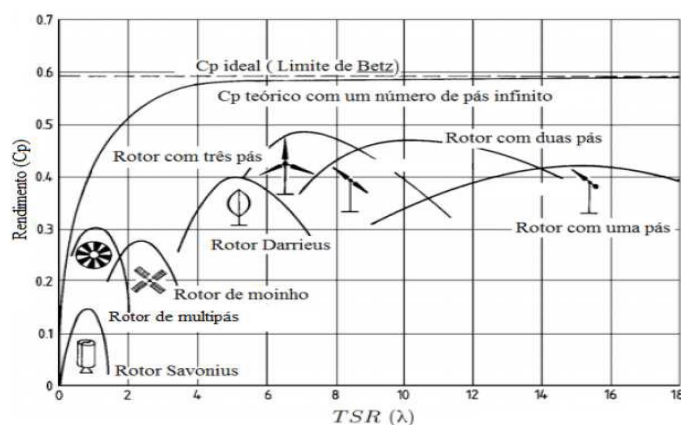


Figura 8-Teoria de *Glauert* (Rodrigues 2016)

Devido às limitações construtivas de um gerador elétrico, este não pode produzir uma potência superior à sua potência nominal durante um período de tempo excessivo. Assim, existe um limite máximo de velocidade do vento que provoca a rotação máxima admissível pelo gerador. Ora, como ao ar livre não é possível controlar a velocidade do vento, é necessário que existam mecanismos de controlo da velocidade de rotação do gerador.

Uma das formas de o fazer é recorrendo ao *pitch*. Este mecanismo altera o ângulo de ataque das pás, para limitar a velocidade de rotação das pás conforme seja necessário.

Para melhor se compreender a influência deste mecanismo, atente-se na Figura 9 que apresenta a curva de potência de um aerogerador com uma potência nominal de 2100 kW.

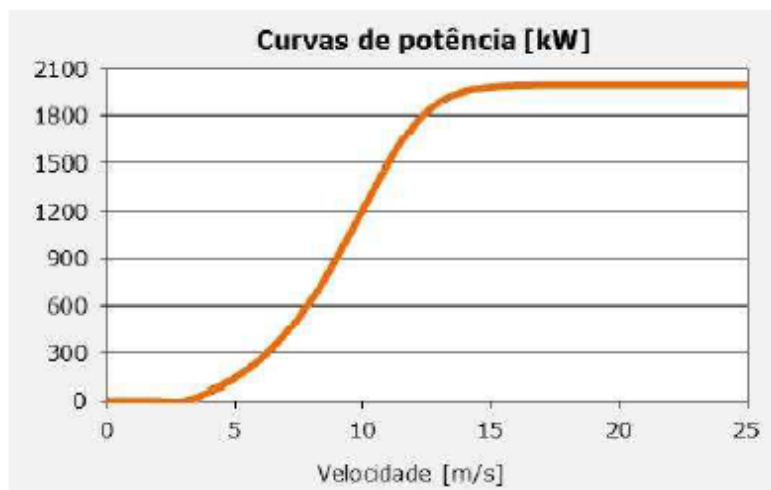


Figura 9-Curva de potência de um gerador eólico (Rodrigues 2016)

Ao analisar o gráfico, podemos destacar 3 grandes zonas:

- Potência gerada nula para velocidades de vento inferiores a aproximadamente 4m/s;
- Aumento aproximadamente linear da potência para velocidades de vento compreendidas entre cerca de 6m/s e 12m/s;
- Potência constante e igual à potência nominal do gerador para velocidades de vento acima dos 13m/s.

Nota: As zonas de transição entre as 3 situações descritas acima não foram incluídas em nenhuma das regiões, apesar de existirem.

Na primeira zona, a potência gerada é nula porque a velocidade do vento não é suficiente para superar a inércia do gerador. Com o aumento da intensidade do vento, as pás vão começar a rodar e, consequentemente, a produzir energia. Estamos, portanto, na segunda parte da curva, que se caracteriza por gerar uma quantidade de energia proporcional à velocidade do vento. No entanto, para velocidades acima dos 10m/s, começamo-nos a aproximar do limite máximo de potência e é a partir deste ponto que o *pitch* é ativado. Ao alterar o ângulo de ataque das pás, podemos diminuir a intensidade da força de sustentação nas pás. Como consequência disso, podemos diminuir/limitar a velocidade de rotação do gerador, salvaguardando a sua integridade. Para valores de velocidade do vento ainda mais extremos, as pás são colocadas numa posição em que o ângulo de ataque é nulo (ou aproximadamente) e o gerador é imobilizado recorrendo a um travão instalado no veio do rotor.

Este controlo da velocidade de rotação é extremamente importante porque se esse limite for ultrapassado (durante um período de tempo excessivo), o gerador pode, por exemplo, fundir por não ter capacidade de dissipar o calor gerado ou danificar os rolamentos e chumaceiras devido à fricção excessiva.

Os aerogeradores são essencialmente constituídos por 4 componentes: o rotor, as pás, a caixa de velocidades e o gerador (ver Figura 10).

O vento ao incidir nas pás do aerogerador faz com que este gire a uma determinada velocidade. Uma vez que a velocidade de rotação das pás é relativamente baixa, é necessário aumentar essa velocidade de rotação, sendo que tal é feito recorrendo a uma caixa de velocidades. Esta alta velocidade de rotação é a velocidade que permite o funcionamento de forma eficiente do gerador, que converte a energia deste movimento de rotação em energia elétrica (Portal Energia 2016).

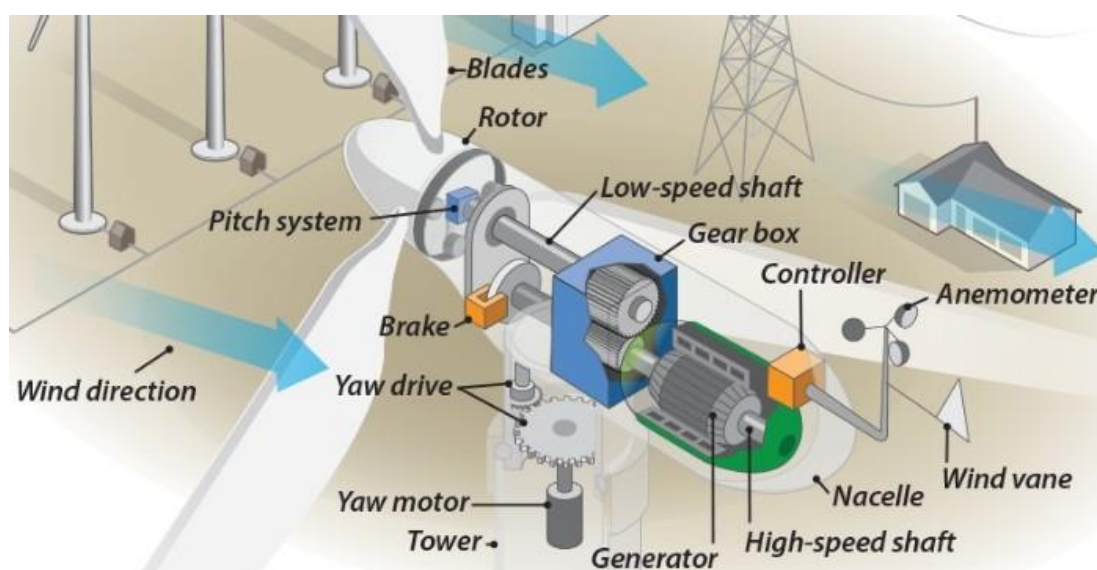


Figura 10-Principais constituintes de um aerogerador (Portal Energia 2016)

Ainda relativamente aos aerogeradores, é possível distinguir 2 grandes tipos de aerogeradores de acordo com a orientação do seu eixo de rotação: os de eixo vertical e os de eixo horizontal (como o que se apresenta na figura acima).

Os aerogeradores de eixo vertical são insensíveis à direção do vento (e, portanto, apresentam uma solução construtiva mais simples por não necessitarem de um mecanismo de orientação), apresentam uma manutenção mais simples (uma vez que todo o equipamento de conversão mecânica se encontra junto ao solo), mas necessitam de mecanismos auxiliares de arranque, devido ao perfil de velocidades do vento. Junto ao solo a velocidade do vento é bastante baixa e os esforços a que o veio de transmissão é sujeito são mais elevados devido à diferença de velocidades do vento junto ao solo e no topo (Castro 2005). Existem essencialmente 2 tipos de aerogeradores eólicos de eixo vertical (*Darrieus* e *Savonius*) embora apenas um tenha chegado a ser comercializada (*Darrieus*) (Castro 2005). Estes dois exemplos de aerogeradores de eixo vertical podem ser visualizados na Figura 11.

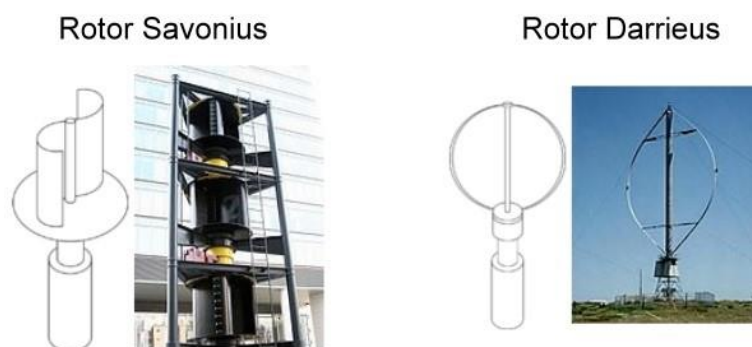


Figura 11-Exemplos de aerogeradores de eixo vertical (Portal Energia 2016)

Relativamente aos aerogeradores de eixo horizontal, o seu custo é mais elevado, não só devido ao custo associado à construção da torre, mas também devido aos custos relativos a uma manutenção mais complexa. No entanto, uma vez que o perfil de velocidades do vento apresenta uma maior intensidade e é mais uniforme à altura do rotor, a eficiência deste tipo de aerogeradores é maior, compensando o preço mais elevado associado à sua conceção.

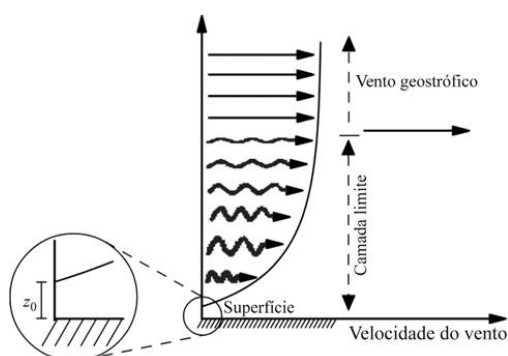


Figura 12-Perfil de velocidades do vento desde o solo até a altura do vento geostrófico (Martins, Guarnieiri e Pereira 2008)



Figura 13-Exemplos de aerogeradores de eixo horizontal (Portal Energia 2016)

De uma forma geral, o vento em alto mar apresenta uma intensidade superior, embora perca alguma energia devido à fricção com a superfície da água (é aliás esta interação que cria as ondas, como se verá na secção seguinte) e é muito mais uniforme do que em terra (AquaRET 2012). De realçar ainda que, de uma forma geral, a intensidade do vento, além de aumentar com a altitude, aumenta também com o incremento da distância à costa (AquaRET 2012).

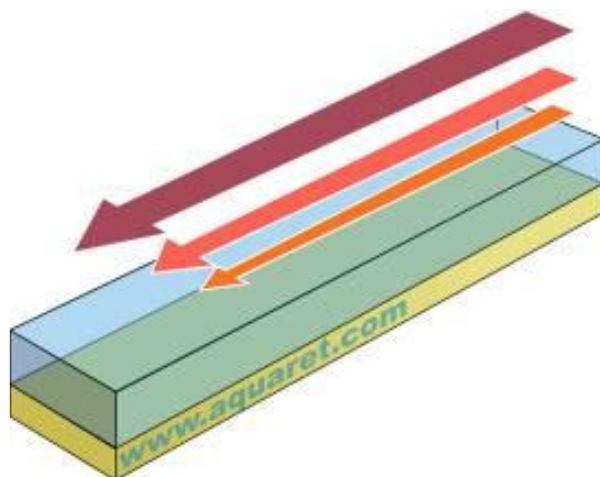


Figura 14-Variação da intensidade do vento com a altura e com a distância à costa (AquaRET 2012)

A energia eólica tem registado uma relevância cada vez maior nos últimos anos. Prova disso é a cada vez maior produção de energia através desta fonte de energia renovável. Na Tabela 3 é possível visualizar os 15 maiores produtores de energia mundiais, assim como a taxa de crescimento da capacidade energética instalada.

Tabela 3-Ranking mundial dos maiores produtores de energia (WWEA-World Wind Energy Association 2016)

Wind Energy Worldwide

Top 15 countries by total wind installations

Position 2015	Country/Region	Total capacity end 2015** [MW]	Added capacity 2015*** [MW]	Growth rate 2015 [%]	Total capacity end 2014 [MW]
1	China	148'000	32'970	29.0	114'763
2	United States	74'347	8'598	13.1	65'754
3	Germany	45'192	4'919	11.7	40'468
4	India *	24'759	2'294	10.2	22'465
5	Spain	22'987	0	0.0	22'987
6	United Kingdom	13'614	1'174	9.4	12'440
7	Canada	11'205	1'511	15.6	9'694
8	France	10'293	997	10.7	9'296
9	Italy	8'958	295	3.4	8'663
10	Brazil	8'715	2'754	46.2	5'962
11	Sweden	6'025	615	11.1	5'425
12	Poland	5'100	1'266	33.0	3'834
13	Portugal	5'079	126	2.5	4'953
14	Denmark	5'064	217	3.7	4'883
15	Turkey	4'718	955	25.4	3'763
	Rest of the World	40'800	5'000	14.0	35'799
	Total	434'856	63'690	17.2	371'374

* by november 2015

** Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.

*** Includes the net capacity added during the year 2015.

© WWEA - 2016

Analisando os resultados acima, verificamos que a China é destacadamente o maior produtor de energia eólica, seguido dos Estados Unidos da América. No entanto, constata-se uma grande produção dos países europeus pois dos 15 países em análise, 9 estão na Europa. Estes países produzem 122 219 MW de potência elétrica, correspondente a cerca de 28 % de toda a energia eólica produzida em todo o globo.

Analisando um pouco mais em detalhe a situação da energia eólica na Europa, consultando o relatório EWEA (*European Wind Energy Association*) relativo às estatísticas anuais de 2015 (Corbetta, Mbistrova e Ho 2016) desta fonte de energia, podemos tirar algumas conclusões importantes, nomeadamente:

- A energia eólica instalada em 2015 representou 44,2% de toda a capacidade energética instalada na Europa, pelo que foi a forma de energia com maior capacidade instalada nesse ano;
- Existe uma capacidade energética instalada de 142 GW (131 GW *onshore* e 11 GW *offshore*);
- A capacidade instalada de energia eólica, admitindo um ano de vento típico, é capaz de produzir 315 TWh de eletricidade, suficiente para suprir 11,4% das necessidades energéticas europeias;
- A energia eólica superou a energia hídrica enquanto fonte de energia, sendo agora a terceira maior na Europa;
- Só na Alemanha, foi instalada quase metade da capacidade energética relativa a 2015 (47%, o que representa 6013 MW).

Assim, verifica-se que a energia eólica é um setor que apresenta um crescimento acelerado, fruto do forte investimento que foi feito. De realçar ainda que Portugal é o 7º país com maior capacidade instalada, a par da Polónia e da Dinamarca, com 5,1 GW.

É também importante referir que a capacidade instalada *offshore* sofreu um grande incremento durante 2015. Tal é comprovado neste relatório da EWEA, mas também pelo relatório da mesma instituição, mas que incide com maior detalhe sobre a evolução da energia eólica *offshore* em 2015 (Ho, Mbistrova e Corbetta 2016).



Figura 15-London Array, o maior parque eólico *offshore* da Europa (Renewable Energy 2013)

Verificou-se que a capacidade instalada *offshore* mais do que duplicou relativamente a 2014, sendo agora de 11027 MW, correspondentes a 3230 turbinas instaladas e ligadas à rede. De realçar também que a potência média das turbinas, a profundidade dos parques eólicos e a distância à costa aumentaram, apesar de se ter registado uma ligeira redução da potência média dos parques eólicos (Ho, Mbistrova e Corbetta 2016).

Relativamente a Portugal, atualmente, não tem capacidade *offshore* instalada, devido à desativação do projeto *WindFloat*. Este projeto teve uma turbina eólica de 2 MW em funcionamento desde 2011 até julho de 2016, tendo-se obtido resultados muito promissores. Findo este período de 5 anos, todo o equipamento foi desmantelado para análise, tendo-se concluído que os componentes principais estavam em excelentes condições (a turbina foi transferida para um outro projeto e as fundações estavam em muito bom estado de conservação) (4COffshore 2016).



Figura 16-*WindFloat* Portugal (Baptista 2011)

2.1.3 Energia das ondas

As ondas analisadas nesta dissertação são ondas geradas pelo vento. Este tipo de ondas é gerado pela ação do vento, que por sua vez é provocado pela incidência de radiação solar. Assim, podemos afirmar que as ondas são consequência da incidência de energia solar na superfície da Terra (Sydow 2014) (Waters 2008). Como referido anteriormente, os ventos são gerados pela radiação solar que, ao incidir sobre a Terra, aquece o ar. Ora, como o ar quente apresenta uma densidade inferior ao ar mais frio (ar sujeito a uma menor intensidade solar), são geradas diferenças de pressão, que provocam o movimento do ar, sendo este movimento vulgarmente conhecido por vento (Sydow 2014).

As ondas são geradas pela interação do vento com a superfície da água. Devido aos efeitos de turbulência do vento, são criadas pequenas diferenças de pressão na superfície da água que, por sua vez, criam pequenas discontinuidades na sua superfície, visíveis sob a forma de pequenas ondas (Sydow 2014). O efeito de ressonância criado entre a pressão do vento e estas pequenas ondas, conjuntamente com as tensões de corte devido à maior velocidade do vento nas cristas das ondas do que nas cavas das mesmas, promove o aumento das ondas (Sydow 2014). A partir de determinada amplitude, as ondas podem continuar a aumentar de dimensão, mas são outros fatores que promovem o seu crescimento, nomeadamente a fricção criada pela interação entre o vento e a água e as diferenças de pressão entre a face da onda exposta ao vento (barlavento) e a face abrigada do mesmo (sotavento). O tamanho final das ondas é determinado por 3 fatores: a velocidade do vento, duração do vento e distância de água sobre a qual o vento faz sentir a sua influência, usualmente designado como *fetch* (Sydow 2014).

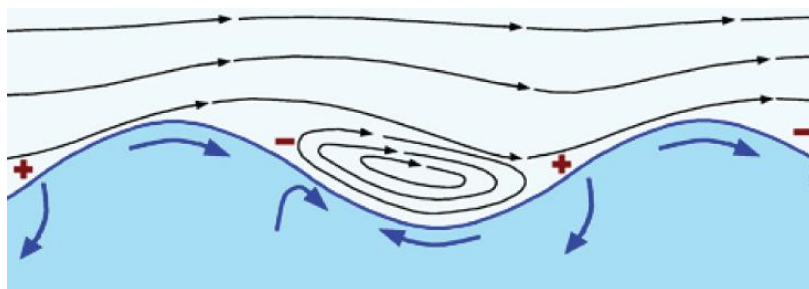


Figura 17-Efeito das diferenças de pressão na geração das ondas (Teixeira, et al. 2007)

Depois de as ondas serem geradas, estas propagam-se até águas pouco profundas. Uma vez chegadas a águas com profundidade reduzida, as ondas perdem velocidade, sofrem um aumento de amplitude e mudam a sua forma. Devido a estes efeitos, as ondas tornam-se instáveis e acabam por ser “destruídas” nas zonas de rebentação (Sydow 2014). A evolução das ondas com a profundidade pode ser observada na Figura 18.

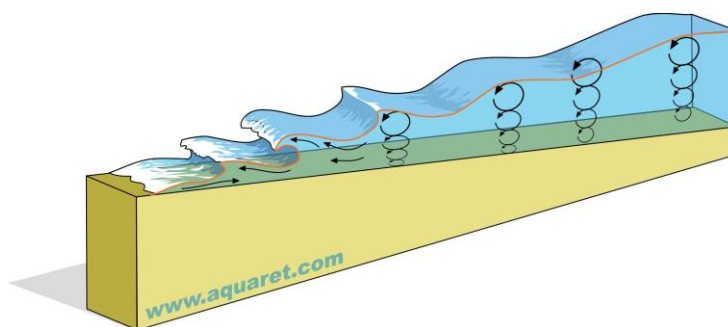


Figura 18-Evolução das ondas de acordo com a profundidade (Sydow 2014)

Um facto curioso relativamente às ondas é que, contrariamente ao que aparentam, quando se propagam em direção à costa só deslocam uma pequena quantidade de massa para transportar energia. Este efeito pode ser comprovado atirando um pau de madeira para o mar. Quando tal é feito, verifica-se que o pau se desloca muito lentamente com a passagem das ondas, o que prova que apenas uma pequena quantidade de massa de água é deslocada (Sydow 2014) (Waters 2008).

No entanto, as partículas de água apresentam movimentos circulares, no sentido de propagação das ondas na crista das ondas e no sentido contrário nas cavas das mesmas. Este movimento circular é afetado pela profundidade, de tal forma que para grandes profundidades este movimento é muito reduzido, enquanto para pequenas profundidades este movimento apresenta uma forma elipsoidal (a elipse é tanto mais acentuada quanto menor for a profundidade) (Sydow 2014). A profundidade afeta de forma exponencial este movimento circular, de tal forma que para uma profundidade correspondente a metade do comprimento de onda, este movimento é praticamente desprezável (Waters 2008) (Gomes 2003).

É este efeito de alteração do movimento das partículas de água que provoca as instabilidades que causam a rebentação das ondas (Teixeira, et al. 2007).

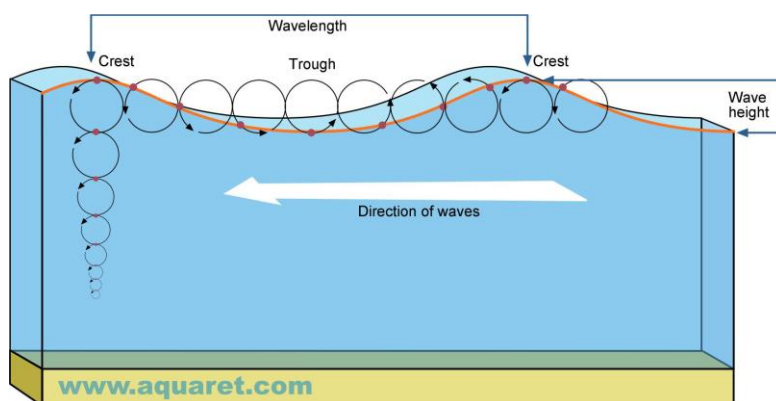


Figura 19-Movimento das partículas de água nas diferentes regiões de uma onda e variação da sua intensidade com a profundidade (Sydow 2014)

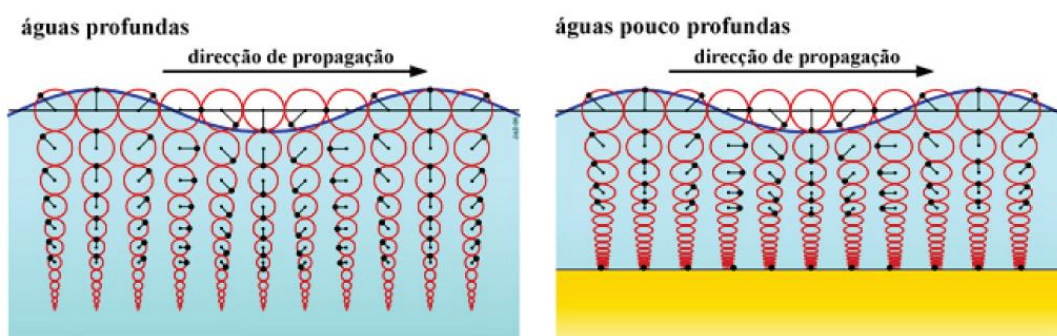


Figura 20-Efeito da profundidade no movimento orbital das partículas de água nas ondas (Teixeira, et al. 2007)

A velocidade de propagação das ondas é proporcional ao seu comprimento (Sydow 2014) e o seu valor é dado pela equação 9:

$$c = \frac{\lambda}{T_o} = \frac{g * T_o}{2 * \pi} \quad (9)$$

Onde

c é a velocidade da onda (m/s);
 λ é o comprimento de onda (m);
 T_o é o período da onda (s);
g a aceleração da gravidade (m/s²).

A geração de ondas é feita de forma aleatória. No entanto, como as ondas adquirem diferentes velocidades (devido aos diferentes comprimentos de onda), após uma distância suficientemente grande, estas estarão suficientemente separadas, de tal forma que na zona da rebentação é possível ver ondas quase perfeitas chegarem à costa (Waters 2008).

A energia total de uma onda em deslocação resulta da soma da sua componente potencial (a energia necessária para movimentar as partículas de água contra a gravidade entre as cavas e as cristas) com a componente cinética (que resulta da soma da energia que as partículas de água possuem quando se movimentam) (Sydow 2014).

De acordo com (Sydow 2014), o fluxo de energia das ondas é expresso como a potência média por cada metro de frente de onda (P) e as unidades deste parâmetro são o W/m (Watt por metro). Ainda segundo o mesmo autor, este parâmetro é dado pela equação 10.

$$P = \frac{\rho g^2}{64 * \pi} * T_E * H_{mo}^2 \quad (10)$$

Onde

ρ é a massa volúmica da água (Kg/m³);
 T_E representa o período de energia (s);
 H_{mo} é a amplitude da onda (m).

De realçar ainda que esta expressão é válida desde que a profundidade seja superior a metade do comprimento de onda.

Uma vez que a densidade da água é cerca de 850 vezes superior à do ar e, como a energia cinética é proporcional à massa, quando uma onda está em movimento está em jogo uma grande quantidade de energia. Assim, é possível afirmar que a densidade de energia das ondas é bastante elevada, o que torna este recurso bastante interessante (Waters 2008) (Sydow 2014).

Devido à sua origem, intrinsecamente intermitente, a previsão de ondas é algo difícil de prever (embora por vezes possa ser prevista a sua ocorrência com alguma antecedência). Por essa razão, existem zonas em que os fluxos de energia correspondentes ao potencial da energia das ondas são superiores ao de outras regiões do globo (Waters 2008) (Sydow 2014).

De acordo com a IEA (*International Energy Agency*), este recurso pode satisfazer cerca de 10% das necessidades energéticas globais e o seu fluxo total de energia é de 1-10 TW (Waters 2008) (Sydow 2014).

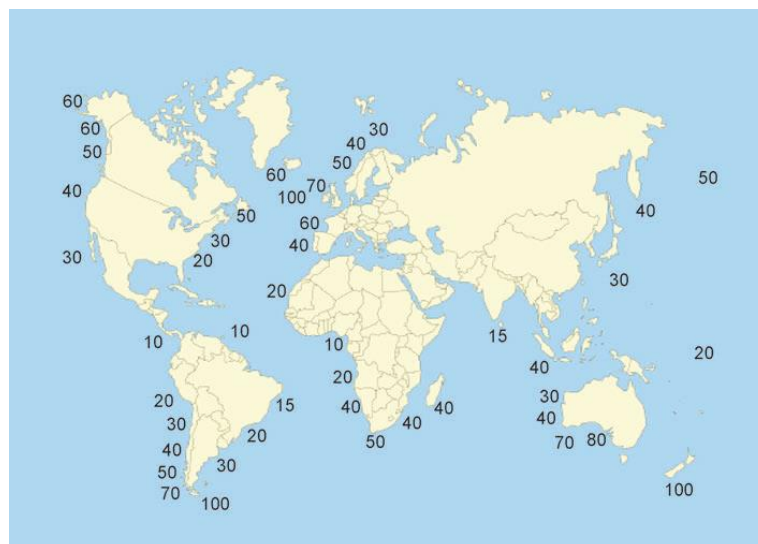


Figura 21-Distribuição global do recurso energético das ondas [kW/m] (Waters 2008)

Ao analisar a figura acima, podemos rapidamente concluir que países como a Grã-Bretanha, Irlanda, Noruega e Nova Zelândia apresentam um grande potencial de energia das ondas.

Relativamente a Portugal, num contexto Europeu, estamos perante um potencial médio. É, no entanto, importante realçar que durante os meses de verão (de junho a setembro, mas, particularmente entre julho e agosto), o recurso das ondas pode ser muito reduzido, o que não é desejável, já que se pretende que as ondas sejam o mais uniformes possível ao longo do ano (AquaRET 2012).

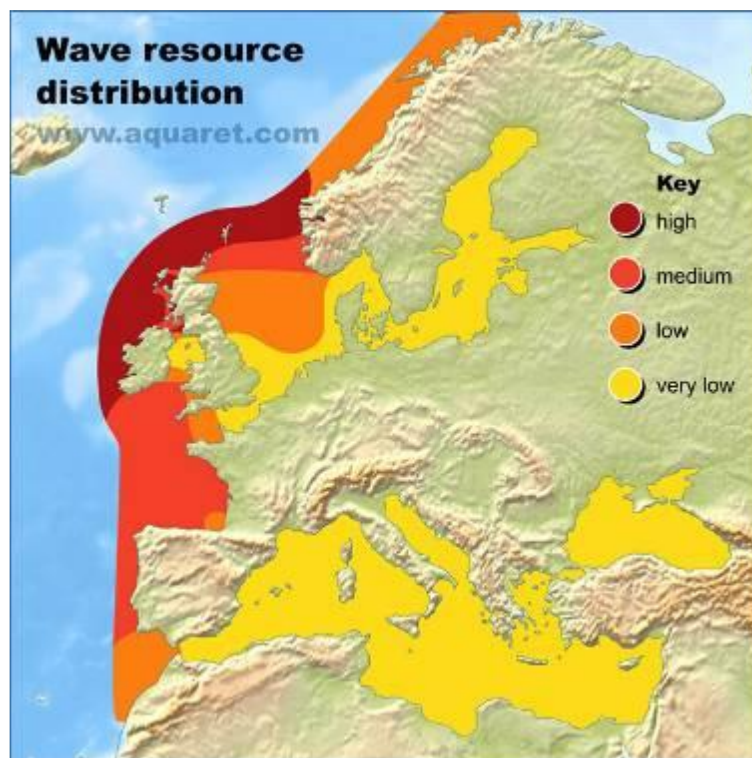


Figura 22-Distribuição do potencial energético na Europa (AquaRET 2012)

De acordo com o seu princípio de funcionamento, os dispositivos de captação da energia das ondas podem ser agrupados em 6 categorias distintas (AquaRET 2012). A reter:

- Atenuador;
- Absorção pontual;
- Oscilantes;
- Coluna de água oscilante;
- Galgamento do topo;
- Pressão diferencial submerso.

Os atenuadores são dispositivos compostos por diversas secções alinhadas segundo a direção das ondas. Este equipamento move-se de acordo com a passagem das ondas ao longo das suas secções e a energia é captada nas suas uniões. As uniões ao movimentarem-se, provocam o movimento de cilindros hidráulicos que por sua vez fazem movimentar motores hidráulicos, promovendo a rotação de 3 geradores elétricos (Reventós, et al. 2014).

Exemplos deste tipo de dispositivo são o *Pelamis* e o *McCabeWave Pump* (AquaRET 2012). De realçar ainda que o *Pelamis* esteve em funcionamento no Norte de Portugal, no parque de ondas da Aguçadoura (Reventós, et al. 2014). Este projeto teve um grande sucesso inicial, tendo sido inclusivamente o primeiro parque de ondas do mundo a estar ligado à rede elétrica (Reventós, et al. 2014).

No entanto, pouco tempo após ter entrado em funcionamento, problemas técnicos recorrentes (infiltrações nos tanques e fragilidade do sistema para resistir à ondulação do Oceano Atlântico nesta região de Portugal), puseram fim a este projeto (Silva, Barbosa e Paes 2009/2010).

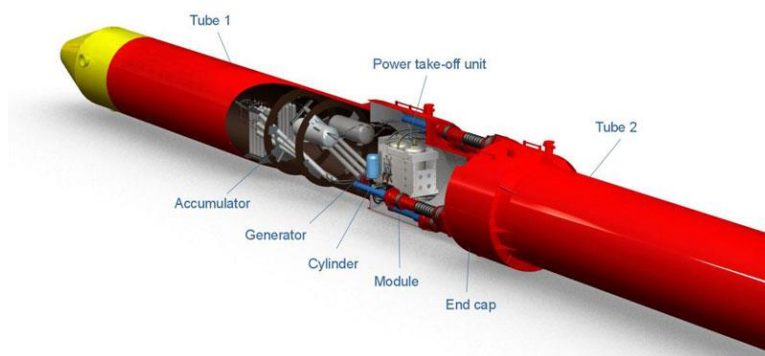


Figura 23-Constituintes do *Pelamis* (Leviton 2014)



Figura 24-*Pelamis* em funcionamento no parque de ondas da Aguçadoura (Silva, Barbosa e Paes 2009/2010)

Os absorsores pontuais são geralmente axisimétricos (para aproveitarem a energia das ondas, independentemente do sentido da sua propagação) e são estruturas flutuantes que oscilam verticalmente conforme a passagem das cristas e das cavas das ondas. A designação de absorsores pontuais advém do facto de absorverem energia de uma área de mar superior à do dispositivo. São dispositivos com dimensões inferiores aos valores de comprimento de onda típicos, pelo que o seu diâmetro é geralmente de alguns metros (AquaRET 2012).

Exemplos deste tipo de dispositivo são o *Wavebob* e o *SeaREV* (AquaRET 2012), sendo que este último tem a particularidade de não ser axisimétrico (ao contrário da maioria dos dispositivos deste tipo).

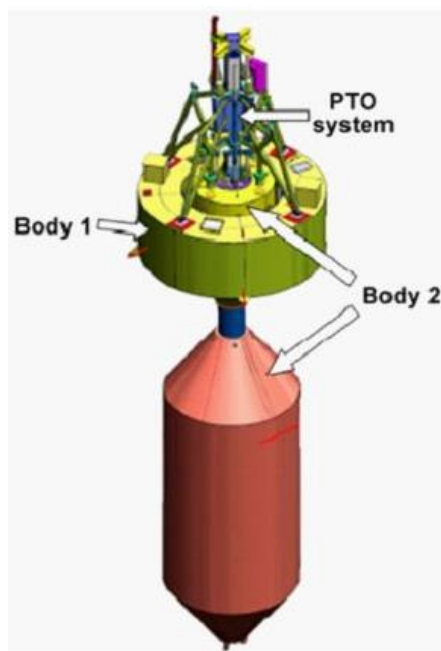


Figura 25-Principais componentes do *Wavebob* (Reventós, et al. 2014)

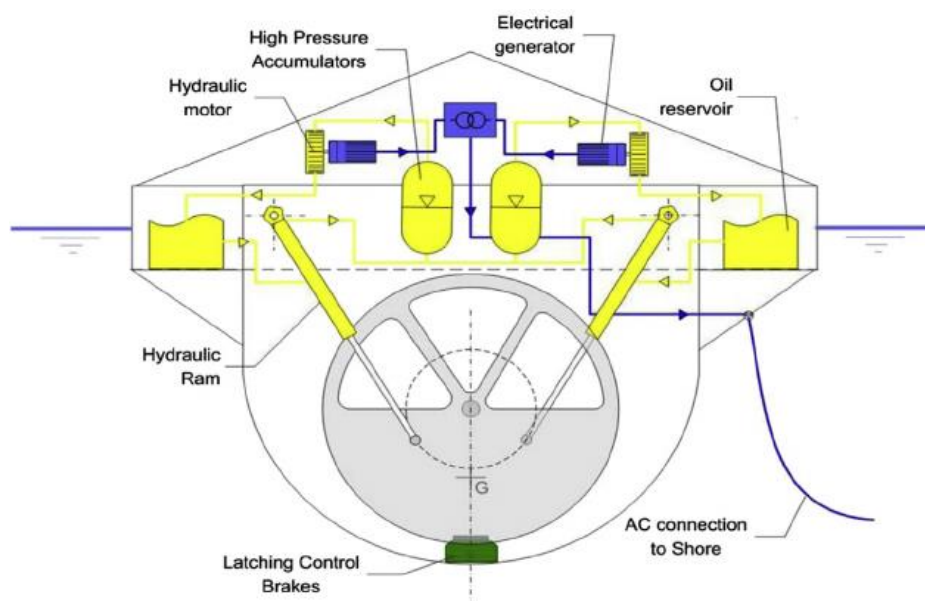


Figura 26-Principais componentes do *SeaREV* (J. Cordonnier, et al. 2015)

Dispositivos deste tipo foram também testados em Portugal, igualmente no parque de ondas da Aguçadoura. O dispositivo em questão foi o AWS (*Archimedes Waveswing Submerged*) MK I. Os testes ocorreram em 2004 e a empresa responsável pelo projeto (*AWS Ocean*) recolheu bastantes dados, extremamente importantes para os dispositivos atualmente em operação na Escócia (*AWS Ocean s.d.*).



Figura 27-AWS MK I em alto mar (AWS Ocean s.d.)

Os dispositivos oscilantes são dispositivos que aproveitam o movimento vaivém da água para produzir energia elétrica. Estes dispositivos são normalmente instalados em zonas próximas da costa (é próximo das zonas de rebentação que a água apresenta este tipo de movimento). Com o movimento da água, a face que não está fixa ao fundo do oceano move-se. Como esta face se encontra ligado a um (ou vários) cilindro hidráulico, o fluido hidráulico (água) aumenta a sua pressão dentro do circuito e faz mover um motor hidráulico que por sua vez está acoplado a um gerador. Um exemplo deste dispositivo é o *Oyster* (AquaRET 2012).

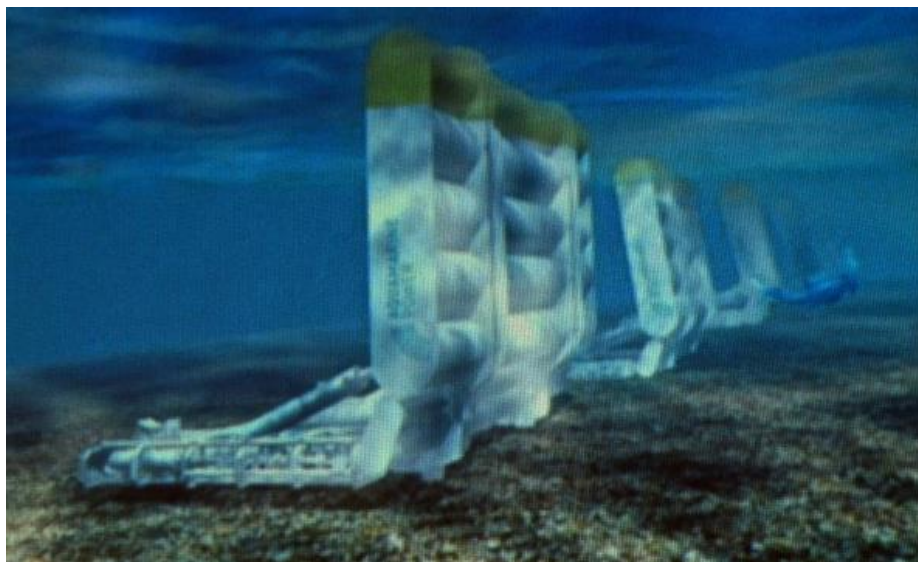


Figura 28-Oyster (Reventós, et al. 2014)

Em Portugal, este tipo de dispositivos foi testado ao largo da costa de Peniche entre 2012 e 2014. O equipamento utilizado foi o *Waveroller*, mas é muito semelhante ao dispositivo da figura acima. Foram instaladas 3 unidades, de 100 kW cada, tendo estado previsto para 2016 a instalação, no mesmo local, da nova geração deste equipamento, com uma potência de 350 kW (Kasanen 2015).



Figura 29-Instalação do Waveroller ao largo da costa de Peniche (TETHYS 2014)

Os dispositivos de coluna de água oscilante são estruturas ocas, parcialmente submersas com uma abertura para o mar. Assim, existe uma bolsa de ar acima da coluna de água que é comprimida aquando da chegada de uma crista ao dispositivo e descomprimida com a chegada de uma cava. Esta variação da pressão ativa uma turbina *Wells* (turbina que roda sempre no mesmo sentido, independentemente do sentido de circulação do ar), que está acoplado a um gerador (AquaRET 2012) (WavEC-Offshore renewables 2006).

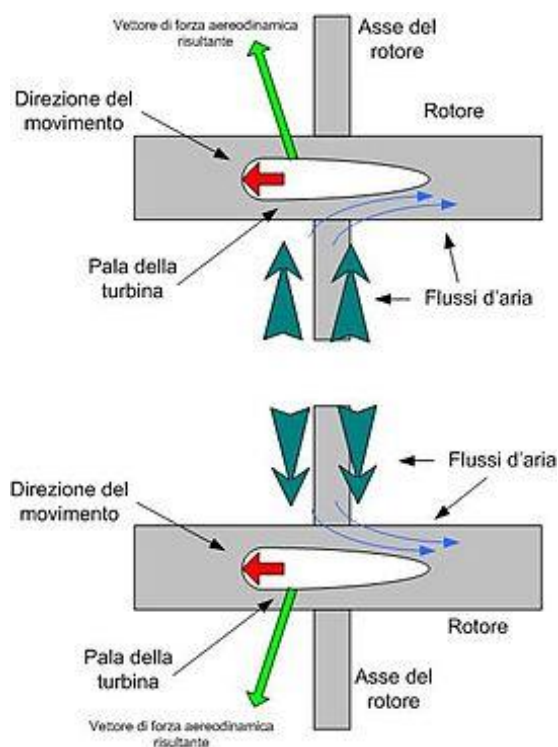


Figura 30-Princípio de funcionamento de uma turbina *Wells* (Wikipédia 2013)

Em Portugal, está instalado no Pico, Açores um dispositivo deste tipo. Trata-se de um equipamento que mostrou ter potencial para a produção de energia elétrica, mas problemas técnicos recorrentes (nomeadamente na estrutura do grupo turbina-gerador e dificuldades de financiamento) fazem com que o equipamento não funcione de forma contínua (WavEC-Offshore renewables 2006).

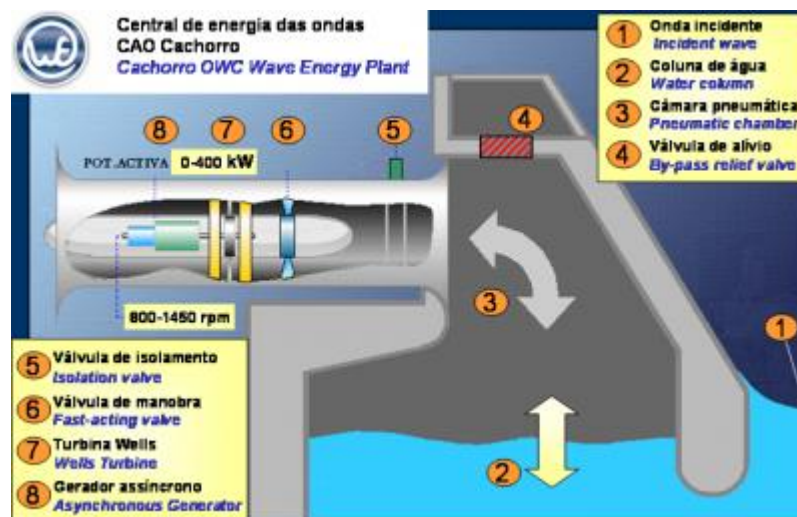


Figura 31-OWC Pico Power Plant (Reventós, et al. 2014)

Os dispositivos de galgamento são equipamentos que com a incidência das ondas, deixam a água entrar num reservatório. Com a entrada de água no sistema, é criado um movimento de água desde o reservatório até à base do equipamento, onde está colocada uma turbina para a geração de energia. Posteriormente, a água é devolvida ao oceano, através da base deste equipamento, que é aberta. A grande vantagem desta tecnologia é a forma como a energia é produzida, pois o processo é muito semelhante ao utilizado nas barragens hidroelétricas, processo esse já muito estudado (Sydow 2014) (Waters 2008). No entanto, tem como desvantagem a sua dimensão já que o reservatório é de grandes dimensões, o que pode limitar os locais onde pode ser aplicado (AquaRET 2012).

Um exemplo desta tecnologia é o *Wave Dragon*. Trata-se de um dispositivo cujo protótipo esteve em testes, na Dinamarca, durante 4 meses (Reventós, et al. 2014).

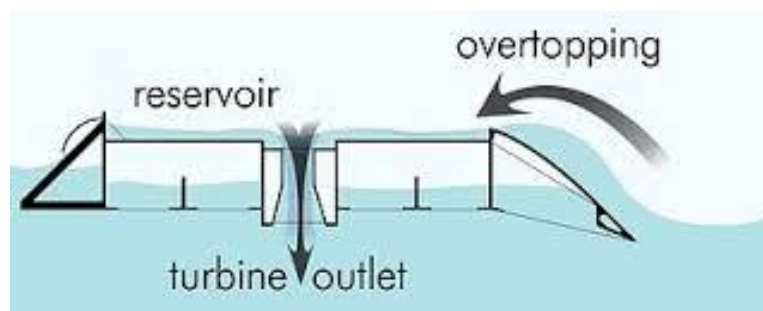


Figura 32-Princípio de funcionamento do Wave Dragon (Reventós, et al. 2014)



Figura 33-Protótipo do *Wave Dragon* em funcionamento (Reventós, et al. 2014)

Os dispositivos de pressão diferencial submersos são muito semelhantes aos absorvedores pontuais, mas diferenciam-se por estar submersos. Com a passagem das ondas sobre o equipamento, são criadas pressões diferenciais que provocam um movimento alternadamente ascendente e descendente do mesmo (AquaRET 2012).

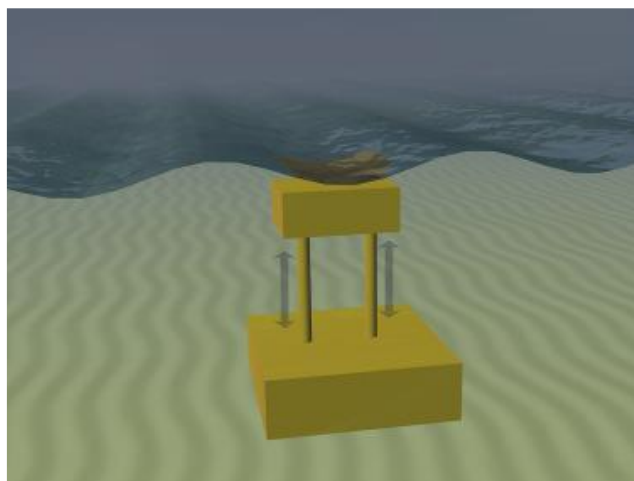


Figura 34-Funcionamento esquemático de um dispositivo baseado no fenómeno da pressão diferencial (AquaRET 2012)

Um exemplo de equipamento que opera com este princípio de funcionamento é o AWS (*Archimedes Wave Swing*) (AquaRET 2012).



Figura 35-*Archimedes Wave Swing* (Fadaeenejad, et al. 2013)

2.1.4 Energia das correntes marítimas

As correntes oceânicas estão em constante movimento e seguem padrões específicos e complexos que dependem, entre outros, do vento e da incidência solar. O interesse no aproveitamento desta forma de energia é provocado não só pela grande densidade energética que as correntes possuem, mas também pelo facto de as correntes apresentarem uma intensidade e um movimento relativamente constante (Bureau of Ocean Energy Management s.d.).

Os principais fatores que influenciam as correntes oceânicas, de acordo com (Bureau of Ocean Energy Management s.d.) são:

- Vento;
- Incidência solar;
- Salinidade da água;
- Temperatura;
- Topografia do fundo oceânico;
- Rotação da Terra (efeito de Coriolis).

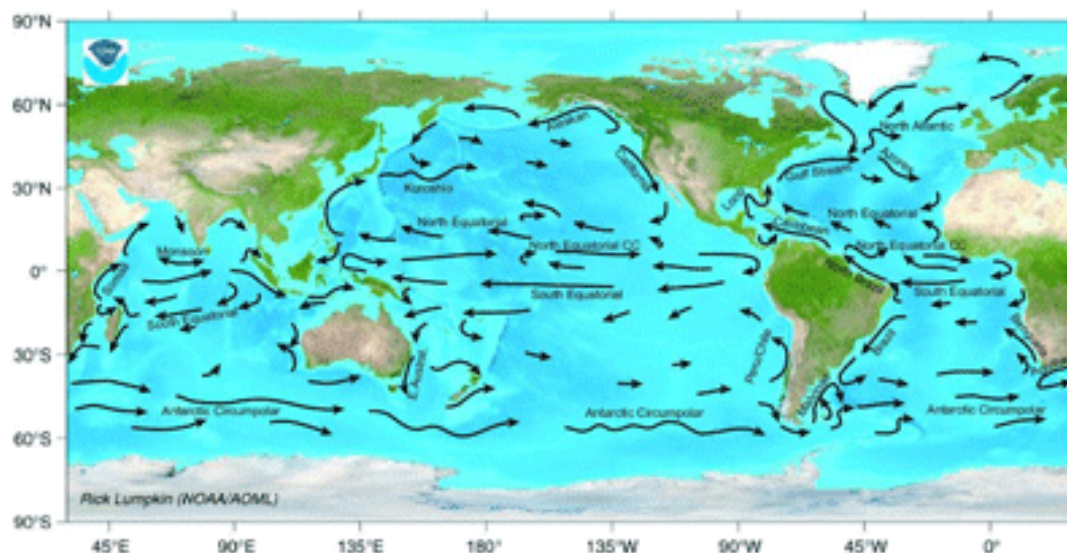


Figura 36-Principais correntes oceânicas (Bureau of Ocean Energy Management s.d.)

Esta forma de energia encontra-se, ainda, num estágio inicial de desenvolvimento, não só por ser um recurso que ainda não é bem compreendido, mas também devido às limitações tecnológicas do equipamento para resistir ao ambiente marinho (Bureau of Ocean Energy Management s.d.).

Apesar desta tecnologia se encontrar num estágio inicial de desenvolvimento (Bureau of Ocean Energy Management s.d.), existe uma outra tecnologia que pode facilitar e acelerar o seu desenvolvimento, a energia das marés. Esta forma de energia aproveita o grande movimento de água aquando das marés para acionar uma turbina para gerar eletricidade. Devido às condições de operação do equipamento, os dispositivos em estudo para a produção de eletricidade a partir das correntes marítimas podem adaptar esta tecnologia. Na Figura 37, podemos visualizar uma turbina de 1.2 MW para aproveitamento de energia das marés instalada em *Strangford Narrows*, no Reino Unido.



Figura 37-Turbina para aproveitamento da energia das marés em *Strangford Narrows* (Reventós, et al. 2014)

Não existem turbinas a produzir comercialmente energia para a rede elétrica a partir das correntes marítimas (exceto as que aproveitam a energia das marés) mas existem alguns protótipos em estudo (Bureau of Ocean Energy Management s.d.), como o que se apresenta na Figura 38.



Figura 38-Exemplo de protótipo para aproveitamento da energia das correntes (Danko 2014)

De realçar, ainda, que apesar de este protótipo ser testado à superfície, para evitar prejudicar o tráfego marítimo, os investigadores pretendem desenvolver dispositivos que operam no fundo do oceano (Danko 2014).

2.2 Patentes

Uma patente pode ser definida como “um contrato entre o Estado e o requerente através do qual este obtém um direito exclusivo de produzir e comercializar uma invenção, tendo como contrapartida a sua divulgação pública” (instituto nacional de propriedade industrial s.d.).

No contexto desta dissertação, foi necessário realizar uma pesquisa relativamente às patentes existentes, uma vez que se pretende patentear o sistema idealizado.

A pesquisa recorreu ao *site* do *European Patent Office* (EPO), *Espacenet*, e foi realizada numa primeira fase procurando determinar o tipo de sistema em que o sistema idealizado se enquadra. O sistema de classificação adotado pelo EPO, assim como as diferentes categorias em que o sistema se poderá enquadrar é apresentado em seguida.

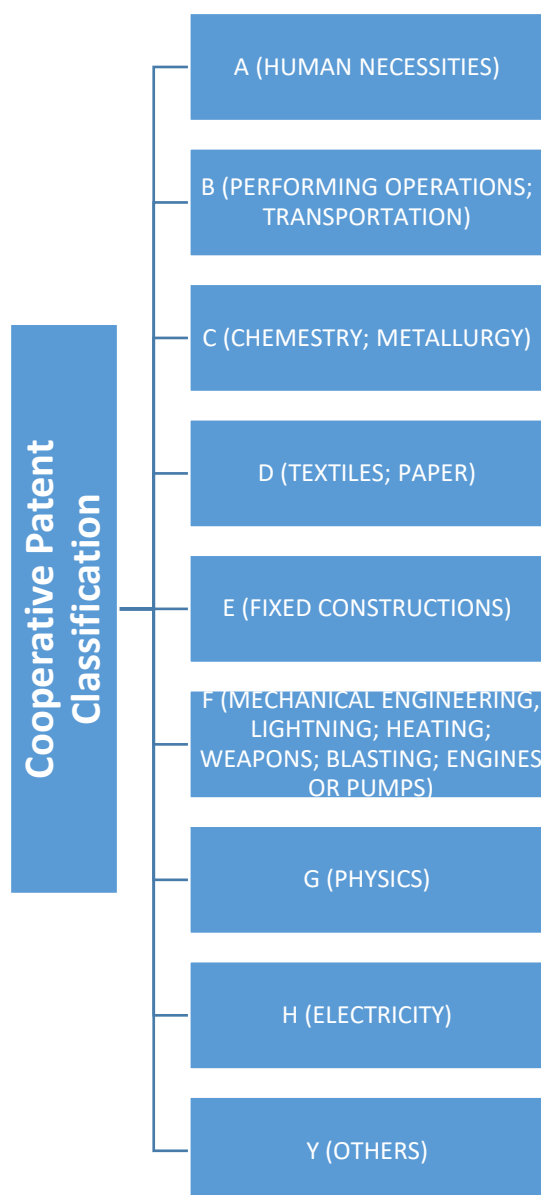


Figura 39-Index da classificação de patentes e breve descrição do seu conteúdo (European Patent Office 2016)

Depois desta primeira análise, verificou-se que devemos analisar com maior detalhe a secção F, pois é nesta categoria que o sistema se irá enquadrar. Dentro desta categoria existem algumas secções que serão analisadas mais tarde, quando o sistema for definido. Como veremos mais à frente no capítulo 4.4 enquadra-se nas categorias F03B e F03D.

3 Objetivos e Requisitos do Sistema

Neste capítulo são apresentados os principais objetivos deste trabalho, mas também definidas as características gerais do sistema.

3.1 Objetivos

Com esta dissertação, pretende-se a conceção de um sistema de aproveitamento da energia do mar de 3 formas distintas, passível de ser patenteado. É também objetivo deste trabalho que, no futuro, este sistema possa vir a ser uma solução alternativa de geração de energia elétrica.

3.2 Requisitos

Para realizar este projeto, foi necessário impor algumas condições para que o dispositivo fosse viável. Foi então decidido que deveria apresentar as seguintes características:

- Os materiais devem apresentar uma boa rigidez e resistência específicas para que o sistema possa ser o mais leve possível. Assim, a flutuação e a necessária resistência do sistema são conseguidas mais facilmente e com dimensões mais reduzidas;
- Os materiais devem apresentar boa resistência à corrosão, devido ao funcionamento do sistema em um ambiente marítimo;
- O sistema deve ser modular, para que possa ter diferentes configurações;
- Energeticamente falando, o sistema deve ser autossuficiente;
- O sistema deve ser rebocável para que possa ser trazido rapidamente para a costa, aquando do surgimento de condições ambientais agrestes;
- O sistema deve ser flutuante para que o seu funcionamento seja independente da variação da profundidade ao longo do dia devido às marés;
- Quando em funcionamento, a ancoragem deve ser feita recorrendo a apenas uma âncora, para que o dispositivo tenha a tendência natural para se orientar na mesma direção do movimento das ondas e das correntes marítimas.

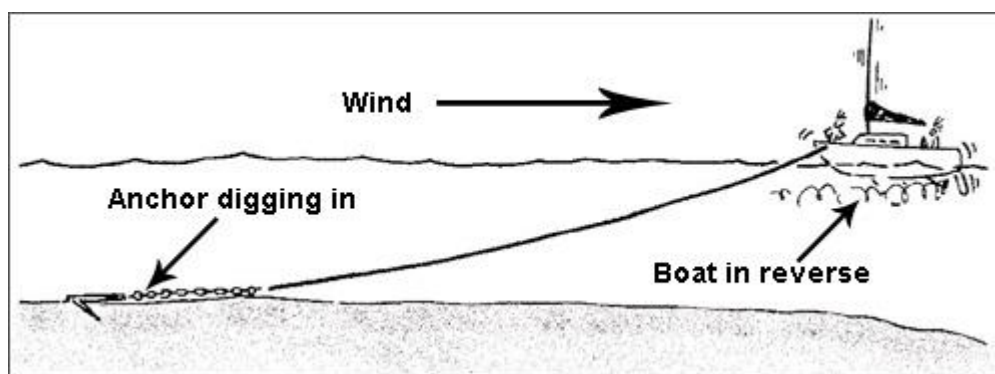


Figura 40-Processo de ancoragem de um barco (Burden s.d.)

4 Solução Proposta

4.1 Criação do conceito *TRI POWER UP*

Ao analisarmos as diferentes fontes de energia disponíveis, verificou-se que a energia associada aos oceanos é pouco explorada, apesar de os oceanos representarem uma vastíssima área da superfície terrestre. Este facto verifica-se inclusivamente para a forma mais expressiva e visível da energia dos oceanos: as ondas. Outro facto associado a esta fonte de energia é o seu carácter intermitente, já que as ondas apresentam amplitudes e frequências variáveis ao longo do tempo (embora possam ser identificados padrões ao longo do dia e das estações). Naturalmente, esta forma como a geração de energia ocorre não é desejada.

Assim sendo, surgiu a ideia de associar outras fontes de energia ao mesmo equipamento, tendo como objetivo uniformizar e potenciar a geração de energia. Foi assim criado o conceito *TRI POWER UP*, que procura gerar energia a partir de 3 fontes distintas: ondas, vento e correntes.

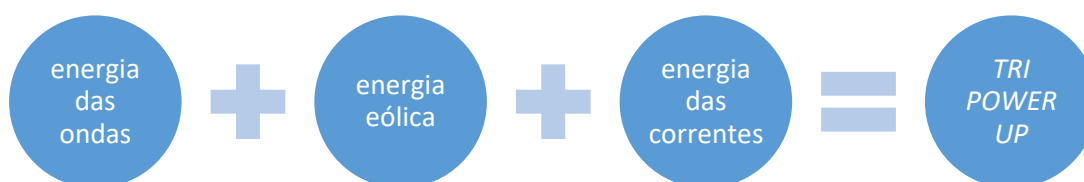


Figura 41-Componentes do conceito *TRI POWER UP*

Para dar resposta à proposta de autossuficiência do sistema, a incorporação de painéis solares é uma boa opção, já que facilmente pode gerar (e armazenar) energia para o seu sistema de controlo.

Uma vez definido o conceito base do sistema, é necessário definir a forma como o acoplamento dos sistemas é feito. Tal pode ser feito de duas formas distintas:

- Acoplamento energético;
- Acoplamento mecânico.

Na primeira opção, os sistemas de geração de energia estariam cada um ligado a um gerador e, portanto, a energia gerada pelo sistema resultaria da soma de cada um dos geradores (daí o nome de acoplamento energético).

Por outro lado, na opção de acoplamento mecânico, os diferentes sistemas de geração de energia estão ligados através de elementos mecânicos (um veio comum a todos os sistemas, por exemplo).

Analisando as duas opções apresentadas acima, verificamos que ambas apresentam vantagens e desvantagens. Se por um lado, o acoplamento energético obriga a que o sistema tenha maiores dimensões porque contém vários geradores, por outro lado, o acoplamento mecânico é mais compacto pois necessita apenas de um.

Ponderando estas duas hipóteses, optou-se por fazer o acoplamento mecânico porque este sistema tem uma constituição mais simples e compacta.

4.2 Desenho do sistema

Definido o conceito *TRI POWER UP*, o passo seguinte foi o desenho do sistema. O desenho do dispositivo foi feito recorrendo ao *software SolidWorks®* e dividido em diferentes subsistemas para não só ser mais fácil a sua construção, mas também para permitir explorar diferentes soluções, soluções essas que foram surgindo ao longo da sua criação (e que serão explicadas posteriormente).

Os subsistemas criados foram os seguintes:

- Turbina eólica;
- Turbina de correntes;
- Sistema de aproveitamento da energia das ondas;
- Sistema anti-retorno;
- Barçaça.

O sistema *TRI POWER UP* foi assim dividido por esta ser a divisão mais lógica. Dentro de cada um destes subsistemas, alguns como a barçaça, devido à sua complexidade, foram ainda divididos em outros subsistemas (flutuadores, mecanismo de âncora, etc.).

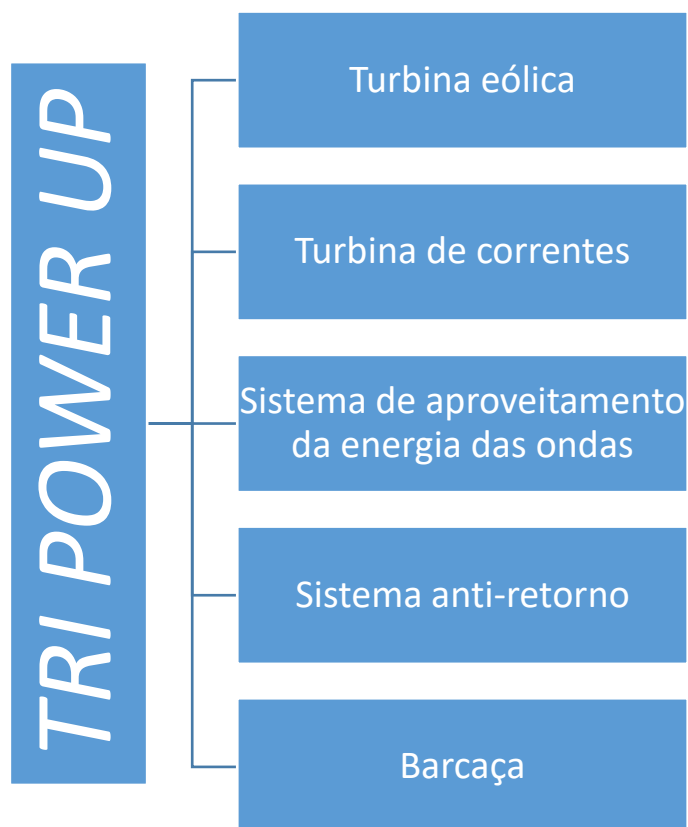


Figura 42-Subsistemas que constituem o sistema *TRI POWER UP*

4.2.1 Turbina eólica

Atendendo à necessidade de se pretender um sistema modular, foram analisadas 2 soluções para a turbina eólica:

- Turbina eólica de eixo horizontal;
- Turbina eólica de eixo vertical.

Para a turbina eólica de eixo horizontal, foi necessário criar previamente duas peças:

- Pás;
- Rotor.

Para a solução da turbina eólica com eixo horizontal, as pás foram criadas à semelhança das pás encontradas atualmente em turbinas eólicas (embora com um perfil mais simples): com um perfil alar e com secção variável. Esta peça apresenta assim um perfil alar, similar ao encontrado também nas asas de um avião para melhor se deslocar pelo ar, e uma secção tanto menor, quanto mais esta se afasta do rotor, por forma a tornar a pá mais leve.

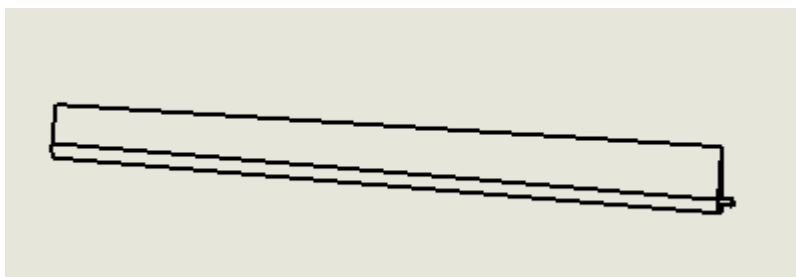


Figura 43-Perfil das pás da turbina de eixo horizontal

O rotor foi criado para que seja possível uma ligação robusta às pás. Para potenciar o aproveitamento energético da turbina, o rotor apresenta uma forma aerodinâmica favorável. Com a forma de cone na extremidade, o ar ao passar pelo rotor é pouco perturbado e, portanto, permite mais facilmente a rotação das pás.

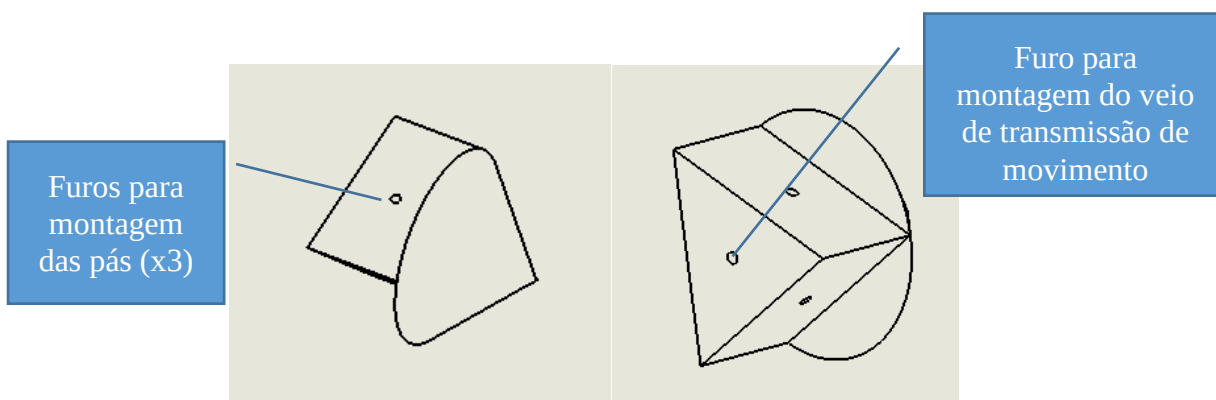


Figura 44-Rotor da turbina eólica

Analisando as imagens anteriores, rapidamente podemos compreender como é feita a montagem das pás no rotor: o pequeno apêndice presente no topo maior da pá encaixa no furo visível na figura acima do rotor.

A escolha do número de pás foi feita de acordo com a teoria de *Glauert*, a qual nos indica que uma turbina de eixo horizontal de 3 pás apresenta o melhor rendimento (ver novamente a Figura 8).

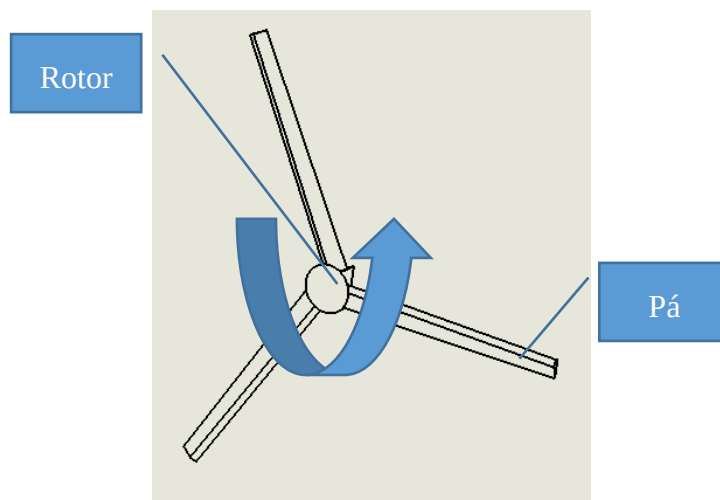


Figura 45-Turbina eólica e seus constituintes, com indicação do sentido de rotação

Aos componentes apresentados acima, foram ainda acrescentados, o veio de transmissão de movimento, as rodas dentadas que fazem a multiplicação da velocidade de rotação e a ligação ao veio comum, o leme para que a turbina possa estar sempre orientada na direção que maximiza o aproveitamento da energia cinética do vento e uma cobertura que proteja os elementos mecânicos do ambiente marítimo mas, ao mesmo tempo, que induza a menor turbulência possível no escoamento do ar, tal como se pode ver na Figura 46 e na Figura 47.

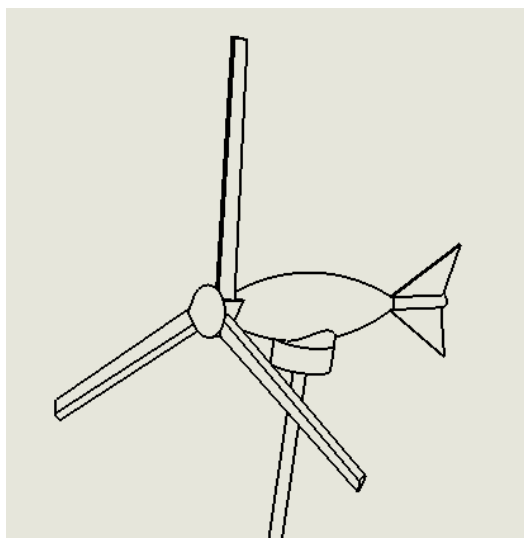


Figura 46-Turbina eólica de eixo horizontal acoplada ao veio comum do sistema *TRI POWER UP*

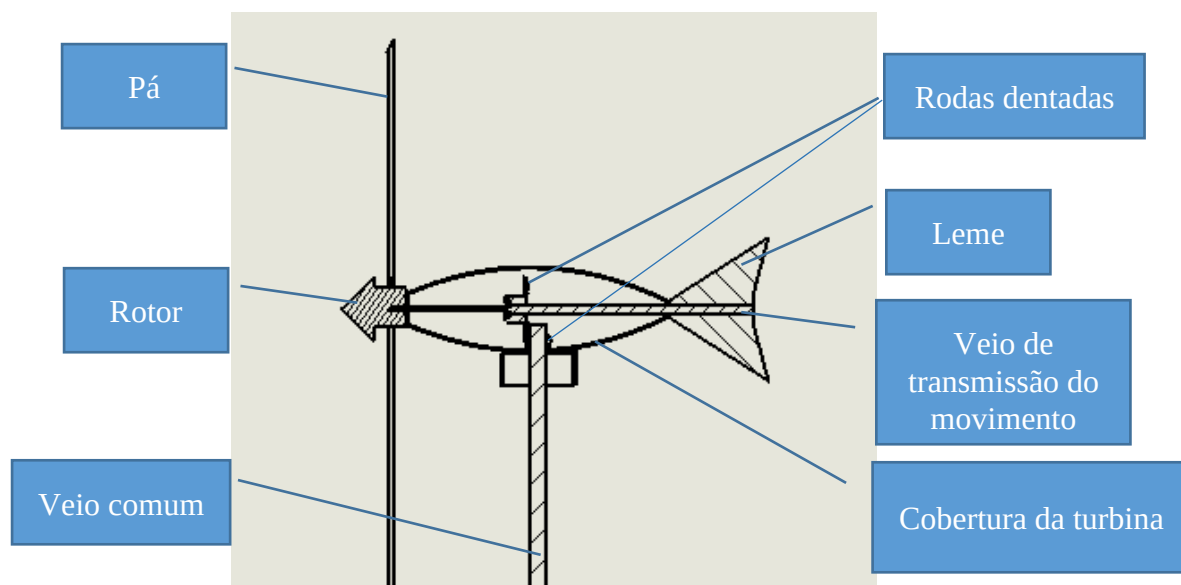


Figura 47-Vista em corte da turbina eólica de eixo horizontal e seus constituintes

Por outro lado, numa turbina eólica de eixo vertical, existem 2 componentes fundamentais:

- Pás;
- Pratos.

Neste tipo de turbina, as pás apresentam uma secção com uma forma semelhante às pás do outro tipo de turbina em análise enquanto os pratos, servem de suporte às pás e fazem a ligação ao eixo de rotação (os pratos têm a mesma função do rotor, mas, devido à orientação do eixo de rotação apresentam uma forma distinta).

A opção por pás com secção semelhante às da turbina de eixo horizontal foi feita com base na teoria de *Glauert*, teoria essa que nos indica que uma turbina eólica de eixo vertical do tipo *Darrieus* apresenta uma melhor eficiência do que as turbinas do tipo *Savonius* (ver novamente a Figura 8).

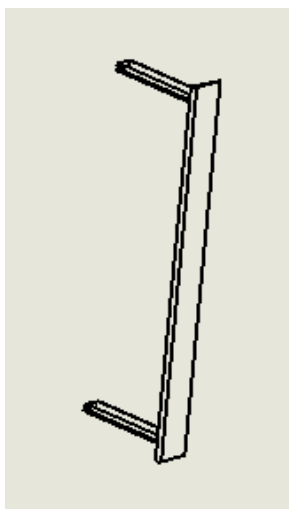


Figura 48-Pá da turbina eólica de eixo vertical

Na Figura 49, é possível verificar como o perfil alar da pá é muito semelhante ao da pá da turbina eólica de eixo horizontal.

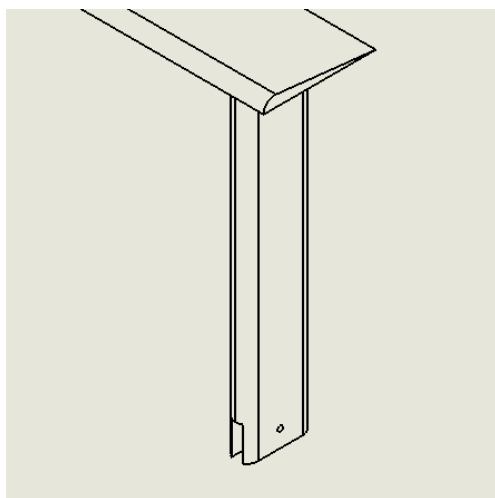


Figura 49-Pormenor do perfil e do braço da turbina eólica de eixo vertical

Relativamente aos pratos, eles são ligados às pás através de furos presentes nas extremidades dos seus braços. No caso do prato superior, o furo central deste possui um diâmetro suficiente para ser montado o sistema anti-retorno (sistema explicado com mais detalhe mais adiante). Por outro lado, o furo central do prato inferior é o suficiente para poder ser montado na torre de suporte. Na Figura 50 é possível visualizar a forma do prato superior, assim como a função dos seus furos.

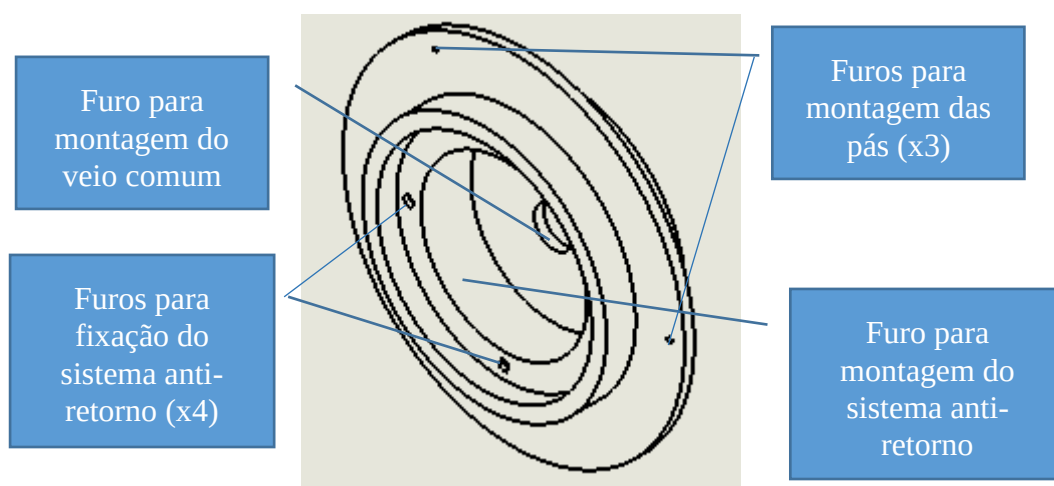


Figura 50-Prato superior da turbina eólica de eixo vertical

O prato inferior apresenta uma geometria mais simples pois tem apenas a função de suportar a pá e rodar livremente em torno da torre de suporte, tal como pode ser comprovado na Figura 51.

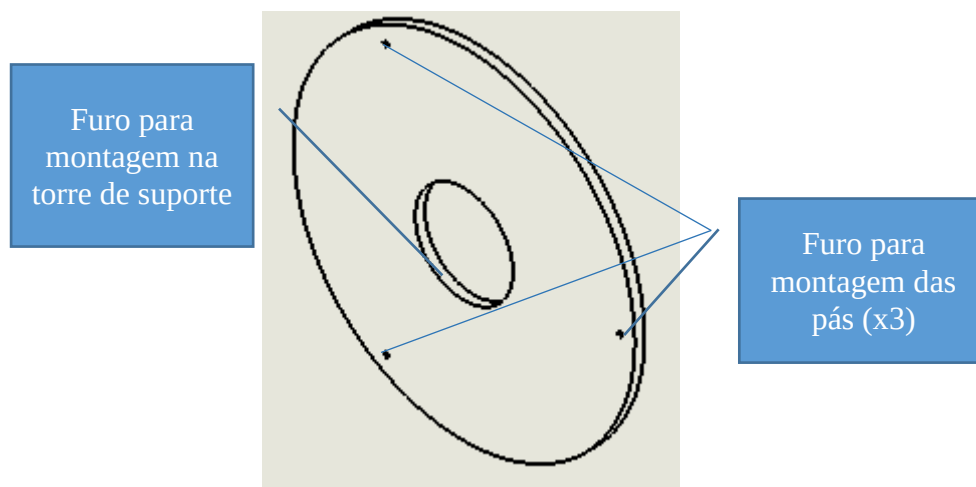


Figura 51-Prato inferior da turbina eólica de eixo vertical

Montando as pás nos pratos, recorrendo aos respetivos furos, a turbina eólica tem a forma e geometria que pode ser vista na Figura 52.

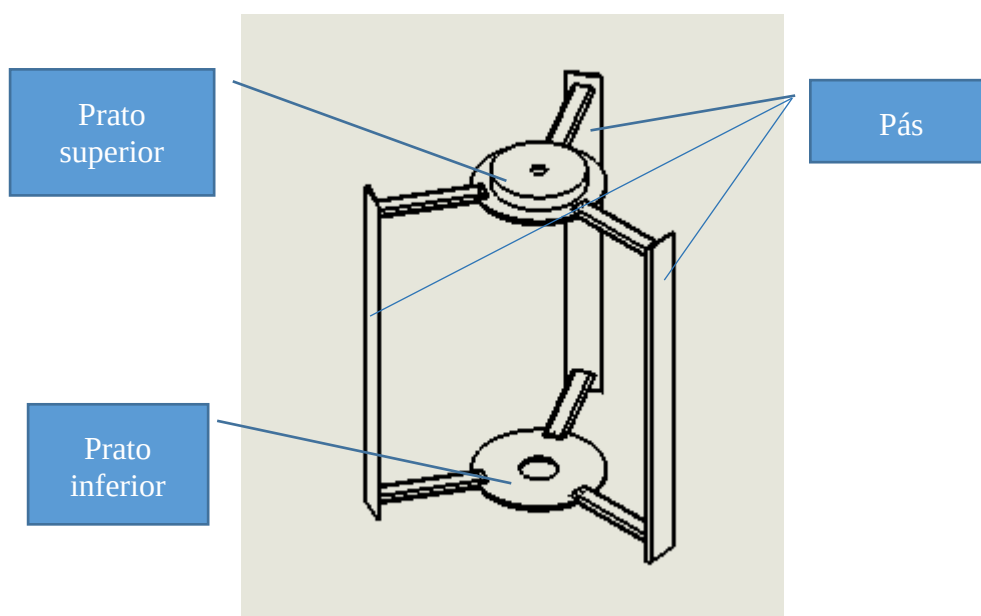


Figura 52-Turbina eólica de eixo vertical e seus constituintes

4.2.2 Turbina de correntes

O desenho da turbina de correntes seguiu um procedimento muito semelhante ao da turbina eólica, pois o princípio por trás do funcionamento destas turbinas é semelhante (através da força de sustentação). No entanto, é importante referir que as dimensões destas turbinas são inferiores às dimensões das turbinas eólicas porque a densidade energética da água é muito superior à do ar (a densidade da água é cerca de 850 vezes superior à do ar).

Relativamente às turbinas de correntes de eixo horizontal, além das diferenças dimensionais, é necessário que exista ainda mais uma diferença relativamente à turbina eólica deste mesmo tipo. Devido às imposições inerentes à transmissão de movimento por engrenagens, o sentido de rotação desta turbina é o oposto daquele em que roda a turbina eólica. Só assim, é possível que a incidência de vento e de correntes marítimas com a mesma direção e sentido provoquem a rotação do veio de transmissão de movimento (veio comum, que liga todos os geradores) no mesmo sentido.

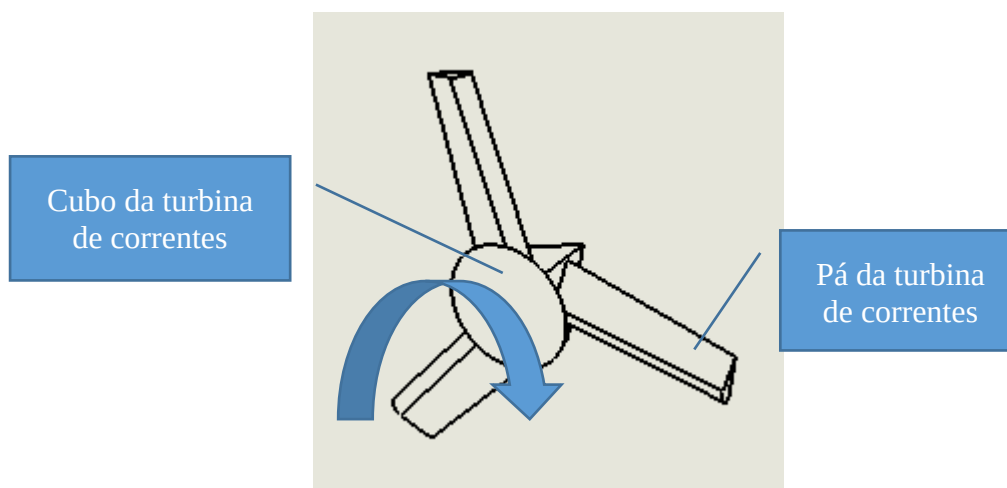


Figura 53-Turbina de correntes de eixo horizontal e seus constituintes, com indicação do sentido de rotação

Como referido anteriormente, o sentido de rotação desta turbina é contrário ao da turbina eólica sendo esta alteração conseguida alterando a orientação das pás.

Foram também acrescentados os demais elementos mecânicos necessários à transmissão do movimento ao veio comum (elementos esses semelhantes aos que a turbina eólica apresenta), conforme pode ser comprovado na Figura 54 e na Figura 55.

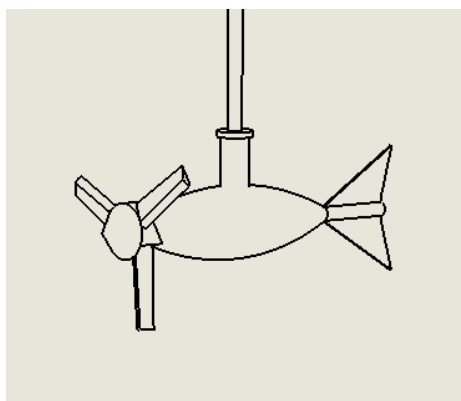


Figura 54-Turbina de correntes de eixo horizontal

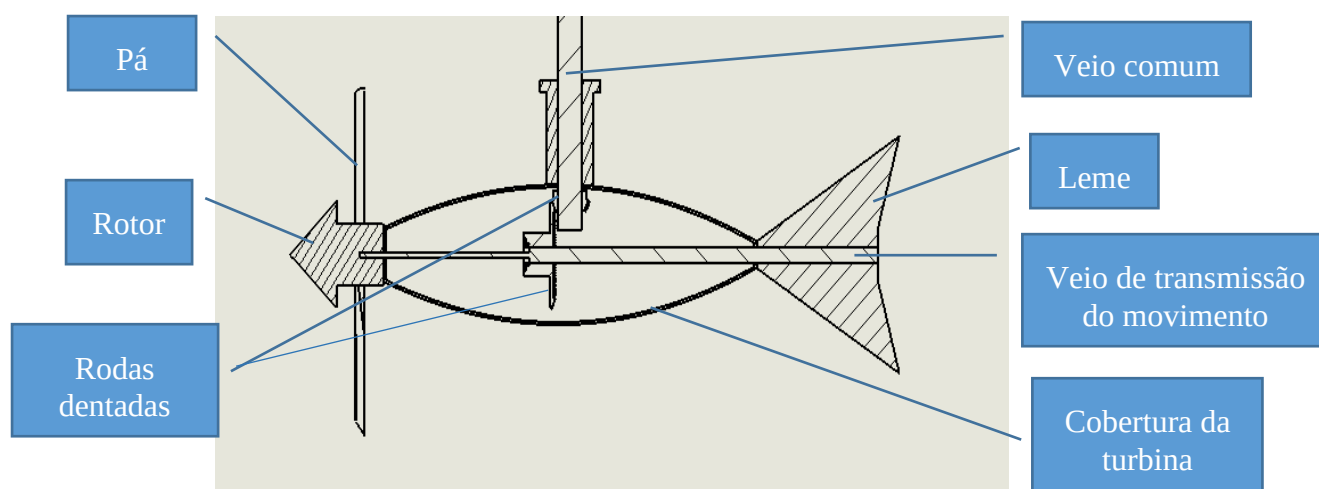


Figura 55-Vista em corte da turbina de correntes de eixo horizontal e seus constituintes

As turbinas de correntes de eixo vertical são essencialmente turbinas mais pequenas do que as turbinas eólicas. Neste caso, as pás estão orientadas na mesma direção das da turbina eólica porque só desta forma provocam a rotação do veio comum no mesmo sentido.

Nas Figuras 56 e 57 e, por comparação com as figuras 48 e 49, podemos constatar as diferenças de tamanho das pás, conforme foi referido anteriormente.

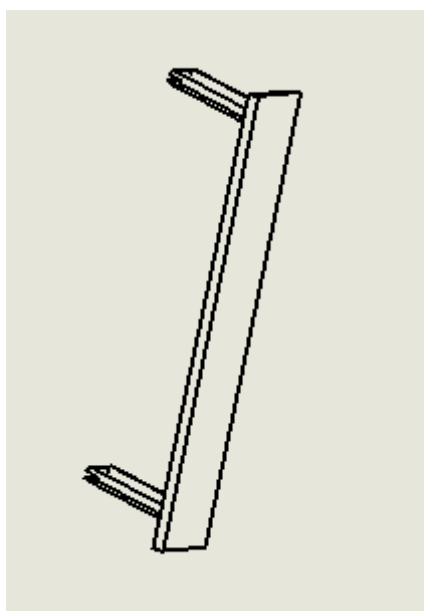


Figura 56-Pá da turbina de correntes de eixo vertical

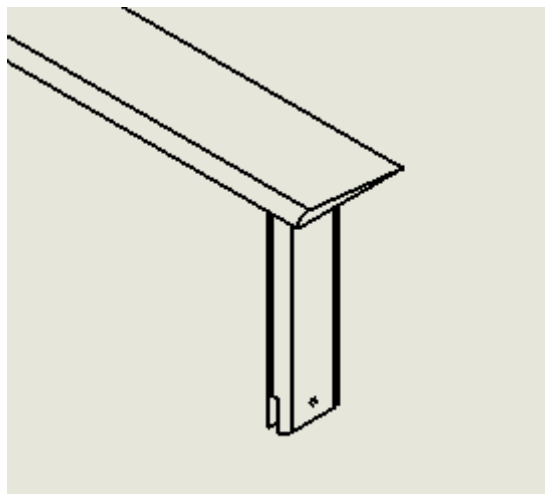


Figura 57-Pormenor do perfil e do braço da pá da turbina de correntes de eixo vertical

Os pratos de suporte das pás da turbina são iguais aos da turbina eólica, embora sejam colocados em posições diferentes, o que faz com que o processo de montagem das turbinas seja muito semelhante. Na Figura 58 é possível visualizar a turbina de correntes na sua posição de funcionamento, assim como os seus diferentes componentes.

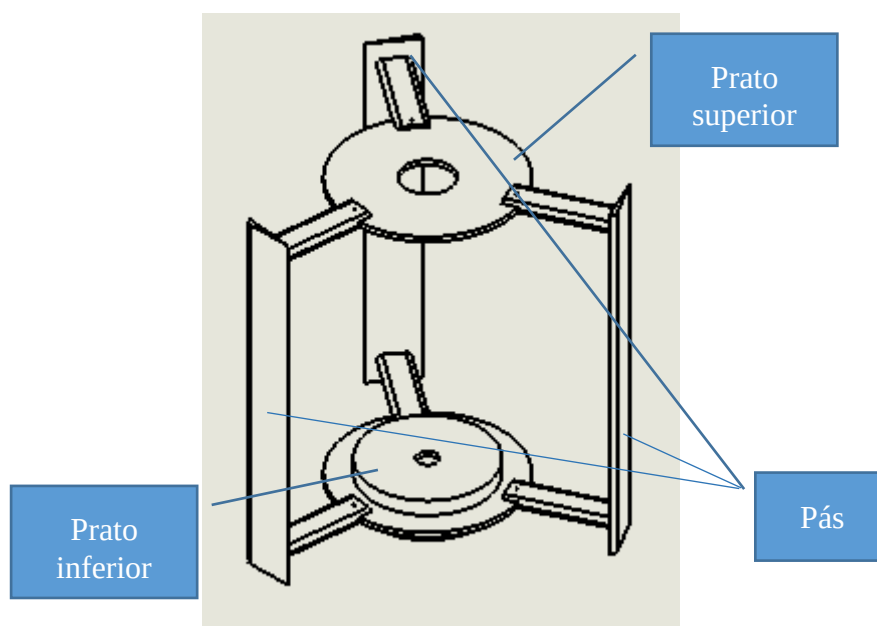


Figura 58-Turbina de correntes de eixo vertical e seus componentes

Nesta turbina, existe também um sistema anti-retorno, que é montado na parte de baixo do prato inferior. É ainda importante referir que a orientação das pás nesta turbina é a mesma que está presente na turbina eólica de eixo vertical para que o veio comum rode sempre no mesmo sentido.

4.2.3 Sistema de aproveitamento da energia das ondas

Para este sistema foram idealizadas 2 soluções:

- Um sistema com 2 câmaras;
- Um sistema de cremalheiras e rodas dentadas.

A primeira hipótese é uma solução baseada no sistema patenteado por Lei Han (Han 2015). A grande diferença em relação ao sistema *TRI POWER* é que não tem acoplado um gerador ao veio que faz girar a hélice por onde a água é obrigada a passar. Em vez disso, aproveita a configuração do sistema (configuração que permite a passagem de um veio vertical) para fazer o acoplamento mecânico através de um veio, satisfazendo assim uma das suas características principais.

Neste equipamento, é feita a conversão da energia das ondas para provocar a rotação de uma hélice. A incidência das ondas na face frontal do dispositivo provoca a entrada de água na câmara superior deste, devido à presença de válvulas unidireccionais (permitem a entrada de água na câmara superior, mas impedem a entrada na câmara inferior). Com a chegada da cava da onda, a altura de coluna de água não é suficiente para atingir a altura da câmara superior, pelo que é interrompida a entrada de água. No entanto, como a altura da cava da onda é inferior à cota a que se encontram as aberturas da câmara inferior (e devido à presença mais uma vez de válvulas unidireccionais que permitem, agora, apenas a passagem de água para o exterior), a câmara inferior deixa sair alguma água do dispositivo. Este movimento da água provoca uma queda de pressão no interior do dispositivo, o que leva à passagem de água da câmara superior para a inferior. É o movimento da água que provoca a rotação da hélice.

Para melhor se compreender o funcionamento deste sistema, atente-se na Figura 59 onde são indicados os seus principais componentes e o sentido do fluxo de água no interior deste.

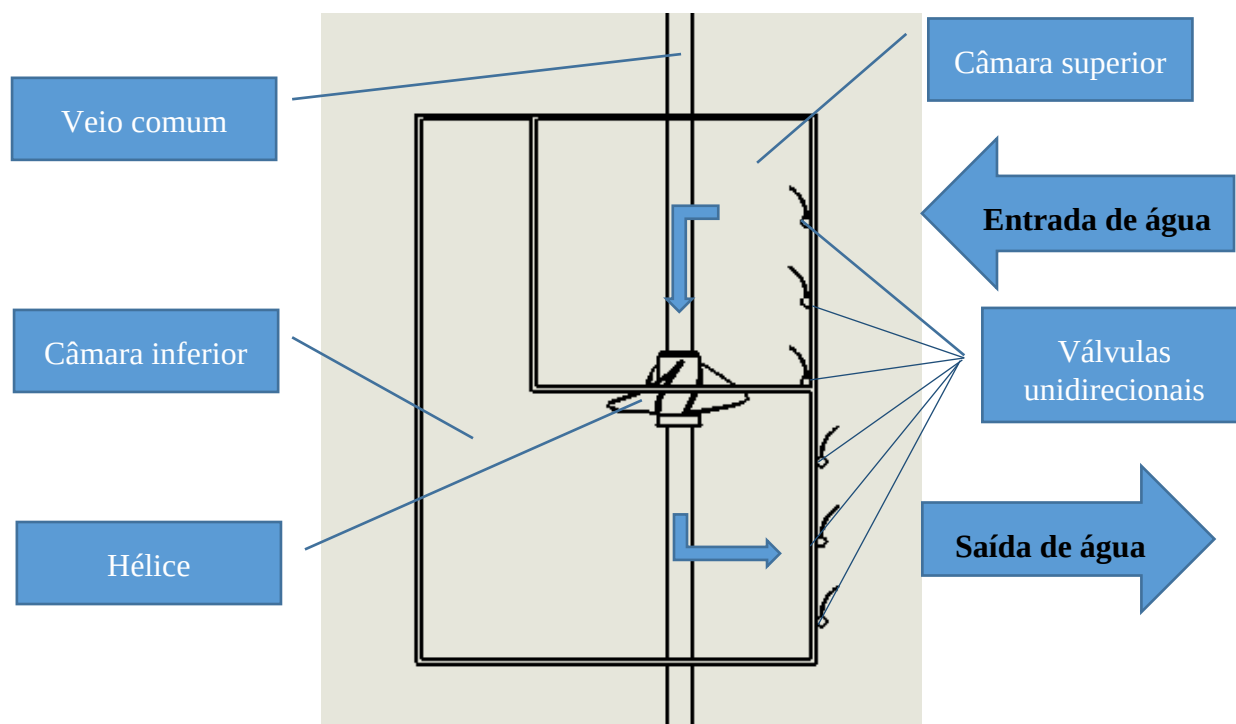


Figura 59-Gerador para aproveitamento da energia das ondas e fluxo de água no dispositivo de Lei Han (Han 2015)

Na Figura 60 podemos visualizar com maior detalhe o funcionamento das válvulas unidirecionais, estando indicados os sentidos permitidos e impedidos de fluxo de água conforme a sua posição de montagem no sistema.

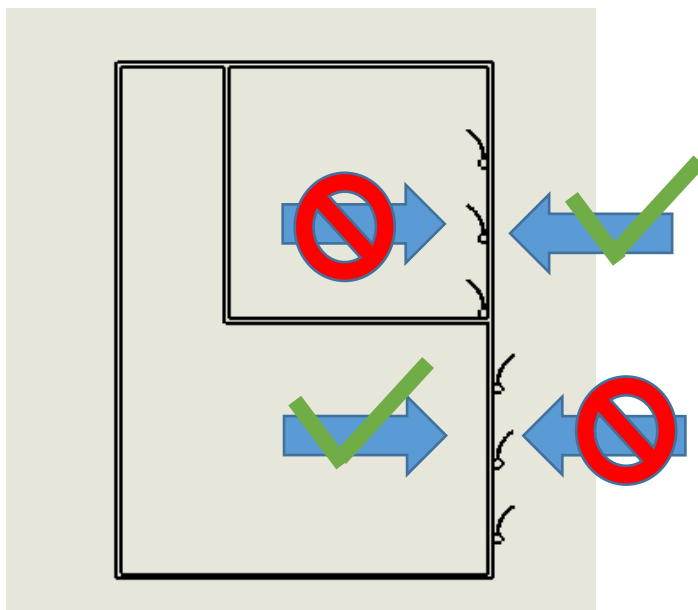


Figura 60-Princípio de funcionamento das válvulas unidirecionais (Han 2015)

As aberturas para permitir o fluxo de água foram feitas para que este movimento se faça da forma mais simples possível, preservando assim a integridade do sistema. A distribuição dos cortes foi também feita para salvaguardar esta última característica e, ao mesmo tempo, fazer com que a entrada e a saída de água sejam os mais uniformes possíveis. Nos topos, os cortes foram feitos para permitir a passagem do veio comum (veio que fará o acoplamento mecânico). Existe ainda um furo, de maiores dimensões, na chapa que faz a separação entre as câmaras superior e inferior, uma vez que tem de permitir não só a passagem do veio comum, mas também da hélice para a geração de energia.

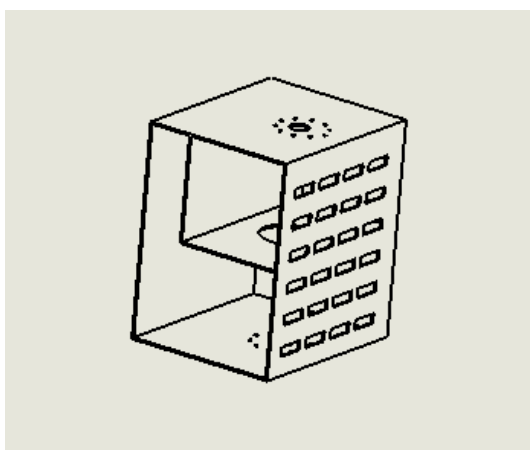


Figura 61-Vista tridimensional do sistema de câmaras de Lei Han (Han 2015)

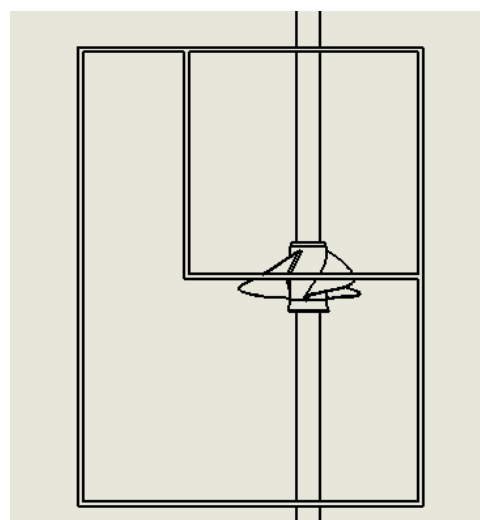


Figura 62-Vista em corte do sistema de Lei Han com a hélice acoplada ao veio comum (Han 2015)

Por forma a potenciar o aproveitamento energético das ondas, o sistema tem previsto ter também instalado uma peça cónica (não representada nas figuras acima, para simplificar a sua compreensão). Esta peça é colocada com a sua abertura de menor diâmetro voltada para baixo e a de maior diâmetro voltada para cima para que a água sofra uma aceleração, aumentando a sua velocidade (efeito de Venturi) e, conseqüentemente, conduza a uma maior velocidade de rotação da hélice. Para melhor se compreender a posição desta peça no sistema atente-se na Figura 63.

É, ainda, importante referir que nestas figuras anteriores, não estão representadas as paredes laterais do sistema para que melhor se possa compreender a sua estrutura interna.

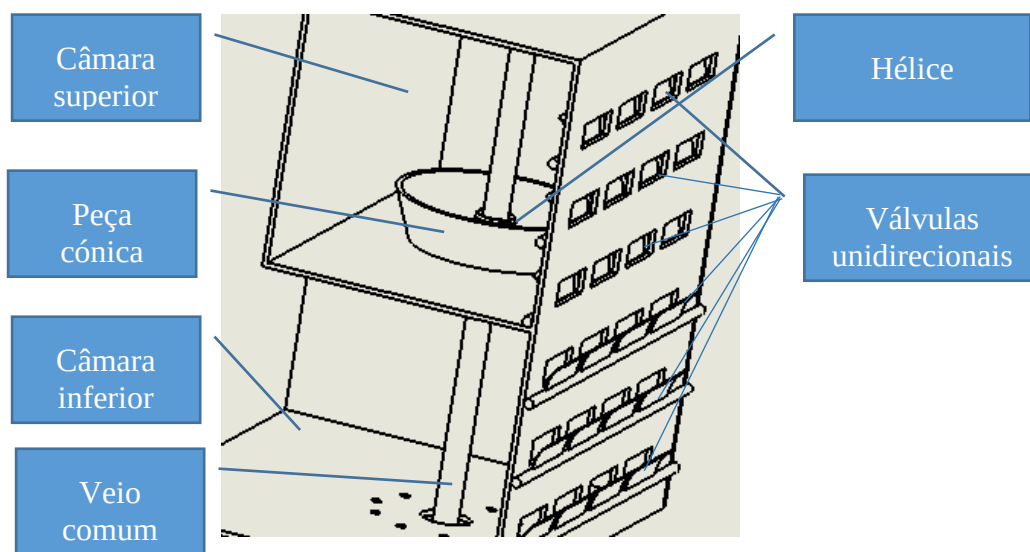


Figura 63-Posicionamento da peça cônica para provocar aceleração no escoamento da água (Han 2015)

Para um sistema de cremalheiras e rodas dentadas aproveitar a energia das ondas, é necessário que tenha um princípio de funcionamento distinto daquele que foi apresentado anteriormente. Assim sendo, nesta solução, o movimento de oscilação vertical provocado pela passagem das cristas e das cavas das ondas é aproveitado para deslocar as cremalheiras. Com este movimento das cremalheiras, é possível acionar rodas dentadas. Assim sendo, com esta solução, foi possível converter a variação da energia potencial entre as cristas e as cavas das ondas em energia cinética (rotação das rodas dentadas). Recorrendo em seguida a rodas dentadas cónicas, é possível fazer a transmissão do movimento ao veio comum. Na Figura 64 é possível visualizar os diferentes componentes desta solução.

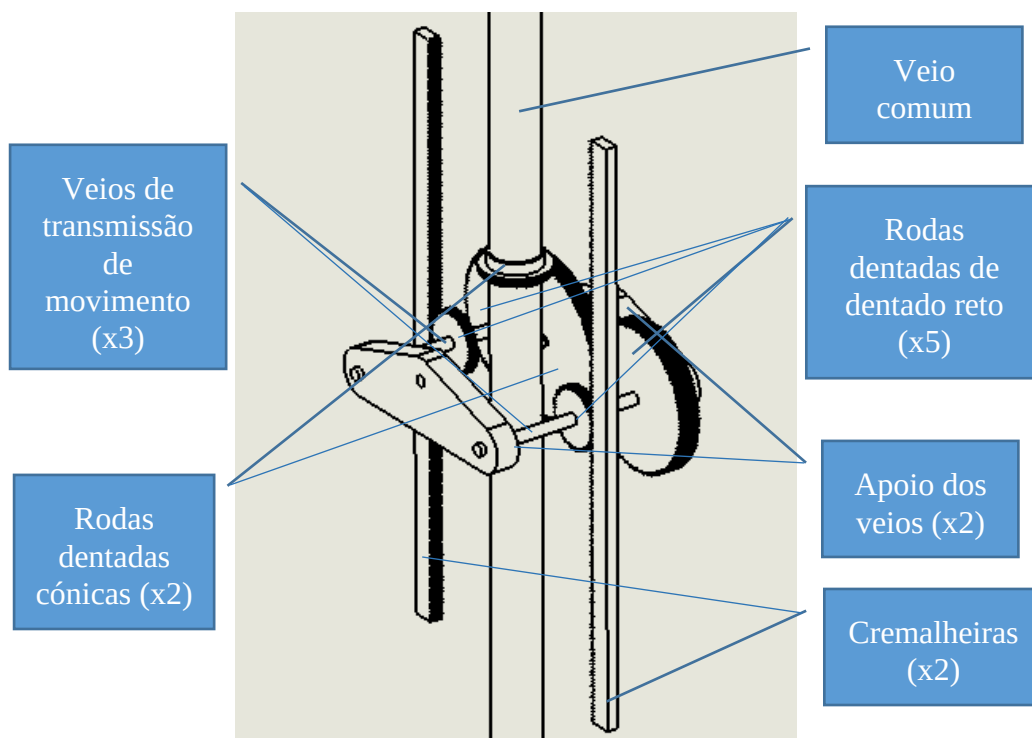


Figura 64-Sistema pinhão-cremalheira para aproveitamento da energia das ondas

Na Figura 65 é possível visualizar este sistema de uma outra perspetiva, sendo possível visualizar os componentes que não eram possíveis visualizar na Figura 64.

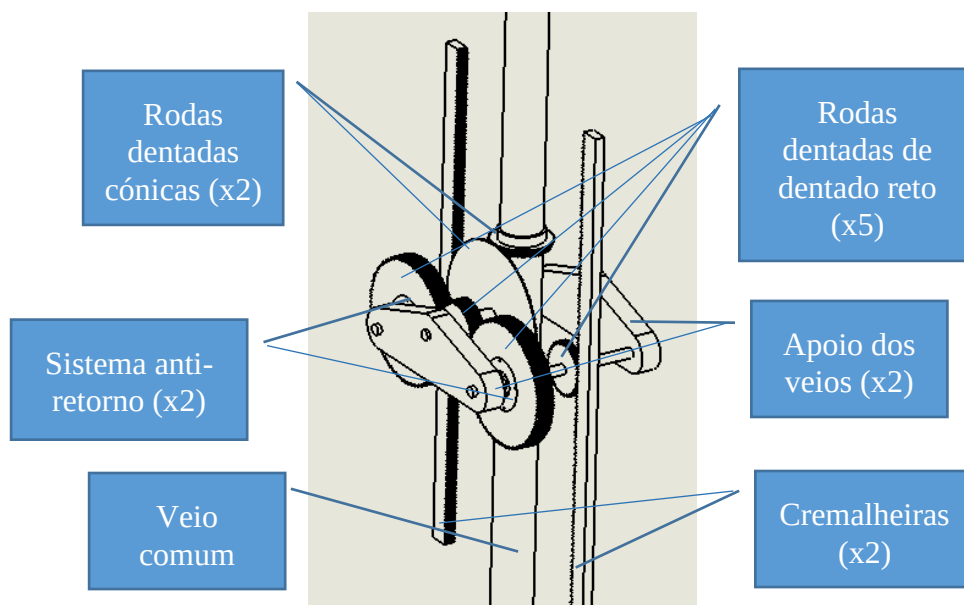


Figura 65-Sistema pinhão-cremalheira para aproveitamento da energia das ondas

Na Figura 66 é possível visualizar a colocação das cremalheiras na boia interna e como o movimento vertical da mesma provoca um movimento semelhante nas cremalheiras.

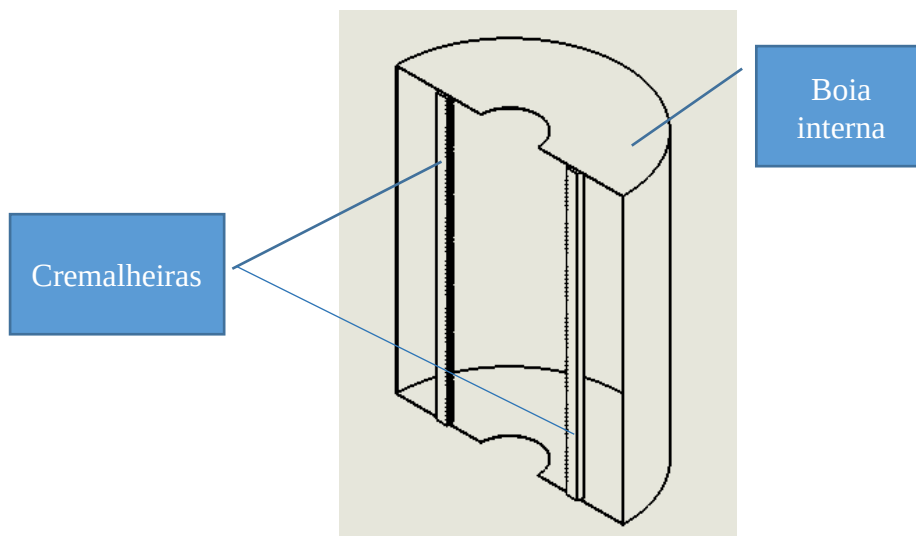


Figura 66-Vista em corte da posição das cremalheiras na boia interna

Por forma a gerar o movimento vertical das cremalheiras, de acordo com a passagem das ondas, estas estão fixas a uma boia, a designada boia interna. A necessidade de dotar o sistema de uma boia interna e de uma boia externa, prende-se com o facto de que a passagem das ondas pelo sistema, além do movimento vertical, provocar também um movimento lateral. Este último movimento não é desejado porque caso não fosse impedido conduziria ao desalinhamento das rodas dentadas com as cremalheiras.

Para permitir que a boia interna tenha apenas um movimento vertical, alternadamente ascendente e descendente, foi adotada uma solução em que a boia interna está contida, pelo menos parcialmente, numa boia externa. Uma vez que a boia externa se pode movimentar um pouco lateralmente, esta irá absorver estas movimentações laterais provocadas pela passagem das ondas, mas irá transmitir apenas o seu movimento vertical para a boia interna pois este é o único movimento que esta última pode ter. Para amortecer esta transmissão de movimento, entre as duas boias, existe um elemento elástico, para facilitar a interação entre as duas boias. Na Figura 67, é possível visualizar este sistema, assim como os seus diferentes componentes.

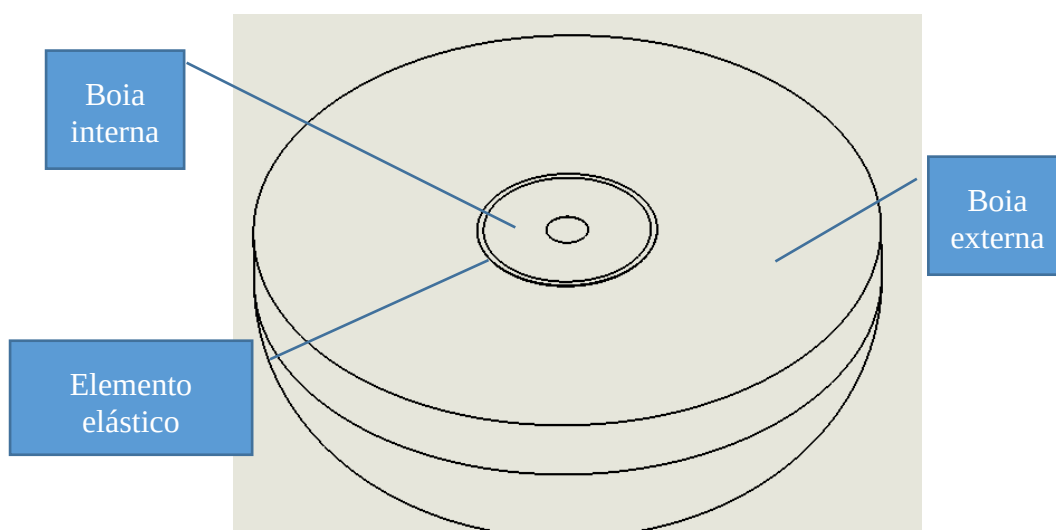


Figura 67-Sistema de boias e amortecimento para absorção de movimentos laterais da boia interna

4.2.4 Sistema anti-retorno

Uma primeira análise do equipamento leva-nos a pensar que este funcionaria corretamente apenas quando os 3 geradores provocassem a mesma velocidade de rotação no veio vertical. Na verdade, tal situação teria uma probabilidade muito reduzida de ocorrer numa situação real, o que tornaria o equipamento pouco eficiente já que o sistema de captação de energia que induziria a velocidade de rotação mais elevada estaria a ser travado pelos outros 2 mais lentos. Assim, é necessário implementar um sistema que permita a correta rotação do veio comum (sempre á velocidade máxima possível), sem que seja travado por um sistema mais lento. Surgiu assim a necessidade de implementar um sistema anti-retorno (*freewheel*) como o apresentado abaixo.

Este sistema é constituído por um par de dentes anti-retorno, um suporte para os dentes anti-retorno (ou uma cavidade própria no veio) e por uma placa exterior de engate dos dentes anti-retorno, placa essa na qual os dentes anti-retorno encaixam para transmissão de rotação. Na Figura 68 é possível identificar os diferentes componentes deste sistema. Este sistema é adotado em inúmeras soluções mecânicas testadas e muito robustas, como os cubos das bicicletas, chaves de roquete ou molinetes de barcos.

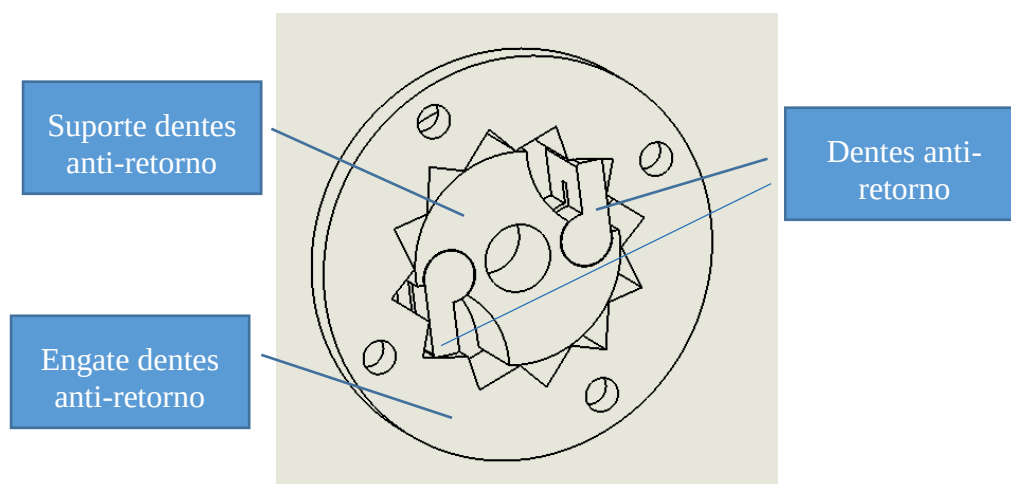


Figura 68-Vista tridimensional do interior do sistema anti-retorno

O engate dos dentes anti-retorno é uma peça com um furo “serrilhado”, no qual os dentes anti-retorno encaixam para transmitir o movimento de rotação. Esta peça possui também uma flange com furos passantes para que possa ser fixo às peças a que se destina, nomeadamente a hélice e as rodas dentadas. Na Figura 69, é possível visualizar as referidas características.

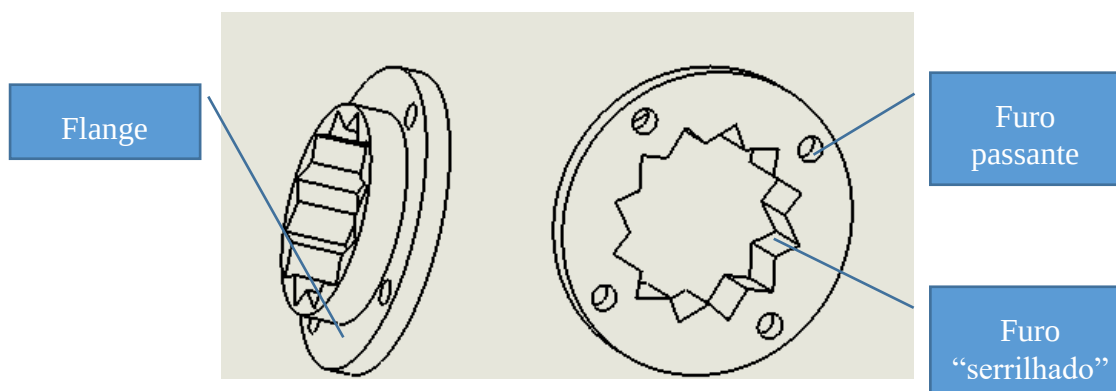


Figura 69-Vista tridimensional da peça de engate dos dentes anti-retorno

As referidas peças onde este sistema encaixa têm também uma cavidade com a forma deste por forma a tornar o sistema mais compacto, tal como se pode verificar nas figuras seguintes.

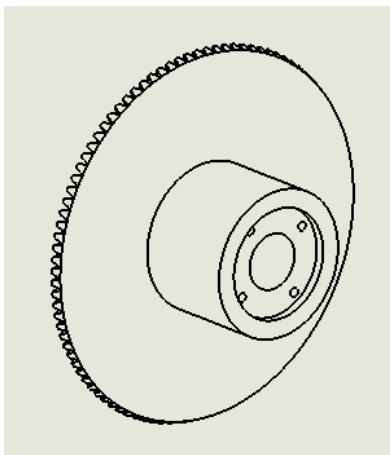


Figura 70-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno em uma engrenagem

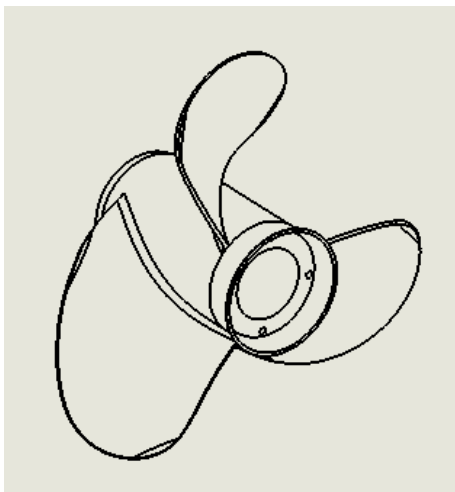


Figura 71-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno na hélice

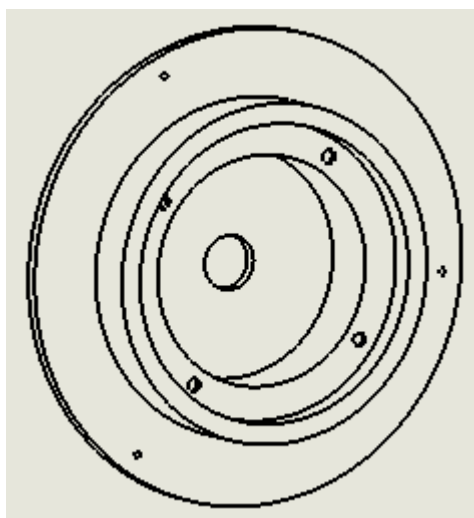


Figura 72-Cavidade para montagem do sistema anti-retorno num dos pratos de uma das turbinas de eixo vertical

4.2.5 Barcaça

A barcaça é um sistema extremamente importante porque é nela que todos os outros sistemas são instalados. Assim sendo, deve permitir uma fácil montagem de todos os outros elementos do *TRI POWER UP*, mas também deve ser robusta, para que o sistema mantenha a sua integridade nas sempre adversas condições marítimas.

Numa primeira fase, foram analisadas diferentes formas para o casco. As hipóteses estudadas foram as seguintes:

- Catamarã;
- Barcaça de fundo plano;
- Casco em forma de “V”.

O fator que mais influenciou a escolha foi a incorporação do sistema de aproveitamento da energia das ondas. Para a primeira hipótese, o sistema podia ser facilmente incorporado entre os dois flutuadores que compõe o catamarã.

Com as restantes hipóteses, rapidamente se concluiu que a barcaça não poderia ter aquela forma porque a face do sistema de aproveitamento da energia das ondas na qual as ondas devem incidir, não estaria na direção da proa. Ora, como as ondas tendem a passar pelo barco no sentido proa-popa, um sistema montado no sentido contrário não seria eficiente.

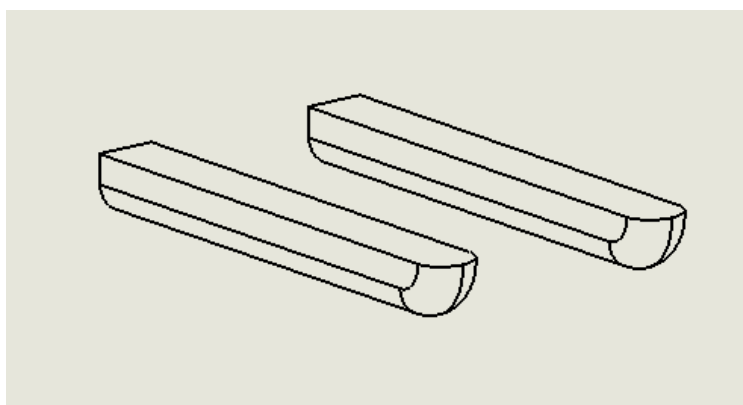


Figura 73-Forma do casco do tipo catamarã

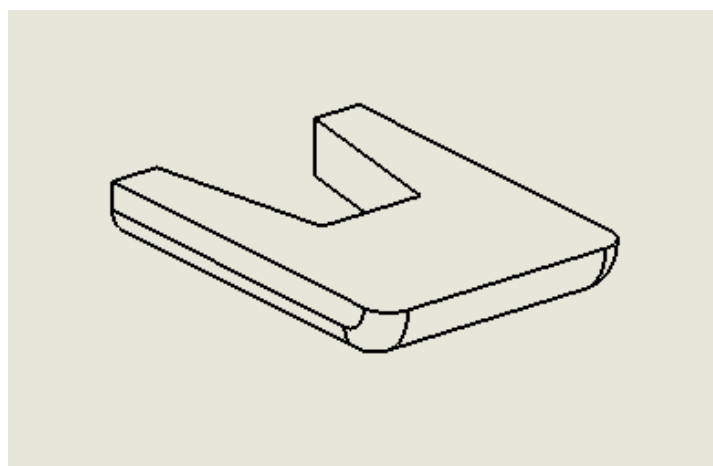


Figura 74-Forma do casco de uma barcaça de fundo plano

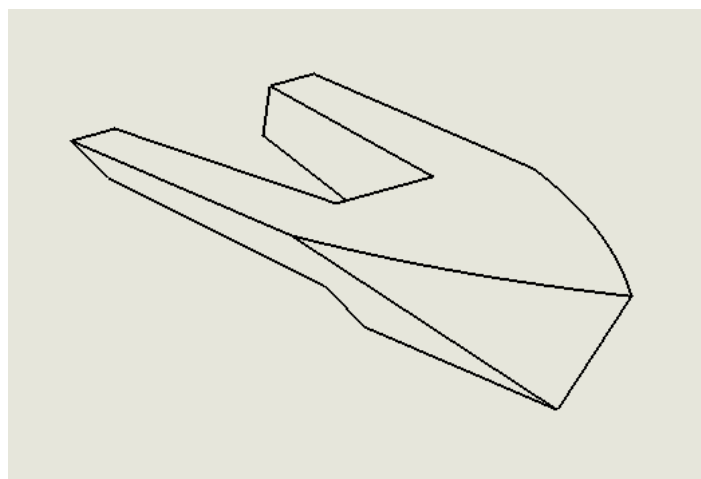


Figura 75-Forma de um casco em "V"

Uma vez escolhida a forma do casco, foram adicionados os demais elementos que este deveria ter, nomeadamente:

- Uma âncora e o seu respetivo mecanismo de movimentação (de forma esquemática);
- Suportes para a montagem do sistema de aproveitamento da energia das ondas.

O mecanismo da âncora num catamarã é um pouco mais complexo do que num barco convencional devido aos dois flutuadores. Ao lançar a âncora num catamarã existe o risco de a corrente desta danificar os flutuadores porque a corrente fica entre eles e, portanto, quando o catamarã se move devido às correntes marítimas e ondas, a corrente pode entrar em contacto com os flutuadores e, conseqüentemente, danificá-los. Para que tal não aconteça, a corrente é lançada entre os flutuadores e ligada aos flutuadores através de dois cabos (cada cabo liga a corrente a um flutuador diferente). A ligação dos cabos à corrente é feita recorrendo a um mosquetão, porque permite uma rápida e robusta ligação. Com isto, a corrente e a âncora mantêm a barçaça em posição, mas não danificam o casco.

Os suportes para o sistema de aproveitamento da energia das ondas foram feitos recorrendo a barras de perfil HEM, por este ser um perfil robusto. Aliás, a ligação entre os dois flutuadores foi feita com barras com o mesmo perfil. Com estes suportes, pretendesse uma ligação robusta, mas que ao mesmo tempo permita uma fácil montagem e desmontagem do sistema de aproveitamento da energia das ondas. Para garantir isso, os suportes fazem o seu guiamento até á sua posição final (posição de funcionamento). Na Figura 76, é possível visualizar a barçaça completa e os seus principais componentes.

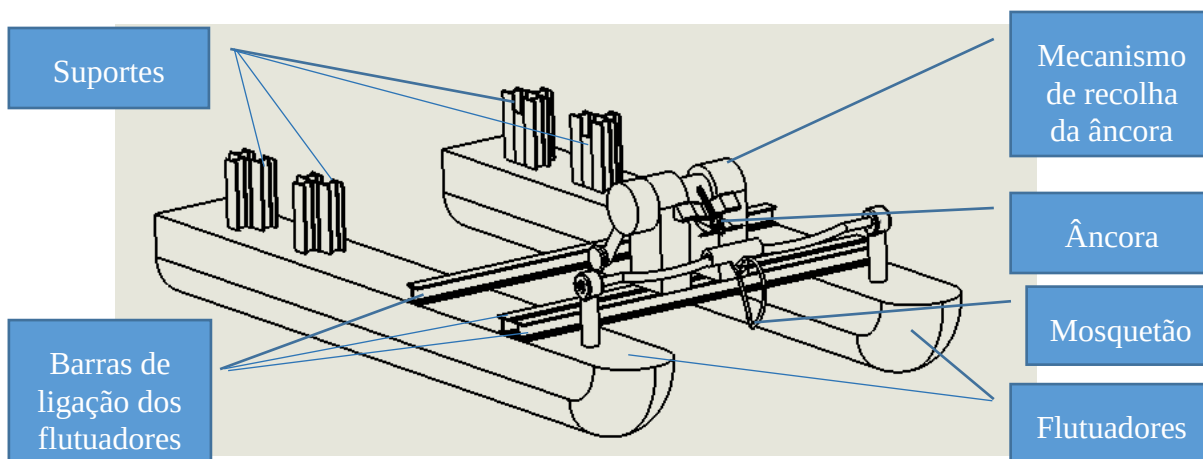


Figura 76-Barçaça completa e seus constituintes

Para melhor se compreender como é feito o guiamento do sistema de aproveitamento da energia das ondas durante a sua montagem na barça, atente-se na Figura 77, onde se podem ver os suportes com maior detalhe.

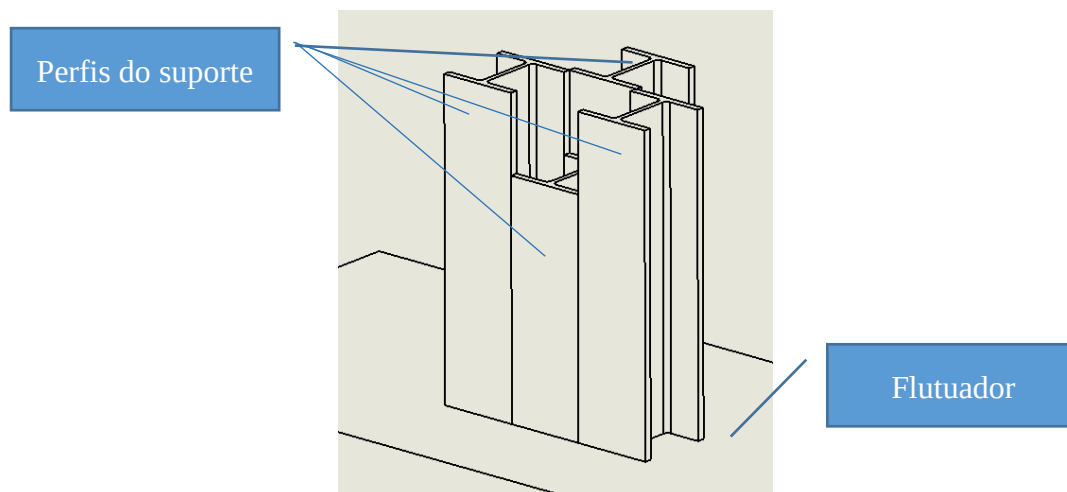


Figura 77-Pormenor de um dos suportes da barça

Como se pode ver na figura acima, um dos perfis que forma o suporte (o perfil onde o sistema de aproveitamento da energia das ondas irá assentar) tem um comprimento inferior. Assim, aquando da montagem, o suporte guia o sistema até à sua posição final.

Na Figura 78, é possível visualizar com maior detalhe o mecanismo de âncora de uma barça com um casco do tipo catamarã.

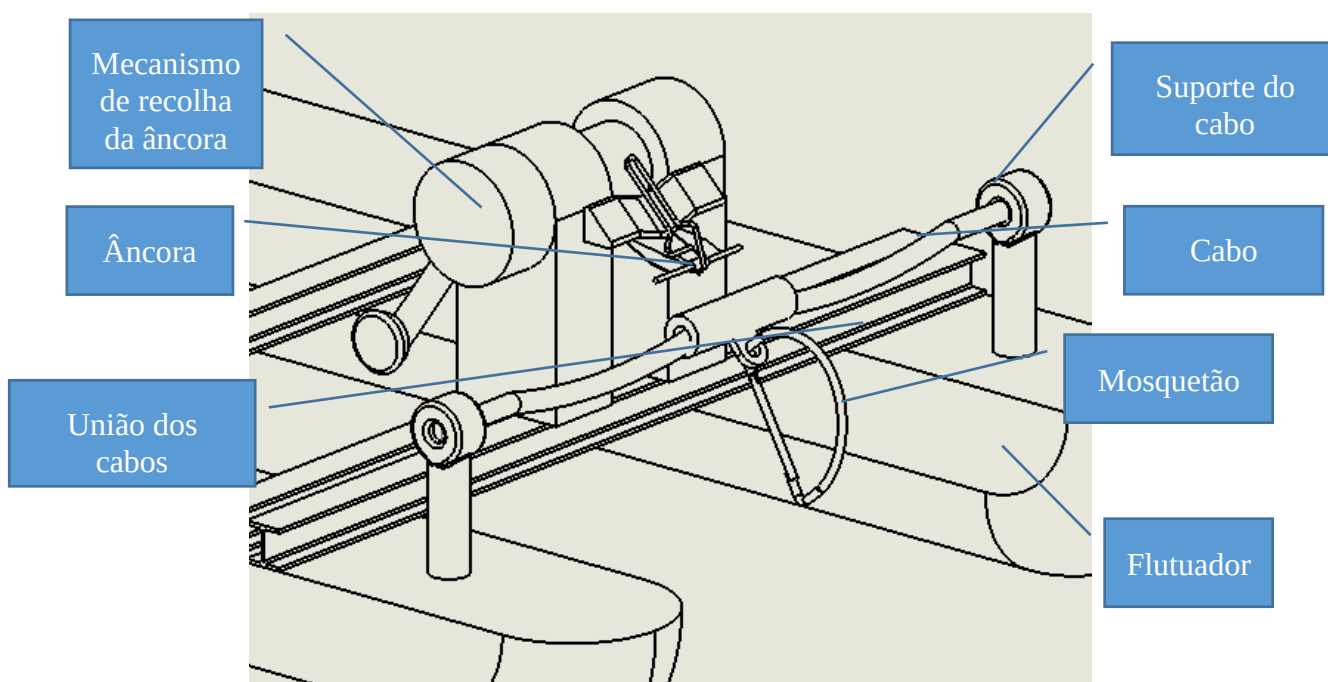


Figura 78-Vista em detalhe do mecanismo de âncora

4.3 Sistema completo

Tendo sido definidas as diferentes soluções para os sistemas, importa agora mostrar os sistemas completos e como são incorporados. Em seguida são apresentadas duas soluções distintas, mas que têm elementos intermutáveis entre si, isto é, elementos que podem ser incorporados em qualquer uma das duas soluções.

As soluções apresentadas nos 2 sistemas são as seguintes:

1. Solução constituída pelo sistema idealizado por Lei Han para aproveitamento da energia das ondas e com as turbinas eólica e de correntes de eixo horizontal;
2. Solução constituída pelo sistema de cremalheiras e rodas dentadas para aproveitamento da energia das e com as turbinas eólica e de correntes de eixo vertical.

Para a primeira solução, o resultado é apresentado em seguida na Figura 79.

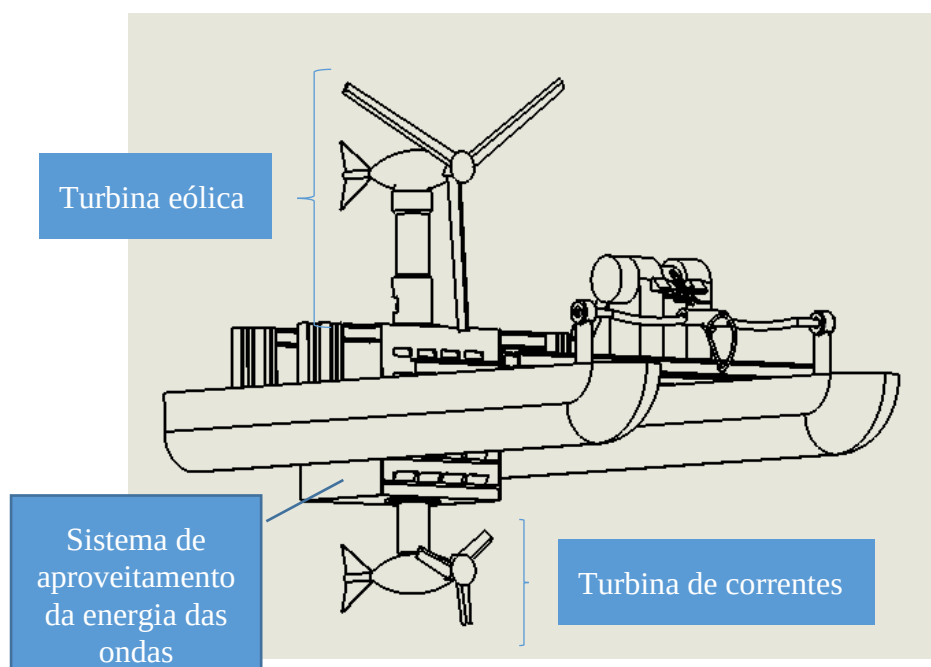


Figura 79-Sistema completo com o sistema de Lei Han e as turbinas de eixo horizontal

Relativamente à segunda solução, foi ainda necessário encontrar uma solução para alguns problemas, nomeadamente a sua robustez estrutural. Para tal, foi colocada uma torre, na qual todos os sistemas são montados. Esta torre foi, então, montada numa boia com um grande volume oco e com uma grande área superior, imediatamente abaixo da turbina de correntes. Tendo a boia um grande volume oco, é gerada uma força de impulsão com uma grande intensidade no sentido da superfície da água, suportando assim o peso de toda a estrutura do sistema. Esta boia atua, assim, como a base de todo o sistema e, como é flutuante, pode aumentar ou diminuir a sua distância ao fundo do mar para que acompanhe a evolução das marés. A sua grande área superior cria uma grande resistência ao movimento vertical da estrutura, conferindo maior estabilidade ao sistema.

Chegado a este ponto, surgiu ainda um outro problema relativo à estabilidade. Enquanto que na primeira solução, o sistema é mantido na sua posição de funcionamento através do equilíbrio entre as forças de impulsão geradas pelos dois flutuadores da barçaça, nesta segunda solução, tal não existe. Para dar equilíbrio a este sistema, foi então instalada uma grande massa, abaixo da boia de suporte. Assim, devido á ação do peso desta massa submersa com um ponto de aplicação distinto da força de impulsão da boia de suporte, é gerado um momento que conduz sempre o sistema a uma posição vertical. Em seguida, na Figura 80, é apresentado a configuração geral do sistema e, na Figura 81, as forças que geram o momento para equilibrar o sistema.

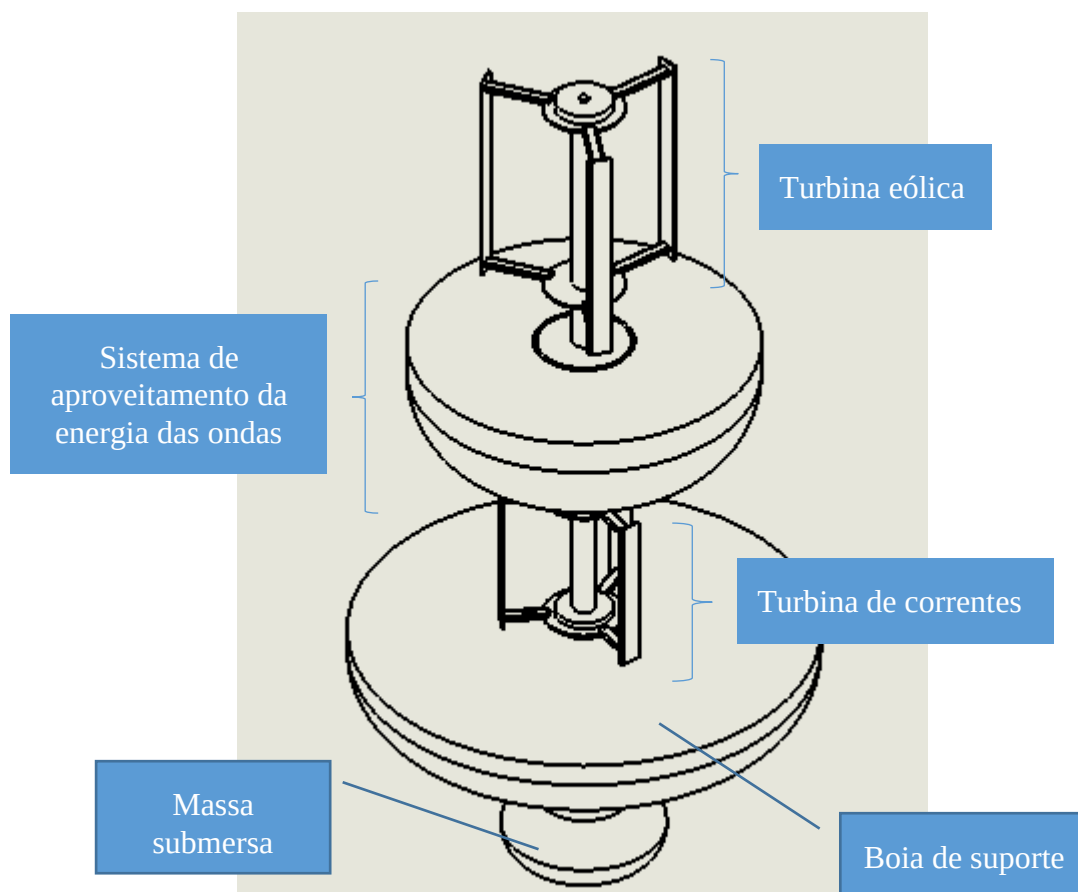


Figura 80-Solução de sistema com um sistema de cremalheiras e rodas dentadas para aproveitamento da energia das ondas e com turbinas de eixo vertical

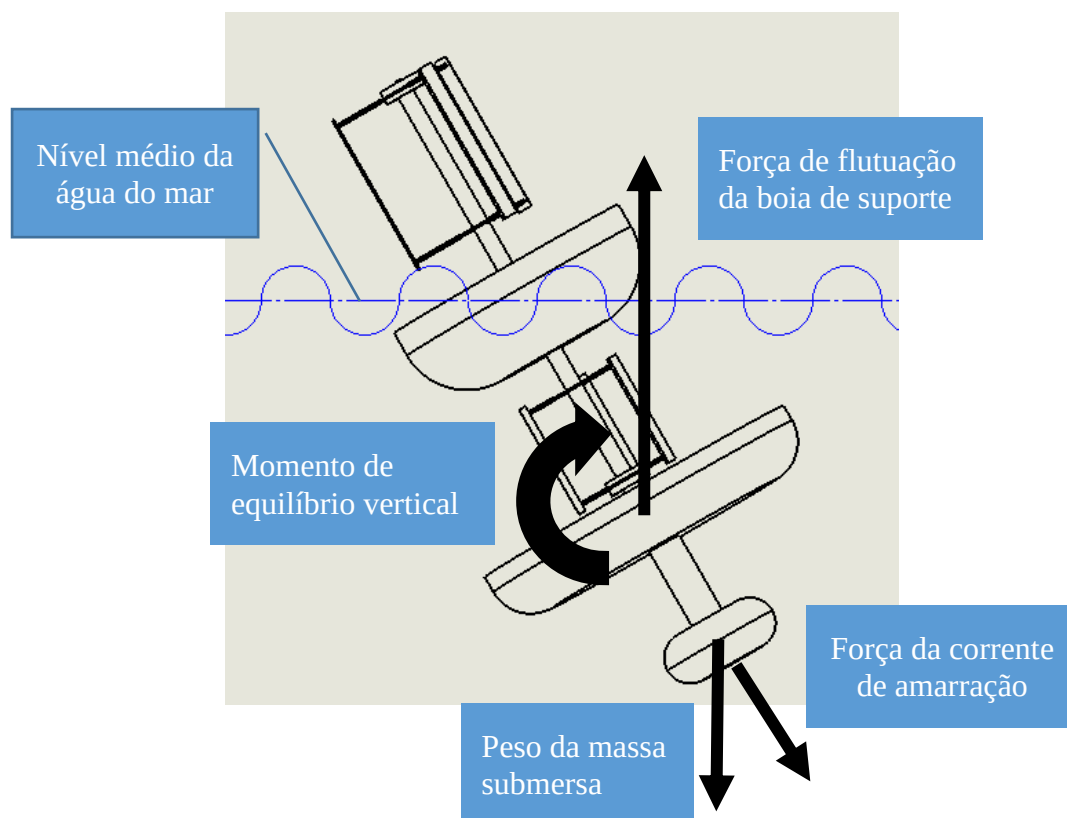


Figura 81-Forças envolvidas na geração do momento responsável pelo equilíbrio vertical do sistema

Na Figura 82 é possível visualizar como o sistema acompanha a evolução das marés. Quando o sistema está a operar em maré alta, a corrente de amarração está praticamente toda esticada, ao passo que quando funciona em maré baixa, parte da corrente de amarração assenta no fundo do mar.

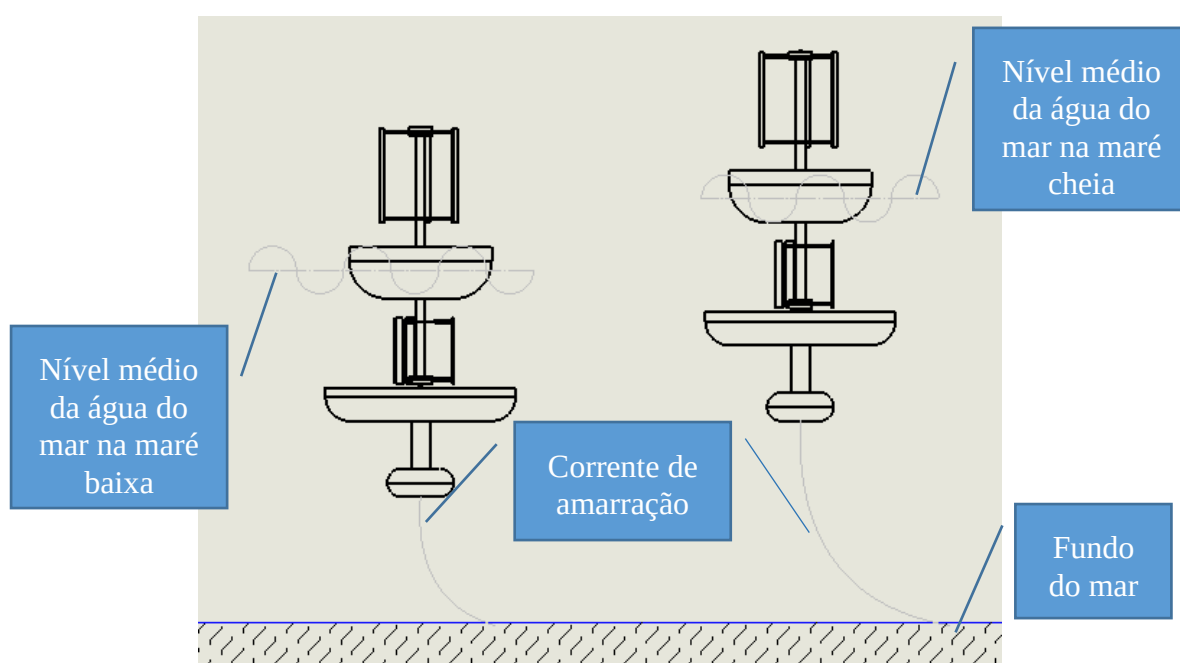


Figura 82-Efeito das marés na corrente de amarração

Para esta solução, foi ainda feita uma estilização da mesma, procurando dotá-la de uma aparência futurista. Este trabalho contou com a colaboração do Design Studio da FEUP e o resultado pode ser visto em seguida.



Figura 83-Vista tridimensional do *TRI POWER UP*



Figura 84-Vista tridimensional do *TRI POWER UP*



Figura 85-*TRI POWER UP* em funcionamento num ambiente marítimo

4.4 Enquadramento da patente

Tendo sido desenvolvidas duas soluções e sendo um dos objetivos desta dissertação apresentar um sistema patenteável, foi conduzida uma pesquisa por patentes relacionadas com o sistema que se pretende desenvolver, um sistema capaz de gerar energia a partir do vento, correntes marítimas e ondas.

Em seguida é apresentado o processo de refinação do campo de pesquisa de patente utilizado. Como referido anteriormente, o sistema *TRI POWER UP* enquadra-se na secção F (European Patent Office 2016). Dentro desta secção, existem as seguintes subsecções (European Patent Office 2016):

- F01 (*Machines or engines in general; Engine plants in general; Steam engines*);
- F02 (*Combustion engines; Hot-gas or combustion-product engine plants*);
- F03 (*Machines or engines for liquids; Wind; Spring weight and miscellaneous motors; Producing mechanical power; Or a reactive propulsive thrust, not otherwise provided for*);
- F04 (*Positive displacement machines for liquids; Pumps for liquids or elastic fluids*);
- F05 (*Indexing schemes relating to engines or pumps in various subclasses of classes F01-F04*);
- F15 (*Fluid-Pressure actuators; hydraulics or pneumatics in general*);
- F16 (*Engineering elements and units; General measures for producing and maintaining effective functioning or machines or installations; Thermal insulation in general*);
- F17 (*Storing of distributing gases or liquids*);
- F21 (*Lighting*);
- F22 (*Steam generation*);
- F23 (*Combustion apparatus; Combustion processes*);
- F24 (*Heating; Ranges; Ventilation*);
- F25 (*Refrigeration or cooling; Combined heating and refrigeration systems; Heat pump systems; Manufacture or storage ice; Liquefaction, solidification of gases*);
- F26 (*Drying*);
- F27 (*Furnaces; Kilns; Ovens; Retorts*);
- F28 (*Heat Exchange in general*);
- F41 (*Weapons*);
- F42 (*Ammunition; Blasting*).

A secção F03 é a que melhor se enquadra no sistema *TRI POWER UP* porque se trata de uma máquina para líquidos, mas também por ser um equipamento relacionado com o vento.

Na secção F03, temos ainda 5 subsecções (European Patent Office 2016), a reter:

- F03B (*Machines or engines for liquids*);
- F03C (*Positive displacement engines driven by liquids*);
- F03D (*Wind motors*);
- F03G (*Spring, weight, inertia or like motors; Mechanical-power producing devices or mechanisms, not otherwise provide for or using energy sources not otherwise provided for*);
- F03H (*Producing a reactive propulsive thrust, not otherwise provided for*)

Chegado a esta divisão, o sistema enquadra-se em 2 categorias: F03B e F03D. Estas categorias apresentam ainda subsecções, mas, optou-se por não especificar ainda mais a pesquisa por forma a não se perder informação que poderia ser importante.

A pesquisa incidiu assim sobre as categorias F03B e F03D, porque são aquelas em que o sistema se enquadra, e foi relativa a sistemas capazes de gerar energia elétrica a partir da energia eólica, das correntes e das ondas.

Deste processo de pesquisa resultaram 19 patentes, apresentadas em seguida na Tabela 4.

Tabela 4-Patentes que surgiram da pesquisa realizada (European Patent Office 2016)

Nº patente	Código de publicação	Nome	Inventor(es)
1	US2016333858 (A1)	<i>System and method for generating electricity using grid of wind and water energy capture devices</i>	John Pitre; Stuart Huang
2	US2015266549 (A1)	<i>Oscillating Piston-Type Wave Power Generation Method and System</i>	Yanming Qu
3	US9115688 (B1)	<i>Wind Resistance Wave Generator</i>	Samir S. Shiban
4	WO2015086033 (A1)	<i>Hybrid Electricity Generators Using Wind Energy and Wave Energy</i>	Mohammed Messaudene
5	GB2515577 (A)	<i>A combined floating renewable energy platform with new designs for wind and water energy recovery, also supporting solar power</i>	Angus Black
6	WO2014196921 (A1)	<i>A Water Based Modular Power Plant</i>	Kjeld Thorson
7	US2014246792 (A1)	<i>Power Transfer and Generation Using Pressurize Fluids</i>	Elan Y. Pavlov
8	WO2014056049 (A1)	<i>Device Using Multiple Renewable Energy Sources (DUMRES)</i>	Josip Bilic
9	US2014091576 (A1)	<i>Offshore Combined Power Generation System</i>	Hein Willie; Sophie Boreau

10	US2013028729 (A1)	<i>Power Generation Systems and Methods</i>	Jack A. Jones
11	WO2012076851 (A1)	<i>Wave Energy Converter</i>	Stephen Packard; Malcom Van Den Burgh
12	US2011215650 (A1)	<i>Offshore Energy Harvesting, Storage and Power Generation System</i>	Alexander H. Slocum; Gregory E. Fennell; Alison S. Greenlee
13	WO2011039536 (A1)	<i>Floating Power Plant Comprising Water Turbine and Wind Turbine</i>	David Collard
14	WO2010080043 (A2)	<i>Energy System</i>	Thorjom Sirseth
15	WO2009005383 (A1)	<i>Joint System for Conversion of Eolic, Solar, Sea Waves And Maritime Currents Energies</i>	Fernando Carlos Santos Pereira
16	US2008101865 (A1)	<i>Hydrodynamic Drive Train For Energy Converters That Use Ocean Currents</i>	Andreas Basteck; Martin Tilscher
17	WO2006010783 (A1)	<i>Wind, Wave And Current Power Stations With Different Foundations Solutions And Methods How To Manufacture, Transport, Install And Operate These Power Stations</i>	Jorma Lindberg
18	US20030145587 (A1)	<i>Wind And Wave Energy Plant</i>	Henrik Frans Christensen
19	US20130118176 (A1)	<i>Regenerative Offshore Energy Plant</i>	Nik Scharmann; Benjamin Hagemann

Em seguida são apresentadas as razões pelas quais o sistema *TRI POWER* não viola nenhuma das patentes apresentadas acima, sendo dedicado um pequeno texto a cada uma delas. O número do parágrafo corresponde ao número da patente apresentado na tabela acima.

1. O sistema apenas capta energia das ondas e do vento e a combinação da energia gerada é feita eletricamente (Pitre e Huang 2016);
2. Existe apenas captação de energia das ondas, sendo o seu princípio de funcionamento distinto. Neste dispositivo, a boia move-se de acordo com a passagem das ondas para fazer movimentar um pistão. Consequentemente, é movimentado fluido hidráulico para colocar um motor hidráulico em rotação, que por sua vez, está acoplado a um gerador elétrico (Qu 2015);
3. Neste sistema existe apenas uma turbina que é movimentada pela ação conjunta da passagem das correntes (marítimas ou não), vento e ondas (Shiban 2015);
4. Embora este dispositivo capte energia eólica, das correntes e das ondas, a forma como esta última fonte de energia é aproveitada pode ser distinta (Messaoudene 2014). De acordo com (Messaoudene 2014) a energia das ondas pode ser aproveitada de uma das 3 formas concebidas:
 - a. Por um sistema de molas de torção e com um mecanismo de roda livre que com o movimento de oscilação de uma boia colocam a mola sobre tensão, o que provoca a rotação de um veio. Com a instalação de um mecanismo de roda livre e o movimento alternado de tração/compressão das molas, o movimento de rotação do veio é feito sempre no mesmo sentido;
 - b. Pela pressurização de um fluido hidráulico, aumentando a pressão de um fluido hidráulico, é possível provocar a rotação de pinhões. Além disso, devido à solução construtiva dos mesmos, os pinhões atuam como amortecedores;
 - c. Por um mecanismo de roldana: Com esta solução, é aproveitado o facto de o sistema ter de ser ancorado para fazer passar o cabo de ancoragem por uma roldana colocada numa boia. Assim, o movimento de oscilação provocado pela passagem das ondas obriga a boia a movimentar-se da mesma forma, o que faz movimentar a roldana, já que os cabos de ancoragem possuem apenas alguma flexibilidade. Com um mecanismo de roda livre, o movimento de rotação alternado da roldana pode ser convertido num movimento de rotação com um só sentido.
5. Este sistema apenas capta a energia das correntes e do vento. Além disso, as turbinas têm uma solução construtiva distinta (Black 2014);
6. Neste sistema, a energia é captada para produzir hidrogénio sendo que apenas indiretamente produz energia elétrica (Thorsen 2014);
7. A turbina (eólica ou de correntes) é usada para bombear um fluido sob pressão, utilizado para movimentar um gerador elétrico (Pavlov 2014);
8. A energia das correntes não é captada e o aproveitamento da energia do vento e das ondas é feita individualmente (Bilic 2012);
9. Neste sistema não é possível aproveitar a energia das correntes, sendo a energia eólica e das ondas combinada eletricamente (Wille e Boureau 2014);

10. O princípio de funcionamento é baseado em hidráulica. Além disso, é um sistema desenhado para apenas captar energia das correntes e do vento (Jones 2013);
11. Nesta solução, é apenas captada a energia das ondas. O princípio de funcionamento do gerador também é distinto porque se trata de um gerador linear (Packard e Van der Burgh 2011);
12. Com este sistema, a forma como a energia das ondas é captada é distinta, porque a água é conduzida para um reservatório para posteriormente passar por uma turbina (princípio de funcionamento semelhante ao das turbinas numa barragem) (Slocum, Fennell e Greenlee 2011);
13. Nesta solução, a turbina de correntes é movimentada pelas marés. Além disso, não capta a energia das ondas (Collard 2010);
14. Neste sistema, o mecanismo de captação da energia das ondas é distinto pois utiliza flutuadores para pressurizar um fluido, apresentando diferentes soluções para o fazer (Sirseth 2010);
15. Este dispositivo, apesar de captar energia das ondas, do vento e das correntes, não utiliza uma solução de um gerador único, optando por dedicar um gerador para aproveitar individualmente cada uma destas fontes de energia (Pereira 2007);
16. Neste sistema apenas a energia das correntes é captada (Basteck e Tilscher 2008);
17. Esta patente refere-se essencialmente às fundações dos dispositivos de captação de energia do vento, correntes e ondas, apresentando soluções para aproveitar as 3 fontes de energia num mesmo local (Lindberg 2015);
18. Neste sistema só é captada a energia das ondas e do vento. Além disso, o movimento de oscilação de uma boia é utilizado para fazer movimentar um pistão, fazendo a bombagem de água do mar até um reservatório. A partir desse reservatório, a água faz movimentar uma turbina. Este princípio de funcionamento é o mesmo que faz movimentar as turbinas instaladas em barragens hidroelétricas (Christensen 2003);
19. Este dispositivo capta apenas a energia do vento e das ondas. Para aproveitar a energia das ondas, é aproveitado o movimento orbital das partículas de água de uma onda para fazer movimentar um rotor (Scharmann e Hagemann 2013).

Assim, foi possível concluir que ambas as soluções desenvolvidas são passíveis de ser patenteadas. No entanto, optou-se por desenvolver um texto para submissão de patente apenas para a segunda solução pois é a solução mais inovadora e distinta. Relativamente à primeira solução, como utiliza o sistema de Lei Han para o aproveitamento da energia das ondas, poderia criar mais dificuldades aquando do processo para patentear o sistema. O texto elaborado para a submissão da patente encontra-se no Anexo 1.

4.5 Estimativa da capacidade de geração de energia do sistema

Nesta secção é apresentado o processo de cálculo utilizado para estimar a capacidade de geração de energia do sistema a patentear assim como o seu impacto na rede elétrica. Esta metodologia é semelhante à utilizada por (Menezes 2012) e foi aplicada à turbina eólica e à turbina de correntes. Em seguida é descrito pormenorizadamente o processo de cálculo aplicado à turbina eólica.

Os dados relativos à velocidade do vento e altura e período das ondas foram retirados de (windguru 2017) enquanto a velocidade da corrente marítima foi determinada pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Para conferir validade aos resultados, os valores usados foram todos registados no mesmo dia (3 de janeiro de 2017) e à mesma hora (9h00). No Anexo 2, podem ser visualizados esses mesmos valores.

Relativamente às dimensões, quer das pás das turbinas, quer da boia do sistema de aproveitamento das ondas, resultam da análise de sistemas semelhantes, como o *skwíd*[®], criado pela empresa MODEC[®].

É ainda importante referir que o processo de cálculo utilizado por (Menezes 2012) tinha como objetivo determinar as dimensões ideais da turbina partindo de uma estimativa da potência energética que era necessário gerar, ao passo que o que é apresentado a seguir é o oposto, isto é, a partir das dimensões das turbinas pretende-se determinar a potência energética gerada.

O primeiro passo foi o cálculo da área de captação da turbina. O seu valor pode ser calculado a partir da equação 11.

$$A = D * L \quad (11)$$

Onde

D representa o diâmetro da turbina (m);

L representa o comprimento da pá da turbina (m)

Substituindo os valores de D e L na equação 11, obtemos o valor, apresentado em seguida, para a área de captação da turbina (A).

$$A = 8.956 * 10 = 89.56 \text{ m}^2 \quad (12)$$

Uma vez calculado o valor da área de captação da turbina, foi calculada a potência que o vento, a fluir a uma determinada velocidade, possui. O seu valor pode ser determinado a partir da equação 13.

$$P_{vento} = 0,5 * \rho * A * V^3 \quad (13)$$

Onde

ρ é a massa volúmica do ar (Kg/m^3);

V é a velocidade do vento (m/s)

Na equação 13, a massa volúmica do ar é de 1.225 kg/m^3 , de acordo com (Coelho 2011) e V, a velocidade do vento, é de 5.66 m/s (a velocidade registada por (windguru 2017) foi de 11 nós e $1 \text{ m/s} = 1.994 \text{ nós}$).

Substituindo estes valores numéricos na equação 13 obtemos,

$$P_{vento} = 0.5 * 1.225 * 89.56 * 5.66^3 = 9946.48 \text{ W} \quad (14)$$

Em seguida foi determinada a potência média que pode ser extraída do vento, de acordo com as limitações do gerador. Todos os coeficientes apresentados em seguida (exceto o valor do coeficiente de potência) têm o mesmo valor usado por (Menezes 2012). O valor do coeficiente de potência C_p foi determinado recorrendo à teoria de *Glauert* (ver novamente a Figura 8).

$$P_{média} = P_{vento} * C_p * \eta_g * \eta_m * \eta_t * \eta_c \quad (15)$$

Onde o significado dos coeficientes é o seguinte:

- η_g é o rendimento do gerador;
- η_m é o rendimento do controlador de carga;
- η_t é o rendimento do sistema de transmissão;
- η_c é o rendimento do inversor de tensão.

Substituindo os coeficientes apresentados acima, pelos seus respetivos valores na equação 15, é possível determinar a potência média que pode ser extraída da turbina eólica, tal como se mostra na equação 16.

$$P_{média} = 25209.58 * 0.35 * 0.9 * 1 * 0.95 * 0.85 = 2530.01 \text{ W} \quad (16)$$

$$P_{média} = \mathbf{2.53 \text{ kW}} \quad (17)$$

Na Tabela 5 são apresentados os coeficientes calculados quer para a turbina eólica, quer para a turbina de correntes.

Tabela 5-Estimativa da potência média que pode ser extraída pelas turbinas eólica e de correntes

Turbina	D (m)	L (m)	A (m ²)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	P _{Disponível} (kW)	C_p	P _{Média} (kW)
Eólica	8.956	10	89.56	1.225	5.66	9.95	0.35	2.53
Correntes	6.972	7	48.8	999.1	0.75	10.29	0.32	2.39

Relativamente aos valores obtidos para a turbina de correntes é importante referir que o valor da massa volúmica da água resultou de uma iteração dos valores indicados por (Lamon 2013) para uma temperatura de 15 °C (temperatura média da água do mar registada pelo IPMA). Além disso, os coeficientes relativos ao rendimento do gerador, controlador de carga, etc. para o cálculo da potência média que pode ser extraída pelo gerador de correntes são os mesmos que foram utilizados para o cálculo do mesmo fator na turbina eólica.

Relativamente à energia das ondas, o cálculo da estimativa foi um pouco diferente. O cálculo foi feito, numa primeira fase, no sentido de calcular o trabalho necessário para deslocar uma boia com 10 Ton (o peso da boia externa). Este valor do trabalho que é necessário realizar para fazer movimentar a boia pode ser determinado a partir do volume de água deslocada (correspondente ao peso da boia externa) e do deslocamento médio da mesma, correspondente à altura da onda. A potência que pode ser extraída por este sistema pode ser calculada dividindo o valor do trabalho realizado sobre a boia durante um intervalo de tempo correspondente ao período da onda.

Os valores da altura e do período da onda registados no dia 3 de janeiro de 2017 às 9h são apresentados na Tabela 6, em conjunto com uma estimativa da potência que pode ser gerada a partir das ondas.

Tabela 6-Estimativa da potência que pode ser extraída do sistema de aproveitamento da energia das ondas

Altura de onda (m)	Força (N)	Trabalho (J)	Período da onda (s)	Potência (kW)
1.5	100000	150000	10	15

Assim, podemos concluir que este sistema pode gerar cerca de $2.53+2.39+15=19.92$ kW. Relativamente a este valor, é necessário realçar que este valor é apenas um valor indicativo já que a velocidade do vento, a velocidade das correntes e a altura e período da onda são valores em constante mutação e com uma grande variabilidade ao longo do tempo.

Para avaliar o impacto deste sistema na rede elétrica, procurou-se determinar quantas casas é que este sistema seria capaz de alimentar durante um ano.

Assim, começou-se por determinar o consumo elétrico de uma casa. Consultando uma conta de eletricidade, verificou-se que em 2 trimestres consecutivos (um durante o verão/outono e outro durante o outono/inverno) o consumo era aproximadamente o mesmo e de cerca de 360 kWh em cada. Assim, o consumo anual desta casa (C) pode ser dado pela equação 18.

$$C = 360 * 4 = 1440 \text{ kWh} \quad (18)$$

Para determinar o consumo energético em kW, é necessário dividir os 1440 kWh de consumo energético pelo número de horas durante um ano. Considerando que o ano tem 365 dias, o consumo anual desta casa é dado pela equação 19.

$$C = \frac{1440}{365*24} = 0.164 \text{ kW} \quad (19)$$

O número de casas (N) que podem ser alimentadas por este sistema pode ser determinado dividindo a potência elétrica gerada pelo sistema pelo consumo de uma casa, tal como se pode constatar pela equação 20.

$$N = 19.92/0.164 \approx 121.46 = \mathbf{121 \text{ casas}} \quad (20)$$

Uma vez mais é importante recordar que este valor é apenas um valor indicativo já que as propriedades do vento, correntes e ondas estão em constante mutação

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Com este trabalho, foi possível constatar que existem diversas soluções para o aproveitamento das fontes de energia renováveis, sendo a energia associada aos oceanos uma das fontes mais promissoras. Foi constatado, também, que Portugal tem um papel relevante nesta matéria, fruto dos diversos exemplos de dispositivos que estiveram em funcionamento e que estão previstos ser instalados no nosso país.

Deste trabalho, foi possível concluir que a melhor forma de extrair a energia dos oceanos ainda não foi encontrada (ou que pelo menos ainda não está num estado avançado de desenvolvimento), pelo que ainda existe espaço para criar soluções inovadoras.

Este trabalho incluiu a elaboração de um texto para submissão de uma patente devido ao carácter inovador das soluções encontradas. Esse texto foi elaborado e, após consulta do escritório de advogados Miguel Neiva & Associados, chegou-se à conclusão que o sistema de aproveitamento da energia das ondas deve também ser patenteado. Assim sendo, nesta dissertação, o trabalho foi além dos objetivos definidos, tendo sido elaborados dois textos para submissão de patente, um relativo ao sistema híbrido de conversão da energia oceânica (*TRI POWER UP*) e o outro relativo ao sistema de cremalheiras e rodas dentadas para aproveitamento da energia das ondas.

Relativamente à estimativa da energia elétrica que pode ser gerada, constata-se que o número de casas que pode alimentar é um pouco baixo. Tal deve-se, por um lado, ao facto de as turbinas instaladas serem de eixo vertical (e, portanto, com menor eficiência) mas também devido ao facto de se ter optado por um sistema com uma escala compatível com um custo de fabrico e manutenção razoável. Potências superiores são possíveis, escalando o sistema para dimensões típicas de estruturas offshore tipo *Windfloat*. Neste caso, seria possível obter potências da ordem dos MWatts, à semelhança das torres eólicas atuais.

Face aos pressupostos iniciais e ao caderno de encargos definido, foi possível atingir todos os objetivos propostos. A saber:

- Sistema flutuante;
- Sistema aditivo (energia somada mecanicamente);
- 1 único veio vertical;
- Possibilidade de utilizar turbinas de eixo vertical ou horizontal;
- Sistema independente das marés e correntes;
- Rebocável;
- Facilidade de manutenção em estaleiro;
- Sistema patenteável.

Chegando ao fim desta dissertação, existem algumas etapas que penso que devem ser feitas num futuro próximo, nomeadamente a construção de um protótipo. Com a sua construção, será possível estimar com maior precisão a quantidade de energia que pode ser gerada. Além disso, é uma boa forma de preparar o sistema para condições de funcionamento, já que o sistema pode ser testado (e melhorado) em situações similares às que se podem encontrar nos oceanos. Para validar os resultados destes ensaios, considero importante seguir a seguinte metodologia:

- Escolha de um local onde se prevê existirem as condições mais favoráveis para o sistema;
- Levantamento exaustivo dos fatores que mais podem influenciar a quantidade de energia que o sistema pode gerar, particularmente velocidade do vento, velocidade das correntes marítimas e altura e período das ondas. A correta caracterização da sua variação ao longo do tempo é igualmente extremamente importante;
- Adaptação destas condições às dimensões do protótipo.

Simultaneamente, é também importante avaliar os esforços a que o sistema estará sujeito. Os diferentes componentes do sistema devem evoluir de forma iterativa e contínua, para que o sistema possa ser otimizado. Este processo deverá passar sobretudo pela forma e dimensão das pás das turbinas (turbinas essas que devem ser turbinas de eixo horizontal), pelo seu posicionamento no veio comum e pelas dimensões do sistema de cremalheiras e rodas dentadas para aproveitamento da energia das ondas. Ainda relativamente às características das turbinas, deve ser considerada a possibilidade de regular eletronicamente o ângulo de ataque das pás (*pitch*). Assim, é possível controlar a força de sustentação com que as pás são solicitadas, otimizando assim a velocidade de rotação das turbinas.

O sistema de aproveitamento da energia das ondas merece particular atenção, já que, na estimativa feita nesta dissertação, é o que gera uma maior quantidade de energia. O trabalho deve ser conduzido no sentido de encontrar a frequência de vibração das boias que mais se aproxima da frequência das ondas, que ocorre com maior regularidade, para maximizar o aproveitamento desta fonte de energia. Este processo de otimização da frequência natural de vibração das boias pode ter também um sistema de controlo próprio, não só para determinar os esforços a que a estrutura está sujeita, mas também para, através de tanques de lastro, se poder aproximar da frequência das ondas. As boias, ao terem lastro variável, podem funcionar de forma mais eficiente ao longo de uma gama mais alargada de frequência das ondas.

Ao fazer este trabalho de otimização, considero também importante fazer um estudo dos materiais mais adequados para esta aplicação, já que os materiais influenciam bastante os cálculos estruturais. Por fim, considero também importante a elaboração de desenhos técnicos dos diferentes elementos que necessitam ser fabricados, para melhor se compreender os custos que o sistema *TRI POWER UP* requer.

Uma vez que, numa situação futura, os painéis solares podem ser utilizados para alimentar o sistema de controlo de todo o dispositivo, (e como irá necessariamente ter de possuir baterias para armazenamento dessa mesma energia gerada), a massa submersa pode ser constituída internamente por essas mesmas baterias. Adicionalmente, o movimento oscilante desta massa submersa pode ser também aproveitado para gerar energia devido à sua inércia. Nessa situação, a energia gerada teria origem no sol, ondas, vento, correntes e na inércia do próprio sistema global.

Referências

- 4COffshore. *4COffshore*. 28 de setembro de 2016.
[http://www.4coffshore.com/windfarms/windfloat-1-prototype-\(wf1\)-portugal-pt01.html](http://www.4coffshore.com/windfarms/windfloat-1-prototype-(wf1)-portugal-pt01.html) (acedido em 12 de outubro de 2016).
- APREN. *energias renováveis/o que são?* s.d. <http://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/o-que-sao/> (acedido em 30 de setembro de 2016).
- AquaRET. *AquaRET-E-learning Tool*. Programme Report, EU Leonardo da Vinci Programme, 2012.
- Astariz, S., e G. Iglesias. “The economics of wave energy: A review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45, 2015: 397-408.
- AWS Ocean. *Teamwork Technology*. s.d.
<http://www.teamwork.nl/en/portfolio/project/archimedes-wave-swing> (acedido em 8 de outubro de 2016).
- Baptista, Ana. “EDP conclui instalação da primeira eólica em alto mar.” *dinheiro vivo*, 2011.
- Basteck, Andreas, e Martin Tilscher. Hydrodynamic drive train for energy converters that use ocean currents. Deutschland Patente PCT/EP05/12777. 1 de maio de 2008.
- Bilic, Josip. Device using multiple renewable energy sources. Bosnia Herzegovina Patente PCT/BA2012/000008. 23 de outubro de 2012.
- Black, Angus. A combined floating renewable energy platform with new designs for wind and water energy recovery. United Kingdom Patente 1311704.9. 31 de dezembro de 2014.
- Bureau of Ocean Energy Management. *Bureau of Ocean Energy Management*. s.d.
<http://www.boem.gov/Ocean-Current-Energy/> (acedido em 13 de outubro de 2016).
- Burden, Tom. *How To Anchor Securely/West Marine*. s.d.
<http://www.westmarine.com/WestAdvisor/How-To-Anchor-Securely> (acedido em 18 de novembro de 2016).
- Carrion, Ronald Melecio Espejo. *células fotovoltaicas/SlideShare*. 26 de abril de 2011.
<http://pt.slideshare.net/ronald97/celulas-fotovoltaicas-7739122> (acedido em 24 de outubro de 2016).
- Castro, Rui M.G. *Energias Renováveis e Produção Descentralizada- Introdução à energia eólica*. Relatório técnico, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2005.
- Christensen, Henrik Frans. Wind and wave energy plant. Denmark Patente PCT/DK01/00222. 3 de agosto de 2003.
- Coelho, Paulo M. *Tabelas de Termodinâmica*. Porto: FEUPedições, 2011.
- Collard, David. Floating power plant comprising water turbine and wind turbine. Great Britain Patente PCT/GB2010/051624. 28 de setembro de 2010.
- Corbetta, Giorgio, Ariola Mbistrova, e Andrew Ho. *Wind in Power-2015 European statistics*. relatório anual, EWEA, 2016.

- Cordonnier, J., F. Gorintin, A. De Cagny, A. H. Clément, e A. Babarit. “SEAREV: Case study of the development of a wave energy converter.” *Renewable Energy* 80 2015.
- Cordonnier, Joseph, Félix Gorintin, A. de Cagny, e A. Babarit. *ResearchGate*. Agosto de 2015. https://www.researchgate.net/figure/272753476_fig3_Fig-4-Schematic-arrangement-of-a-hydraulic-PTO-solution-for-the-SEAREV-G1 (acedido em 8 de outubro de 2016).
- Danko, Pete. *National Geographic-The Great Energy Challenge*. 4 de junho de 2014. <http://energyblog.nationalgeographic.com/2014/06/04/ocean-current-energy-getting-a-test-site-in-florida/> (acedido em 13 de outubro de 2016).
- de Andres, A., R. Guanche, C. Vidal, e I. J. Losada. “Adaptability of a generic wave energy converter to different climate conditions.” *Renewable Energy* 78 2015: 322-333.
- energias-renovaveis/energia-eolica/energiasalternativas.webnode*. s.d. <http://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-eolica/> (acedido em 30 de setembro de 2016).
- European Patent Office. *classification/worldwide.espacenet*. 3 de novembro de 2016. https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP (acedido em 4 de dezembro de 2016).
- Fadaeenejad, Mohsen, R. Shamsipour, S. D. Rokni, e Chandima Gomes. *ResearchGate*. Janeiro de 2013. https://www.researchgate.net/figure/257652135_fig8_Fig-9-Archimedes-Wave-Swing-AWS (acedido em 9 de outubro de 2016).
- Gomes, Abílio Soares. *Ondas Marinhas*. Relatório técnico, Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2003.
- Governo de Portugal. *National Ocean Strategy - 2013-2020*. Relatório estratégico, Governo de Portugal, 2013.
- Han, Lei. Device with twin-chamber structure for conversion of wave energy of oscillating water. Singapura Patente US 9,222,456 B2. 29 de dezembro de 2015.
- Ho, Andrew, Ariola Mbistrova, e Giorgio Corbetta. *The European offshore wind industry-key trends and statistics*. relatório anual, EWEA, 2016.
- instituto nacional de propriedade industrial. *marcasepatentes*. s.d. <http://www.marcasepatentes.pt/index.php?section=87> (acedido em 4 de dezembro de 2016).
- IPMA. *IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera*. 3 de janeiro de 2017. <https://www.ipma.pt/pt/maritima/currents/index.jsp?area=zona1> (acedido em 3 de janeiro de 2017).
- Jones, Jack A. Power generation systems and methods. United States Patente 13/560,436. 21 de janeiro de 2013.
- Jyoty Solar Power. *faq/jyotysolarpower*. s.d. <http://www.jyotysolarpower.com/faq.php> (acedido em 24 de outubro de 2016).
- Kasanen, Erkki. “AW-Energy-Positive experiences of the Waveroller in Portugal and France.” *WavEC Conference 2015*. Lisboa: Waveroller, 2015. 1-28.

- Korey. *Solar Panels Ideas*. s.d. <http://www.thinksolar-us.com/solar-power-work/#more-25> (acedido em 24 de outubro de 2016).
- Lamon, Geraldo. *geraldolamon.blogspot*. 1 de fevereiro de 2013. http://geraldolamon.blogspot.pt/2013_02_01_archive.html (acedido em 2 de janeiro de 2017).
- Leviton, Dave. *Yale Environment 360*. 28 de abril de 2014. http://e360.yale.edu/slideshow/why_wave_power_has_lagged_far_behind_as_energy_source/304/2/ (acedido em 8 de outubro de 2016).
- Lindberg, Jorma. Wind, wave, and current power stations with different foundation solution and methods how to manufacture, transport, install and operate these power stations. Finland Patente PCT/FI2005/000289. 17 de junho de 2015.
- Manwell, J. F., J. G. McGowan, e A. L. Rogers. *Wind energy explained: theory, design and application*. West Sussex: Wiley, 2009.
- Martins, F. R., R. A. Guarnieiri, e E. B. Pereira. *O aproveitamento da energia eólica*. Relatório técnico, São José dos Campos, SP, Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- McMilan, Damon, Troy Arbuckle, e Matt Stowell. *Seacharger*. 26 de dezembro de 2013. <http://www.seacharger.com/> (acedido em 21 de novembro de 2016).
- Menezes, Ana Elísa da Silva. “Aproveitamento eólico para uma vila de pescadores.” Projeto de Graduação, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- Messaoudene, Mohammed. Générateurs d'électricité hbrides basant sur l'énergie du vent et des vagues du mer. Algérie Patente PCT/DZ2014/000004. 6 de outubro de 2014.
- National Geographic. *solar power profile/global warming/environment/environment.national geographic*. s.d. <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/solar-power-profile/> (acedido em 24 de outubro de 2016).
- Packard, Stephen John, e Malcom Van der Burgh. Wave energy converter. Great Britain Patente PCT/GB2011/001705. 9 de dezembro de 2011.
- Paiva, Bianca. *Brasil inaugura primeira usina solar flutuante do mundo em lago de hidrelétrica*. 5 de Março de 2016. <http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2016-03/brasil-inaugura-primeira-usina-solar-flutuante-do-mundo-em-lago> (acedido em 25 de outubro de 2016).
- Pavlov, Elan Y. Power transfer and generation using pressurized fluids. United States Patente 14/177,779. 4 de setembro de 2014.
- Pereira, Fernando Carlos Santos. Joint system for conversion of eolic, solar, sea waves and maritime current energies. Portugal Patente PCT/PT2007/000028. 3 de julho de 2007.
- Pitre, John, e Stuart Huang. System and method for generating electricity using grid of wind and water energy capture devices. United States Patente 15/078,586. 17 de novembro de 2016.

- Portal Energia. *PortalEnergia-Como funciona um aerogerador*. 14 de abril de 2016.
<http://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador/> (acedido em 15 de outubro de 2016).
- Portal Energia. *PortalEnergia-energias renováveis*. 12 de setembro de 2015.
<http://www.portal-energia.com/fontes-de-energia/> (acedido em 10 de outubro de 2016).
- Qu, Yanming. Oscillating piston-type wave power generation method and system. China Patente PCT/CN2012/082749. 24 de setembro de 2015.
- Renewable Energy. *Energy Digital*. 30 de janeiro de 2013.
<http://energydigital.com/renewableenergy/3209/Offshore-Wind-Power-to-Grow-Tenfold-by-2020-UK-Leads> (acedido em 12 de outubro de 2016).
- Reventós, Alex, et al. *Offshore renewable energy current status-Future perspectives for Portugal*. Editado por Augusto Barata da Rocha, António Sarmento, Tiago Morais, 2014.
- Rodrigues, Álvaro. *Energia eólica*. Relatório técnico, Porto: FEUP, 2016.
- Scharmann, Nik, e Benjamin Hagemann. Regenerative offshore energy plant. Deutschland Patente 13/671,604. 16 de maio de 2013.
- Shiban, Samir S. Wind resistance wave generator. United States Patente 13/917,213. 25 de agosto de 2015.
- Silva, Pedro, Tiago Barbosa, e Miguel Paes. *Energia das ondas*. 2009/2010.
<https://sites.google.com/site/energiadasondas/Energia-das-Ondas-em-Portugal> (acedido em 8 de outubro de 2008).
- Sirseth, Thorbjom. Energy system. Norway Patente PCT/NO2010/000012. 12 de janeiro de 2010.
- Slocum, Alexander H., Gregory E. Fennell, e Alison S. Greenlee. Offshore energy harvesting, storage, and power generation systems. United States Patente 13/039,364. 3 de março de 2011.
- SolarCity. *how-does-solar-power-work/residential/solarcity*. s.d.
<http://www.solarcity.com/residential/how-does-solar-power-work> (acedido em 24 de outubro de 2016).
- Sydow, Tyra Von. *Investigating the impact of wave energy in the electric power system-A case study of southern Sweden*. Tese de Mestrado, Göteborg: Chalmers University of Technology, 2014.
- Teixeira, Carlos, et al. "Glossary." *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 2007.
- TETHYS. *TETHYS*. 17 de junho de 2014. <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/surge-waveroller> (acedido em 8 de outubro de 2016).
- Thorsen, Kjeld. A water based modular plant. Sweden/Denmark Patente PCT/SE2014/050686. 6 de junho de 2014.
- Valério, Duarte, Pedro Beirão, e José Sá da Costa. "Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing." *Ocean Engineering* 34 (2007): 2330-2344.

Villate, José Luis, e Ana Brito e Melo. *Ocean Energy Systems-Annual Report*. Relatório anual, Lisboa: The Executive Committee of Ocean Energy Systems, 2015.

Waters, Rafael. *Energy from Ocean Waves-Full Scale Experimental Verification of a Wave Energy Converter*. Tese de Doutoramento, UPPSALA: UPPSALA UNIVERSITET, 2008.

WavEC-Offshore renewables. *OWC Pico Power Plant*. 2006. <http://www.pico-owc.net/> (acedido em 8 de outubro de 2016).

Wikipédia. 27 de março de 2013. https://pt.wikipedia.org/wiki/Turbina_Wells (acedido em 8 de outubro de 2016).

Wille, Hein, e Sophie Boureau. Offshore combined ower generation system. Switzerland Patente 14/097,632. 3 de abril de 2014.

windguru. *windguru*. 3 de janeiro de 2017. <https://www.windguru.cz/48940> (acedido em 3 de janeiro de 2017).

WWEA-World Wind Energy Association. *wwindea*. 10 de fevereiro de 2016. <http://www.wwindea.org/the-world-sets-new-wind-installations-record-637-gw-new-capacity-in-2015/> (acedido em 11 de outubro de 2016).

Anexos

Anexos

Anexo 1

Proposta de texto para submissão de patente

DISPOSITIVO HÍBRIDO DE CONVERSÃO DA ENERGIA OCEÂNICA

Patent No.:

Int. Cl.

F03B

F03D

Requerente: Barata da Rocha, Augusto

Inventores: Barata da Rocha, Augusto; Gomes de Almeida, Fernando; Macieira, Miguel; Torres Marques, António

Resumo

Um dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica produz energia elétrica a partir das ondas, vento e/ou correntes.

Cada dispositivo está preparado para ser instalado na costa, perto da costa ou longe da costa (*offshore*), independentemente da profundidade da água.

O dispositivo instalado na costa está rigidamente ligado a uma estrutura de suporte típica, como um pontão. Já os dispositivos *offshore* e instalados perto da costa são ancorados no fundo do mar através de uma linha de amarração.

No conceito proposto, independentemente do local onde sejam instalados, são capazes de funcionar com qualquer nível de maré, amplitude de onda e velocidade de vento e de corrente marítima. Em qualquer um dos casos, a cinemática de cada um dos sistemas é a mesma.

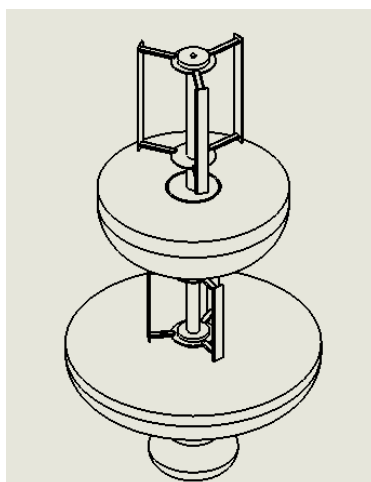
O dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica é constituído por uma turbina eólica, uma turbina de correntes e um mecanismo de conversão do movimento vertical das ondas, responsáveis pela rotação de um único veio.

A energia que é captada por cada uma destas fontes de energia oceânica é transferida para a rotação de um único veio, de uma forma mecanicamente aditiva.

Cada dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica pode trabalhar simultaneamente com as três fontes de energia oceânica ou com qualquer combinação de uma ou de duas fontes.

Este dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica tem também a possibilidade de se separar do sistema de amarração para que possa ser trazido para terra para operações de manutenção ou em situações atmosféricas adversas. Esta característica permite reduzir os custos de manutenção e garante uma maior durabilidade do sistema no oceano.

Num estágio comercial, a produção de energia elétrica pode ser feita através da combinação em rede de vários dispositivos semelhantes.



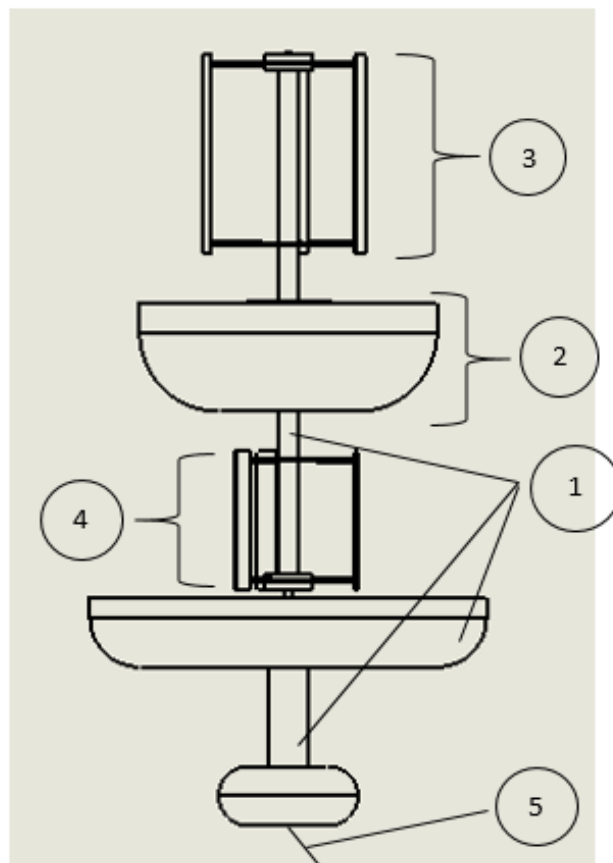


Fig. 1

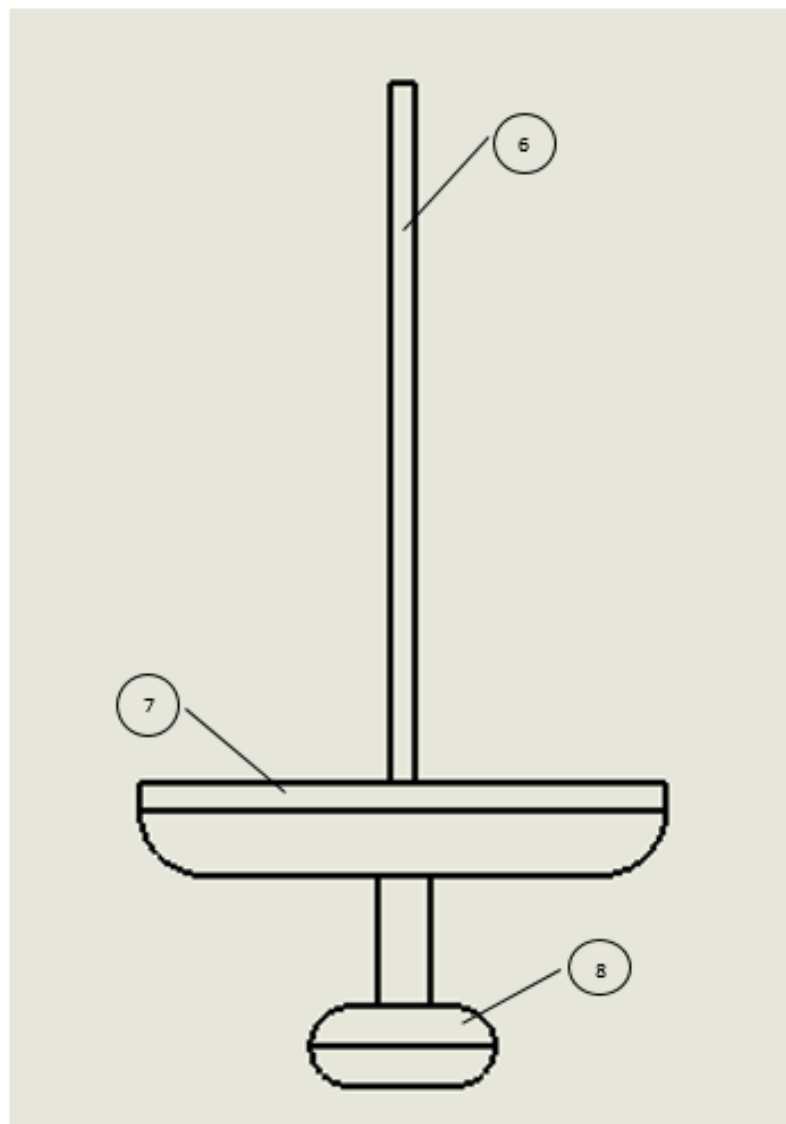


Fig. 2

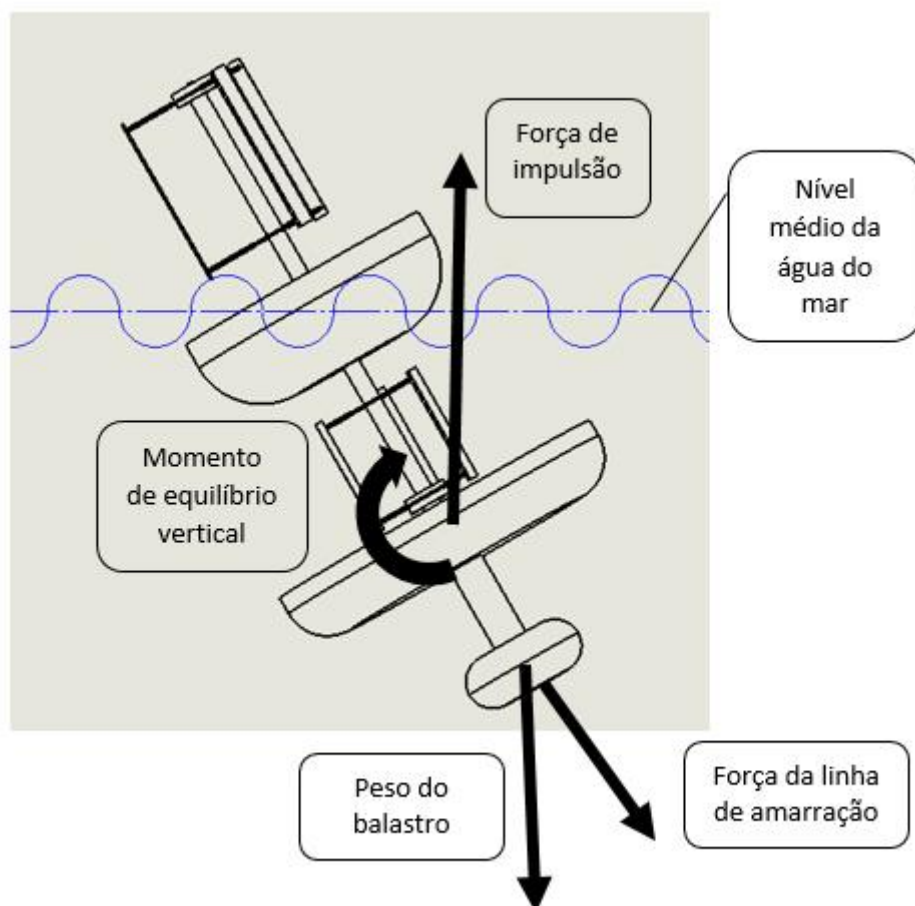


Fig. 3

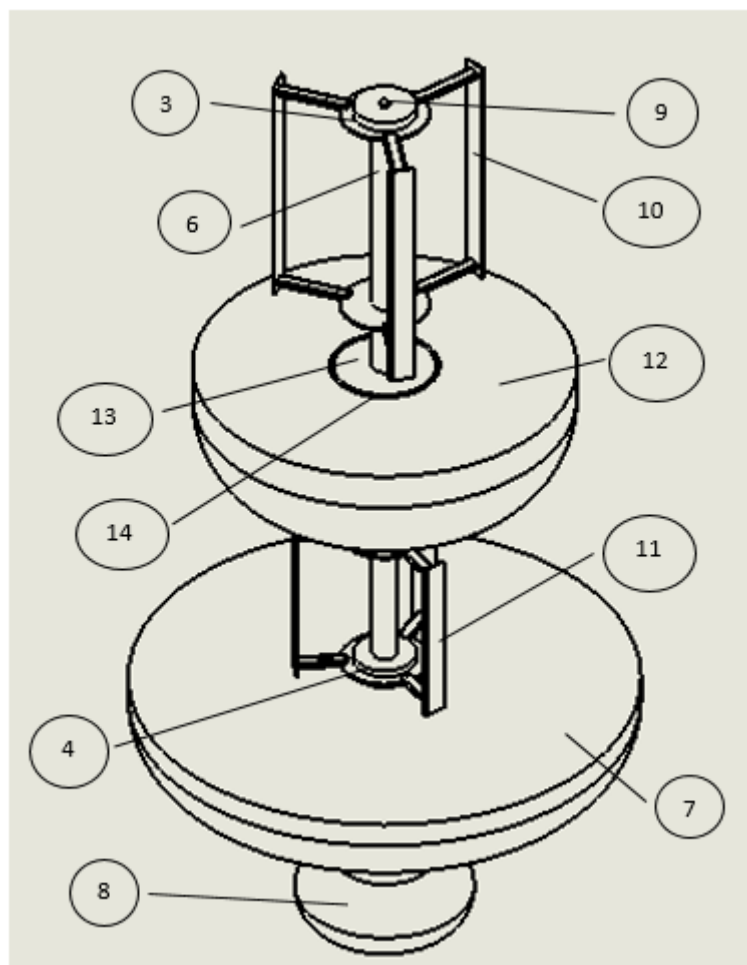


Fig. 4

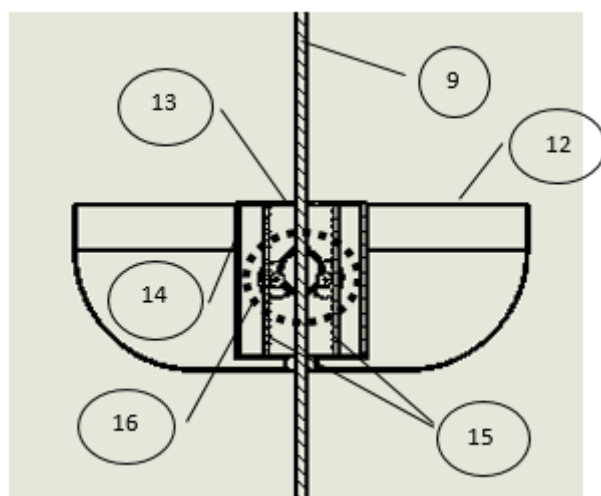


Fig. 5

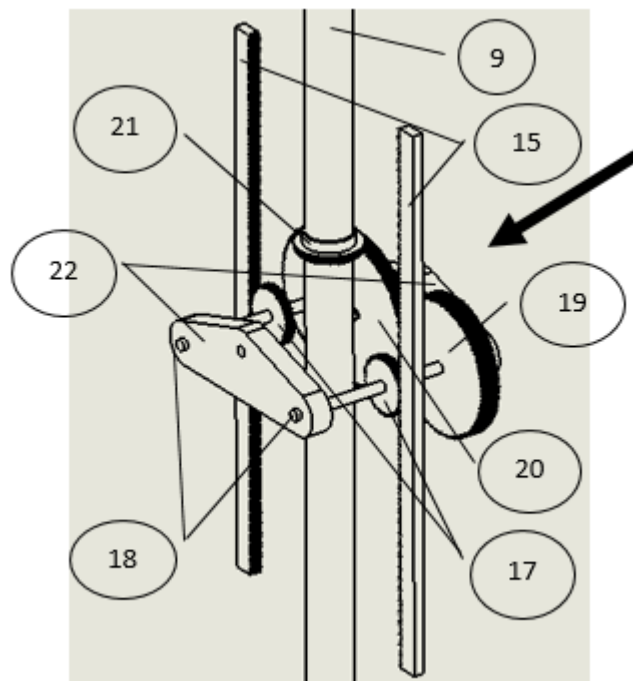


Fig. 6

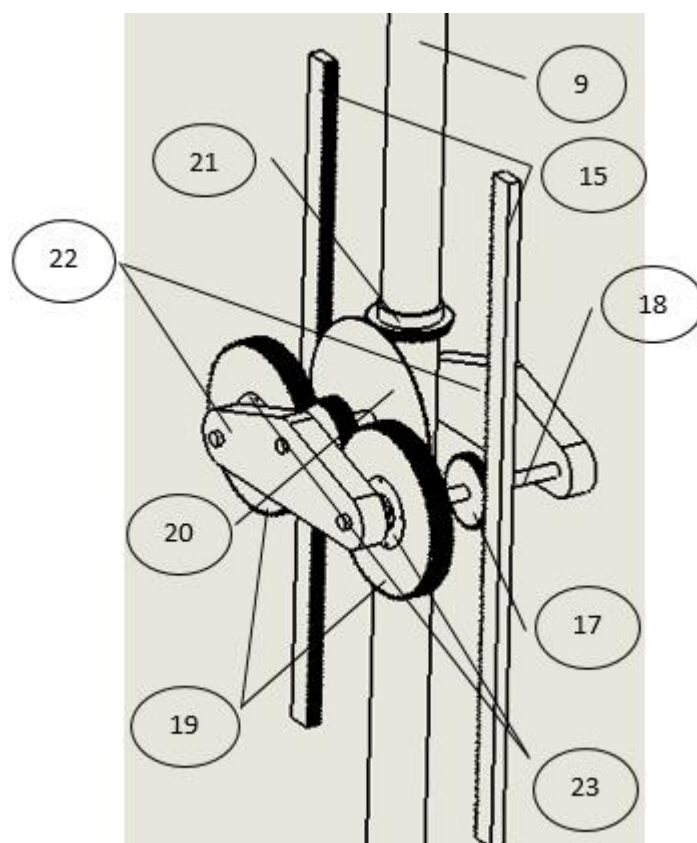


Fig. 7

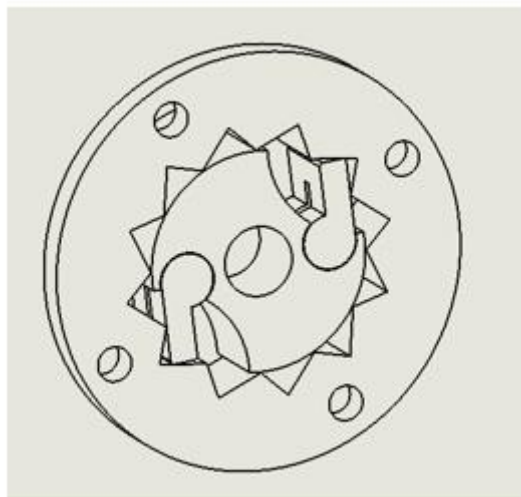


Fig. 8

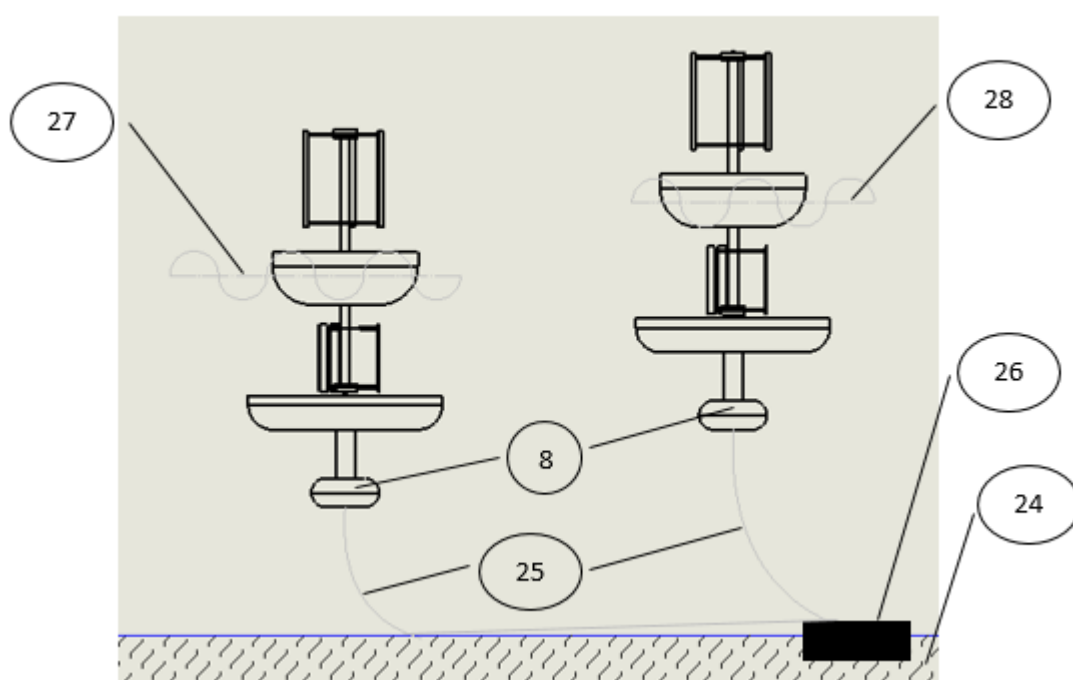


Fig. 9

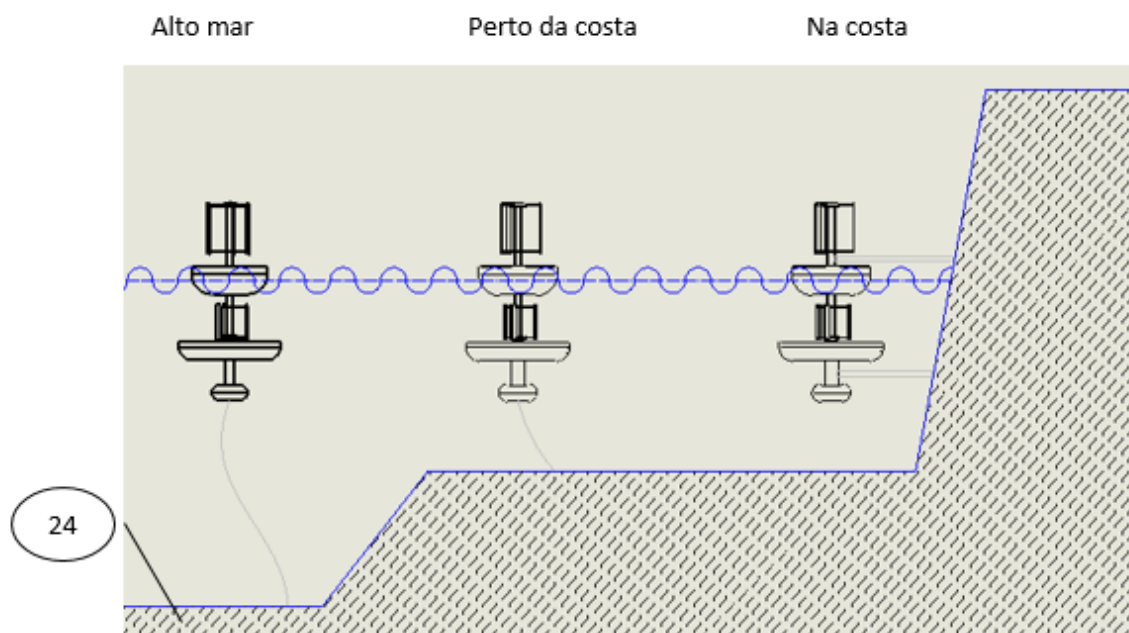


Fig. 10

Técnica anterior

A dinâmica do universo, em conjunto com a incidência solar sobre a superfície terrestre induz alterações contínuas nas águas do planeta Terra.

Verifica-se um movimento contínuo das águas do mar devido à ação do campo gravítico terrestre e do vento na superfície do mar. Assim, o ambiente marítimo tem um grande potencial energético devido à presença de vento, ondas e correntes oceânicas.

Esta invenção é uma solução para a captação de energia do vento, ondas e correntes, através de um dispositivo híbrido, convertendo a energia destas três fontes de energia renovável em energia elétrica.

Analisando as diferentes fontes de energia oceânica, é possível constatar que o vento em alto mar é mais intenso e constante do que o vento em terra, que as ondas oceânicas têm um elevado potencial energético e que as correntes marítimas variam constantemente segundo um padrão cíclico.

No entanto, como estas fontes de energia são intermitentes, esta característica constitui um entrave à produção de energia elétrica, que se pretende que seja feita a um ritmo constante.

Como individualmente estas três fontes de energia apresentam uma grande variabilidade ao longo do tempo, ao combiná-las, pretende-se que a geração de energia seja feita a um ritmo mais uniforme e intenso.

Para dotar o sistema híbrido de conversão da energia do mar desta característica, este foi desenhado para combinar de forma aditiva diversos sistemas de conversão de energia, capazes de gerar energia a partir do vento, ondas e correntes oceânicas. Esta configuração traduz-se numa produção de energia elétrica a um ritmo mais elevado e constante.

Com a solução desenvolvida, o sistema pode trabalhar com qualquer maré e altura de onda (tem um valor máximo para proteger a sua integridade), o que é uma vantagem comparativamente com outros dispositivos que estão diretamente ancorados ao fundo do mar. Além disso, esta solução é mais barata, o que permite que o sistema possa ser instalado numa maior variedade de locais, mesmo com águas de maior profundidade.

Os sistemas *offshore* de grandes dimensões são difíceis de serem trazidos para terra. Assim sendo, têm de estar preparados para condições oceânicas extremas (tempestades), o que se traduz num incremento dos seus custos de produção e manutenção. Ainda assim, nos dias de hoje, os sistemas falham em condições climáticas imprevisíveis e excecionalmente extremas. Este sistema foi projetado para que possa ser facilmente rebocado para terra ou carregado num navio especial. Com esta característica, é possível garantir a integridade do sistema e manter baixos os custos do mesmo.

Revisão bibliográfica

Existem diversos sistemas desenvolvidos e patenteados ao longo dos anos que convertem a energia do vento, ondas e correntes dos oceanos em energia elétrica.

1. Energia eólica *offshore*

Conforme comprovam diversos estudos realizados no passado, o vento *offshore* é geralmente mais forte e constante (em termos de intensidade e direção, respetivamente) do que o vento que se verifica em terra. Isto é extremamente interessante porque existe o potencial de extrair maiores quantidades de energia, quando comparado com os parques eólicos instalados em terra. No entanto, existem algumas dificuldades difíceis de ultrapassar, nomeadamente o ambiente marítimo, que solicita o sistema com cargas intensas e variáveis e a forte corrosão associada a este ambiente, à qual o sistema deve resistir.

Além disso, existem ainda problemas relacionados com o seu posicionamento (ancorado ao fundo do mar, flutuante, etc.). Estes são apenas dois exemplos dos problemas que a instalação de uma turbina em ambiente marítimo tem de enfrentar.

Ainda assim, as turbinas eólicas instaladas nos oceanos estão entre as maiores de todas. A título de exemplo, a Vestas®, tem uma turbina eólica, modelo V-164-8.0 MW, para ser instalado em ambiente marítimo. Esta é uma turbina com uma potência de 8 MW de potência e com um diâmetro de 164m.

À semelhança das turbinas eólicas instaladas em terra, existem também parques eólicos instalados no oceano. O maior deles é o *London Array*, com uma capacidade instalada de 630 MW. O maior parque eólico *offshore* em construção atualmente é o *Global Tech I*, no Mar do Norte.

2. Energia das ondas

Em termos de sistemas de aproveitamento da energia das ondas, existem poucos dispositivos num estágio de exploração comercial. A maioria dos sistemas desenvolvidos estão num estado avançado de I&D (Investigação e Desenvolvimento), protótipo ou num estágio pré-comercial. Alguns dos sistemas mais avançados e representativos são descritos em seguida.

1. O *PowerBuoy* é um sistema essencialmente constituído por 3 grandes componentes: uma boia, uma torre e um prato com uma massa elevada. A boia acompanha o movimento das ondas e transmite o movimento a um sistema mecânico que faz a conversão do movimento de translação em rotação. Para haver movimento de translação, é necessário que a torre tenha uma posição aproximadamente estática, relativamente à boia. Tal é conseguido através de um prato de massa elevada que confere uma elevada inércia ao sistema. O movimento de rotação é por sua vez utilizado para promover a rotação de um gerador elétrico, capaz de gerar energia elétrica.
2. O *Pelamis* é um sistema que utiliza o movimento oscilante das ondas para gerar energia, através de um fluido hidráulico. A passagem das ondas pelo sistema (orientado sempre perpendicularmente em relação à direção de propagação das ondas porque é ancorado apenas num dos extremos, o que permite que o sistema se oriente sempre na direção que lhe é mais favorável), faz oscilar as diferentes secções do sistema. Uma vez que as diferentes secções do *Pelamis* apresentam movimento relativo entre si, este movimento é aproveitado para bombear fluido hidráulico, capaz de mover motores hidráulicos. Estes motores hidráulicos estão por sua vez ligados a geradores elétricos, gerando desta forma energia elétrica.
3. O *Wave Dragon* é um sistema de aproveitamento da energia das ondas que canaliza a água deslocada por uma onda para um reservatório. Com a subida do nível de água no mesmo, esta é forçada a escoar até uma turbina colocada a uma cota mais baixa, provocando a sua rotação. Esta turbina está por sua vez acoplada a um gerador elétrico, gerando desta forma energia elétrica.
4. O *Oyster Wave Energy Converter* é um sistema de aproveitamento da energia das ondas que aproveita o movimento vaivém da água em profundidades reduzidas para bombear um fluido hidráulico, que aciona um motor hidráulico que está acoplado a um gerador elétrico.

5. Energia das correntes

As turbinas de correntes oceânicas baseiam-se no mesmo princípio de funcionamento que as turbinas eólicas: a força de sustentação. A principal característica desta fonte de energia é a grande densidade energética, quando comparada com o vento. Tal verifica-se devido à maior densidade da água, o que significa que se turbinas de dimensões semelhantes foram sujeitas a um escoamento de água e de vento, à mesma velocidade, a energia teoricamente disponível para a turbina de correntes é substancialmente superior.

Ainda assim, a velocidade média das correntes é bastante baixa (normalmente entre 1 e 3 nós) e, portanto, a quantidade de energia disponível não é muito elevada.

Além disso, se as correntes forem muito intensas, é necessária uma construção mais robusta das turbinas, o que aumenta os custos associados à turbina.

Ainda assim, mesmo com todas estes problemas, existem atualmente alguns dispositivos em funcionamento para a produção de energia elétrica a partir das correntes, nomeadamente das marés, quando se verificam as velocidades de correntes mais elevadas.

Exemplos deste tipo de turbinas são o dispositivo *Scotrenewables SR2000*, com 2 turbinas de 1 MW cada e a turbina *DCNS-OpenHydro*, com uma capacidade instalada superior a 500 kW. Com estes e outros exemplos deste tipo de turbinas, existe a vontade de os associar de forma semelhante à forma como é feita a associação de turbinas eólicas em parques eólicos.

Pesquisa patentes

Foram analisadas 19 patentes, e enunciadas os pontos que não colidem com esta.

Nº patente	Código de publicação	Nome	Inventor(es)
1	US2016333858 (A1)	<i>System and method for generating electricity using grid of wind and water energy capture devices</i>	John Pitre; Stuart Huang
2	US2015266549 (A1)	<i>Oscillating Piston-Type Wave Power Generation Method and System</i>	Yanming Qu
3	US9115688 (B1)	<i>Wind Resistance Wave Generator</i>	Samir S. Shiban
4	WO2015086033 (A1)	<i>Hybrid Electricity Generators Using Wind Energy and Wave Energy</i>	Mohammed Messaudene
5	GB2515577 (A)	<i>A combined floating renewable energy platform with new designs for wind and water energy recovery, also supporting solar power</i>	Angus Black
6	WO2014196921 (A1)	<i>A Water Based Modular Power Plant</i>	Kjeld Thorson
7	US2014246792 (A1)	<i>Power Transfer and Generation Using Pressurize Fluids</i>	Elan Y. Pavlov
8	WO2014056049 (A1)	<i>Device Using Multiple Renewable Energy Sources (DUMRES)</i>	Josip Bilic
9	US2014091576 (A1)	<i>Offshore Combined Power Generation System</i>	Hein Willie; Sophie Boreau
10	US2013028729 (A1)	<i>Power Generation Systems and Methods</i>	Jack A. Jones

11	WO2012076851 (A1)	<i>Wave Energy Converter</i>	Stephen Packard; Malcom Van Den Burgh
12	US2011215650 (A1)	<i>Offshore Energy Harvesting, Storage and Power Generation System</i>	Alexander H. Slocum; Gregory E. Fennell; Alison S. Greenlee
13	WO2011039536 (A1)	<i>Floating Power Plant Comprising Water Turbine and Wind Turbine</i>	David Collard
14	WO2010080043 (A2)	<i>Energy System</i>	Thorjom Sirseth
15	WO2009005383 (A1)	<i>Joint System for Conversion of Eolic, Solar, Sea Waves And Maritime Currents Energies</i>	Fernando Carlos Santos Pereira
16	US2008101865 (A1)	<i>Hydrodynamic Drive Train For Energy Converters That Use Ocean Currents</i>	Andreas Basteck; Martin Tilscher
17	WO2006010783 (A1)	<i>Wind, Wave And Current Power Stations With Different Foundations Solutions And Methods How To Manufacture, Transport, Install And Operate These Power Stations</i>	Jorma Lindberg
18	US20030145587 (A1)	<i>Wind And Wave Energy Plant</i>	Henrik Frans Christensen
19	US20130118176 (A1)	<i>Regenerative Offshore Energy Plant</i>	Nik Scharmann; Benjamin Hagemann

Relativamente às patentes analisadas, são referidas em seguida as principais diferenças em relação a esta, estando associado a cada uma um pequeno texto. O número da patente apresentado na tabela acima corresponde ao número do parágrafo apresentado abaixo.

1. O sistema apenas capta energia das ondas e do vento. A combinação da energia gerada é feita eletricamente;
2. Existe apenas captação de energia das ondas, sendo o seu princípio de funcionamento distinto. Neste dispositivo, a boia move-se de acordo com a passagem das ondas para fazer movimentar um pistão. Consequentemente, é movimentado fluido hidráulico para colocar um motor hidráulico em rotação, que por sua vez, está acoplado a um gerador elétrico;
3. Neste sistema existe apenas uma turbina que é movimentada pela ação conjunta da passagem das correntes (marítimas ou não), vento e ondas;
4. Embora este dispositivo capte energia eólica, das correntes e das ondas, a forma como esta última fonte de energia é aproveitada são distintas. A energia das ondas é aproveitada de uma das 3 formas concebidas:
 - a. Por um sistema de molas de torção e com um mecanismo de roda livre que com o movimento de oscilação de uma boia colocam a mola sobre tensão, o que provoca a rotação de um veio. Com a instalação de um mecanismo de roda livre e o movimento alternado de tração/compressão das molas, o movimento de rotação do veio é feito sempre no mesmo sentido;
 - b. Pela pressurização de um fluido hidráulico. Aumentando a pressão de um fluido hidráulico, é possível provocar a rotação de pinhões. Além disso, devido à solução construtiva dos mesmos, os pinhões atuam como amortecedores;
 - c. Por um mecanismo de roldana. Com esta solução, é aproveitado o facto de o sistema ter de ser ancorado para fazer passar o cabo de ancoragem por uma roldana colocada numa boia. Assim, o movimento de oscilação provocado pela passagem das ondas obriga a boia a movimentar-se da mesma forma, o que faz movimentar a roldana, já que os cabos de ancoragem possuem apenas alguma flexibilidade. Com um mecanismo de roda livre, o movimento de rotação alternado da roldana pode ser convertido num movimento de rotação com um só sentido.
5. Este sistema apenas capta a energia das correntes e do vento. Além disso, as turbinas têm uma solução construtiva distinta;
6. Neste sistema, a energia é captada para produzir hidrogénio sendo que apenas indiretamente produz energia elétrica;
7. A turbina (eólica ou de correntes) é usada para bombear um fluido sob pressão, utilizado para movimentar um gerador elétrico;
8. A energia das correntes não é captada e o aproveitamento da energia do vento e das ondas é feita individualmente;
9. Neste sistema não é possível aproveitar a energia das correntes, sendo a energia eólica e das correntes combinada eletricamente;
10. O princípio de funcionamento é baseado em hidráulica. Além disso, é um sistema desenhado para apenas captar energia das correntes e do vento;
11. Nesta solução, é apenas captada a energia das ondas. O princípio de funcionamento do gerador também é distinto porque se trata de um gerador linear;
12. Com este sistema, a forma como a energia das ondas é captada é distinta, porque a água é conduzida para um reservatório para posteriormente passar por uma turbina (princípio de funcionamento semelhante ao das turbinas numa barragem);

13. Nesta solução, a turbina de correntes é movimentada pelas marés. Além disso, não capta a energia das ondas;
14. Neste sistema, o mecanismo de captação da energia das ondas é distinto pois utiliza flutuadores para pressurizar um fluido, apresentando diferentes soluções para o fazer;
15. Este dispositivo, apesar de captar energia das ondas, do vento e das correntes, não utiliza uma solução de um gerador único, optando por dedicar um gerador para aproveitar individualmente cada uma destas fontes de energia;
16. Neste sistema apenas a energia das correntes é captada;
17. Esta patente refere-se essencialmente às fundações dos dispositivos de captação de energia do vento, correntes e ondas, apresentando soluções para aproveitar as 3 fontes de energia num mesmo local;
18. Neste sistema só é captada a energia das ondas e do vento. Além disso, o movimento de oscilação de uma boia é utilizado para fazer movimentar um pistão, fazendo a bombagem de água do mar até um reservatório. A partir desse reservatório, a água faz movimentar uma turbina. Este princípio de funcionamento é o mesmo que faz movimentar as turbinas instaladas em barragens hidroelétricas;
19. Este dispositivo capta apenas a energia do vento e das ondas. Para aproveitar a energia das ondas, é aproveitado o movimento orbital das partículas de água de uma onda para fazer movimentar um rotor.

Sumário

O dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica é constituído por três sistemas distintos de captação de energia.

No topo do dispositivo está colocada uma turbina eólica que, de acordo com o limite de Betz, é capaz de extrair energia cinética do vento e convertê-la em energia cinética de rotação.

No topo inferior do dispositivo, está montada uma turbina de correntes, capaz de converter parte da energia cinética que as correntes oceânicas possuem em energia cinética de rotação, baseado nos mesmos princípios de funcionamento da turbina eólica.

Situado entre as duas turbinas apresentadas acima, ao nível médio da água do mar, ocorre a conversão da variação da energia potencial de uma boia que oscila verticalmente em função da passagem das cristas e das cavas das ondas em torno da boia.

Todos estes três sistemas estão acoplados ao mesmo veio vertical, para garantir que a produção de energia é feita o mais uniformemente possível.

A velocidade de rotação destes três sistemas pode ser diferente, recorrendo a diferentes acoplamentos mecânicos.

O dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica está preparado para trabalhar em três grandes tipos de ambientes marítimos: *offshore*, perto da costa ou na costa. Os componentes principais do sistema são semelhantes em qualquer uma das situações apresentadas.

Breve descrição dos desenhos

A Fig. 1 é uma representação esquemática dos componentes principais do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica.

A Fig. 2 é uma representação esquemática dos componentes que constituem a estrutura principal do sistema híbrido de conversão da energia oceânica.

A Fig. 3 mostra as forças envolvidas na geração do momento vertical, responsável por manter o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica numa posição vertical.

A Fig. 4 é uma vista isométrica do dispositivo.

A Fig. 5 é uma vista em corte do dispositivo de conversão da energia das ondas.

A Fig. 6 é uma vista detalhada do conjunto de engrenagens responsável pela conversão do movimento vertical da boia interna **13** em movimento de rotação do veio vertical **9**.

A Fig. 7 é vista do conjunto de engrenagens **16** indicado na Fig. 6, mas de outra perspetiva. Essa perspetiva está indicada na Fig. 6 por uma seta.

A Fig. 8 é uma vista esquemática do sistema de roda livre.

A Fig. 9 representa os efeitos que as marés provocam no dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica, quando é instalado em alto mar ou perto da costa.

A Fig. 10 é uma representação esquemática do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica quando é instalado em alto mar, perto da costa ou na costa.

Descrição detalhada

Tal como foi descrito na revisão bibliográfica, diversos mecanismos de conversão da energia do vento, ondas e correntes em energia elétrica foram criados.

Em seguida, é apresentada uma solução alternativa para a produção combinada de eletricidade a partir das ondas, ventos e correntes, através de um dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica, capaz de captar a energia das ondas, vento e correntes e convertê-la em energia elétrica, cujas turbinas e sistema de conversão da energia das ondas estão ligados através de um único veio (geralmente vertical), que por sua vez, está ligado a um gerador elétrico.

Existem seis componentes principais que constituem o sistema híbrido de conversão da energia oceânica (Fig. 1).

1. A estrutura principal **1**, que suporta todos os elementos do dispositivo e é responsável por conferir estabilidade mecânica ao sistema;
2. Um sistema de conversão da energia das ondas **2**, capaz de converter o movimento oscilante vertical das ondas em movimento rotativo;
3. Uma turbina eólica **3**, que adquire um movimento de rotação conforme a incidência do vento;
4. Uma turbina de correntes **4**, que tem um movimento de rotação devido à ação das correntes marítimas;
5. Um sistema de roda livre, que permite que o veio que liga todos os diferentes sistemas de captação de energia rode sempre à máxima velocidade possível;
6. Um sistema de amarração **5**, que mantém o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica na sua posição, no oceano.

1. Estrutura principal

Na Fig. 2 estão representados os principais componentes da estrutura principal. A torre **6** suporta a turbina eólica **3**, a turbina de correntes **4**, o sistema de conversão da energia das ondas **2**, a boia submersa **7** e o balastro **8**. Esta configuração é uma sólida base estrutural para montar os diversos sistemas que compõe o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica.

Na Fig. 3 estão representadas as principais forças aplicadas na estrutura principal do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica. A boia submersa **7** tem um grande volume oco, que gera uma força de impulsão, de acordo com o princípio de Arquimedes, empurrando o sistema para cima. Por baixo da boia submersa **7** está montada uma massa de balastro **8**, que impõe uma força vertical aplicada no seu centro de gravidade, no sentido do centro da Terra. A corrente de amarração está montada na parte inferior da massa de balastro **8** e aplica uma força para contrariar o movimento de rotação do sistema. Uma vez que estas forças têm diferentes pontos de aplicação e diferentes intensidades e direções, é gerado um momento de equilíbrio vertical, sempre que o sistema se desvia da sua posição vertical, devido à ação das ondas sobre o mesmo. Este momento tem magnitude, orientação (no sentido direto ou indireto) e direção variável, de acordo com as forças existentes, mas atua sempre no sentido de conduzir o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica a uma posição vertical.

Na Fig. 4 está representada uma vista em 3D do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica com os seus diferentes sistemas já montados nas suas respetivas posições na estrutura principal.

2. Turbina eólica

A turbina eólica **3**, que está posicionada no topo do dispositivo, está ligada ao veio vertical **9**, (Fig. 4), posicionado no interior da torre **6**. A ação do vento nas pás da turbina eólica **10** provoca a rotação da turbina eólica **3** e consequentemente, a rotação do veio vertical **9**. Uma vez que a turbina eólica **3** é uma turbina eólica de eixo vertical, irá rodar, independentemente da direção do vento. Além disso, devido à forma aerodinâmica da pá da turbina eólica **10**, e ao seu posicionamento num padrão circular com a mesma orientação, conforme o vento incida na turbina, independentemente da sua direção, irá provocar a rotação da turbina eólica **3** apenas numa direção.

3. Turbina de correntes

Na parte inferior do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica está montada uma turbina de correntes **4**. À semelhança da turbina eólica **3**, é também uma turbina eólica de eixo vertical. A ação da corrente na superfície da pá da turbina de correntes **11** irá provocar a rotação da turbina de correntes **4**, porque estão montadas num padrão circular com a mesma orientação. Esta turbina está também acoplada ao veio vertical **9**.

4. Sistema de conversão da energia das ondas

Na Fig. 5 estão representados os diferentes componentes que compõe o sistema de conversão da energia das ondas. Este sistema converte o movimento vertical oscilante das ondas em movimento de rotação. No entanto, a passagem das cristas e das cavas das ondas pelo dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica também provoca a inclinação da boia externa **12**, que deve ser permitido, mas não transmitido à boia interna **13**.

Para permitir este grau de liberdade, o sistema de conversão da energia das ondas é composto por 2 boias separadas por uma ligação elástica **14**. Com a passagem das ondas a boia externa **12** acompanha este movimento oscilante.

No entanto, a boia interna **13**, que está montada pelo menos parcialmente dentro da boia externa **12**, apenas tem um movimento vertical linear porque está montada concentricamente com a torre **6**. Com esta montagem, apenas o movimento vertical da boia externa **12** é transmitida à boia interna **13**. O elemento elástico **14** é um acoplamento elástico comum. Este movimento vertical da boia interna **13** é transformado num movimento rotativo através de um sistema pinhão-cremalheira, explicado em detalhe abaixo.

Na Fig. 6, que é uma vista em detalhe do conjunto de engrenagens **16** indicado na Fig. 5, é possível compreender como é feita a conversão do movimento vertical das ondas num movimento que faz rodar o veio vertical **9**. Na boia interna **13** está montado um par de cremalheiras **15**, que com o seu movimento vertical irão provocar a rotação dos pinhões **17**. Através do veio **18** este movimento dos pinhões **17** é transmitido às engrenagens **19** (apenas uma está visível nesta figura). Com uma determinada relação de transmissão, é feita uma multiplicação de velocidade, transmitida a uma roda dentada que está colocada atrás, mas no mesmo veio que a roda dentada cónica **20**. Através desse veio, o movimento desta roda dentada é transmitido à roda dentada cónica **20**, que por sua vez está mecanicamente acoplada ao veio vertical **9** através de um pinhão cónico **21**.

Todas as engrenagens, veios, rolamentos e demais elementos mecânicos são montados nos suportes **22**, rigidamente fixos na torre **6**.

5. Sistema de roda livre

Devido às sempre variáveis condições marítimas, a velocidade de rotação das turbinas **3** e **4** e do pinhão cónico **21** pode ser diferente.

O sistema de roda livre desenvolvido e as diferentes relações de transmissão permitem que as turbinas **3** e **4** e o pinhão cónico **21** tenham velocidades de rotação distintas. Além disso, caso a velocidade de rotação de um dos sistemas seja inferior à dos outros, o sistema de roda livre permite que este sistema não interfira com a velocidade de rotação dos outros sistemas. Com esta solução mecânica de rodas dentadas e sistemas de roda livre, que atuam como embraiagens, o sistema desenvolvido é aditivo, garantindo sempre que o veio vertical **9** roda sempre à máxima velocidade possível.

Os sistemas de roda livre **23** estão instalados no eixo da turbina eólica **3**, no eixo da turbina de correntes **4**, e nas engrenagens **19** do sistema de aproveitamento da energia do mar, permitindo que cada veio rode sempre à máxima velocidade de rotação possível, sem interferir com a velocidade de rotação do veio vertical **9**.

No caso do sistema de aproveitamento da energia do mar, o sistema de roda livre foi instalado nas engrenagens **19**, mas podia ter sido montado nos pinhões **17**. A opção pela montagem nas engrenagens **19** deveu-se ao facto de serem maiores e, portanto, terem maior espaço para montar este sistema.

6. Sistema de amarração

Na Fig. 9 está representado o sistema de amarração do dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica, quando montado em alto mar ou perto da costa. Este dispositivo é fixo ao fundo do mar **24**, através de pelo menos uma corrente de amarração **25**. Uma âncora **26** é instalada no fundo do mar **24**. Este sistema de amarração é simples e, portanto, tem um baixo custo de instalação e manutenção e permite o funcionamento do dispositivo em qualquer maré.

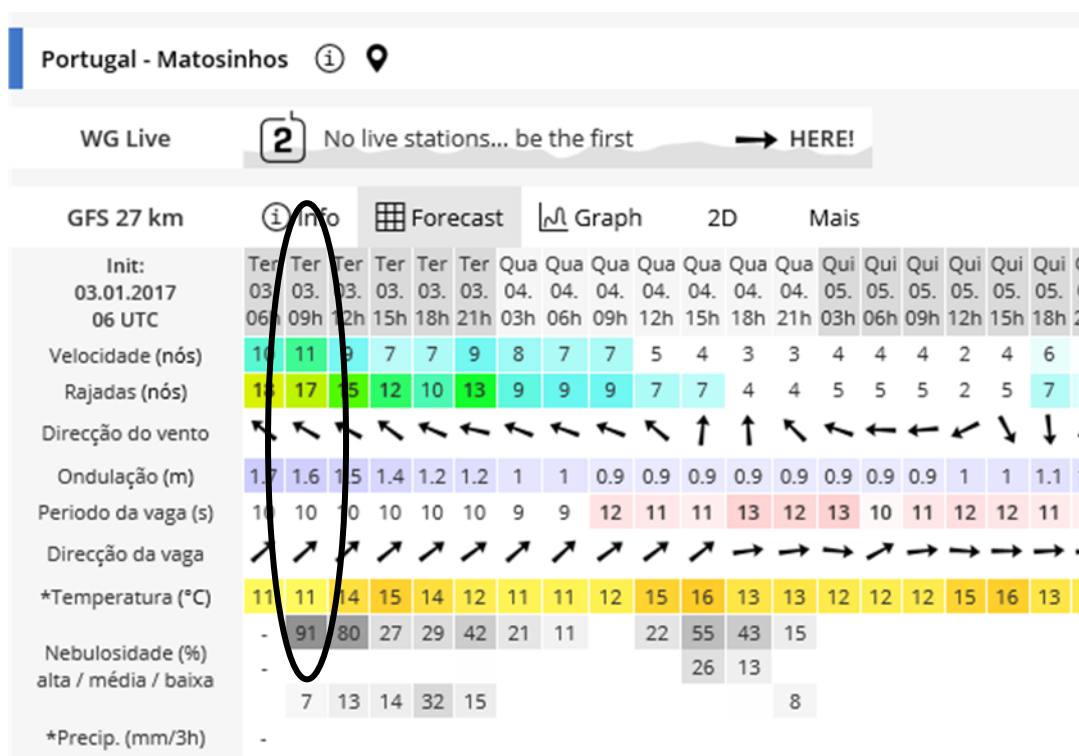
A corrente de amarração **25** jaz no fundo do mar **24**, num comprimento variável, conforme o sistema esteja em maré baixa **27**, maré alta **28** ou qualquer outra altura intermédia de maré.

Na Fig. 10 está representado o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica em 3 condições diferentes de mar: em alto mar (*offshore*), perto da costa e na costa. Nas duas primeiras situações, os sistemas utilizam um sistema de amarração semelhante ao descrito acima. No caso de o dispositivo de aproveitamento da energia das ondas ser instalado em terra, a estrutura principal é rigidamente montada num pontão ou outra estrutura semelhante.

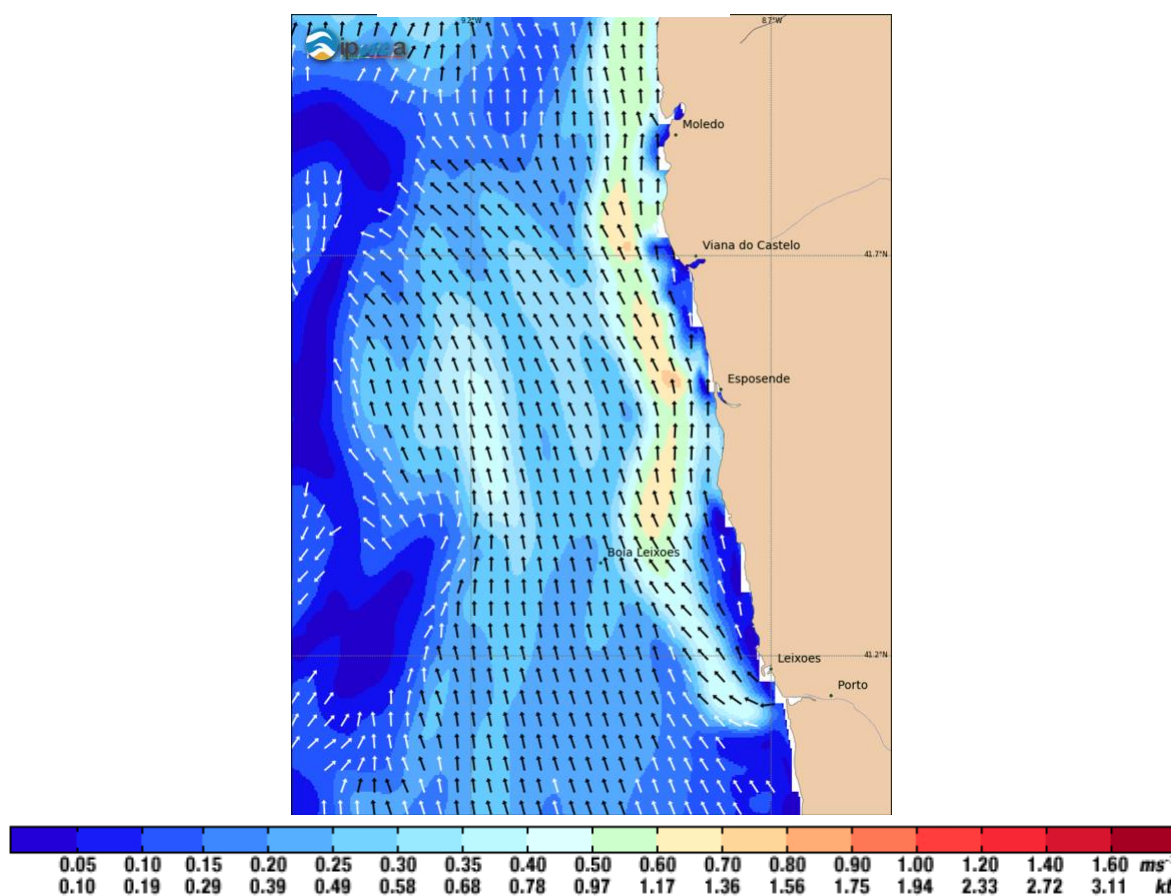
Reivindicações

1. Um dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica capaz de converter a energia das ondas, vento e correntes em energia elétrica, cujos sistemas de conversão das ondas, vento e correntes estão ligados a um único veio, que por sua vez transmite o seu movimento de rotação a um gerador elétrico;
2. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica é uma plataforma flutuante que pode funcionar em alto mar, perto da costa ou na costa;
3. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica pode trabalhar em qualquer maré;
4. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica extrai a energia do vento, correntes e ondas, de uma forma mecanicamente aditiva, convertendo-a em movimento de rotação de um veio vertical;
5. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica é capaz de extrair energia a partir de três fontes diferentes ou de qualquer combinação de um ou dois sistemas de aproveitamento da energia;
6. De acordo com a reivindicação 1, a turbina eólica pode ser uma turbina eólica de eixo vertical ou uma turbina eólica de eixo horizontal;
7. De acordo com a reivindicação 1, a turbina de correntes pode ser uma turbina de correntes de eixo vertical ou uma turbina de correntes de eixo horizontal;
8. De acordo com a reivindicação 1, os sistemas que compõem o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica são blindados e, portanto, podem funcionar de forma isolada do ambiente marítimo;
9. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica pode ser rebocado para terra, separando-o do sistema de amarração;
10. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica é um sistema modular, constituído por um sistema de aproveitamento da energia eólica, por um sistema de aproveitamento da energia das correntes e/ou um sistema de aproveitamento da energia das ondas;
11. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica pode ser baseado em acoplamentos mecânicos, hidráulicos ou elétricos;
12. De acordo com a reivindicação 1, o dispositivo híbrido de conversão da energia oceânica pode ser implementado em rede, formado por diversos dispositivos híbridos de conversão da energia oceânica semelhantes.

Anexo 2



Fonte: (windguru 2017)



Fonte: (IPMA 2017)