



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
CAMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**ANÁLISE E ESTUDO DE CONVERSORES ONDOMOTRIZ
– APLICAÇÃO EM UM ABSORVEDOR PONTUAL**

CARAÚBAS - RN
2015

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**ANÁLISE E ESTUDO DE CONVERSORES ONDOMOTRIZ
– APLICAÇÃO EM UM ABSORVEDOR PONTUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Msc. Rafael Luz Espindola –
UFERSA

CARAÚBAS - RN
2015

© Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Campus Caraúbas (BCC)

Setor de Informação e Referência

A553a Andrade, Pedro Vinícius Fernandes de.

Análise e estudo de conversores ondomotriz – aplicação em um absorvedor pontual/ Pedro Vinícius Fernandes de Andrade -- Caraúbas, 2015.

42f.: il.

Orientador: Prof. Me. Rafael Luz Espindola

Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

1. Energia Mecânica. 2. Energia ondomotriz. 3. Ondas - Mecânica. I. Título.

RN/UFERSA/BCC

CDD: 531

Bibliotecário: Eugênio Pacelli Ferreira da Costa

PEDRO VINÍCIUS FERNANDES DE ANDRADE

**ANÁLISE E ESTUDO DE CONVERSORES ONDOMOTRIZ
– APLICAÇÃO EM UM ABSORVEDOR PONTUAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido –
UFERSA, Campus Caraúbas para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADO EM: 30/01/2015

BANCA EXAMINADORA



Prof. Msc. Rafael Luz Espindola - UFERSA
Presidente



Prof. Msc. Ana Claudia de Melo Caldas Batista - UFERSA
Primeiro Membro



Prof. Msc. Ramsés Otto Cunha Lima - UFERSA
Segundo Membro

A **Maria Elisabete**, minha mãe, que é e sempre será minha principal fonte de incentivo e apoio, fazendo tudo para que eu atinja minhas metas.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Maria Elisabete, que me educou desde o começo da minha formação a ser um aluno exemplar e dedicado.

A minha namorada Yasmin, por me ajudar e motivar durante minha jornada, e tornar meus dias mais alegres, te amo.

A minha família, primos, tios e avós, que sempre estavam dispostos a me ajudar.

A Rafael Espindola, meu orientador, pelo apoio, suporte e disponibilidade, contribuindo para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos Cleyson Gomes, Herbert Herackles, Lucas Bacatela, Rodrigo Nogueira e Junior Miranda, que estiveram me ajudando nessa jornada e principalmente na graduação.

Aos companheiros de estudo durante todos esses anos.

Aos todos os professores da UFERSA, que contribuíram com minha formação através do ensino.

Aos professores de Engenharia Mecânica, que além de ótimos mestres são também amigos valiosos.

RESUMO

O presente trabalho trata de uma revisão da tecnologia atual de conversão da energia ondomotriz, e um estudo e análise de um conversor do tipo absorvedor pontual em ondas de diversos pontos da costa do Rio Grande do Norte. Os conversores de energia ondomotriz (WEC - *Wave Energy Converter*) da atualidade se encontram classificados de duas formas: quanto ao local de instalação e quanto à característica de conversão. Para realizar a análise foi usado um conversor já existente da *Power Buoy*, e essa se resume a calcular a força que a onda provoca no WEC, a energia mecânica total que pode ser convertida pelo WEC, a energia mecânica que a onda carrega, a eficiência desse WEC nas ondas especificadas e a potência mecânica média do WEC. Dessa forma foi analisado como esse WEC se comporta numa costa brasileira, confirmando que o país pode investir nessa tecnologia no futuro.

Palavras-Chaves: Energia ondomotriz, conversor, WEC, energia mecânica, ondas.

ABSTRACT

This work is a review of current conversion technology of waves energy, and a study and analysis of a point absorber converter with waves of various sites of Rio Grande do Norte coast. The wave energy converters (WEC) of today are classified in two ways: as the local of installation and the conversion feature. To perform the analysis has been used an existing converter, the Power Buoy, and this resumes to calculating the force that the wave causes in the WEC, the total mechanical energy that can be converted by the WEC, the mechanical energy that the wave loads, the efficiency of WEC in the specified waves and the average mechanical power of the WEC. Thus was analyzed as this WEC behaves in a Brazilian coast, confirming that the country can supply that technology in the future.

Key Words: *Wave energy, converter, WEC, mechanical energy, waves.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição anual aproximada de potência das ondas (kW/m de frente de onda).	10
Figura 2 – Principais características de uma onda.....	12
Figura 3 – Alteração do raio no movimento das partículas em uma onda profunda.....	13
Figura 4 – Alteração no raio no movimento das partículas em ondas rasas.....	14
Figura 5 – Exemplo de dispositivo costeiro.	16
Figura 6 – Exemplo de dispositivos próximos a costa.	17
Figura 7 – Exemplo de dispositivos afastados da costa.....	17
Figura 8 – Dispositivo Pelamis-750.	19
Figura 9 – Sistema <i>Salter's Duck</i>	20
Figura 10 – Fazenda de Conversores CETO e modulo do dispositivo CETO.	21
Figura 11 – Fazenda de conversores SEAREV e modulo do dispositivo SEAREV.....	21
Figura 12 – Dispositivo PB40 da <i>Power Buoy</i>	22
Figura 13 – Pendulo próximo à costa.	23
Figura 14 – Pendulo na costa (águas rasas).	23
Figura 15 – Modulo do LIMPET.....	25
Figura 16 – Projeto <i>Wave Dragon</i>	26
Figura 17 – Corpo oscilando verticalmente.....	27
Figura 18 – Corpo oscilando angularmente.....	27
Figura 19 – Corpo com comprimento igual ao comprimento de onda e corpo com 3/2 do mesmo.....	28
Figura 20 – Fluxograma da metodologia.....	32
Figura 21 – Gráfico da variação da amplitude com a redução de Δz (Ponto 1).	38
Figura 22 – Gráfico da variação da potência com a redução de Δz (Ponto 1).	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Altura e período de onda em pontos do litoral do RN.....	35
Tabela 2 – Informações adicionais do WEC.	36
Tabela 3 – Resultados para o fator de amortecimento igual a 0.1.....	37
Tabela 4 – Variação da amplitude com a redução do fator de amortecimento (Ponto 1).	38
Tabela 5 – Variação da potência com a redução do fator de amortecimento (Ponto 1).	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. JUSTIFICATIVA	11
1.2. OBJETIVO GERAL	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. ONDAS OCEÂNICAS	12
2.1.1. Classificação das ondas oceânicas	13
a) Ondas Profundas	13
b) Ondas Rasas	14
c) Ondas Intermediárias	14
2.1.2. Ondas de Vento.....	15
2.2. CONVERSORES ONDOMOTRIZ.....	15
2.2.1. Classificação dos Conversores.....	15
2.2.1.1. Local de instalação.....	15
a) Dispositivo Costeiro	16
b) Dispositivos Próximos da Costa	16
c) Dispositivos Afastados da Costa.....	17
2.2.1.2. Característica de Conversão.....	18
a) Atenuador.....	18
b) Absorvedor pontual.....	20
c) Dispositivo de onda oscilante (pêndulo inverso).....	22
d) Dispositivo de coluna de água oscilante (OWC)	24
e) Dispositivos de Galgamento	25
2.3. CONVERSÃO DA ENERGIA ONDOMOTRIZ DE UM ABSORVEDOR PONTUAL	26
2.3.1. Conversão para Energia Mecânica	26
2.3.2. Conversão para Energia Elétrica.....	31
3. METODOLOGIA.....	32
4. RESULTADOS	34
4.1. REVISÃO DOS TIPOS DE CONVERSORES.....	34
4.2. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS ONDAS	34

4.3.	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONVERSOR A SER ANALISADO	36
4.4.	ANÁLISE DO CONVERSOR	37
5.	CONCLUSÕES.....	40
6.	REFERÊNCIAS	41

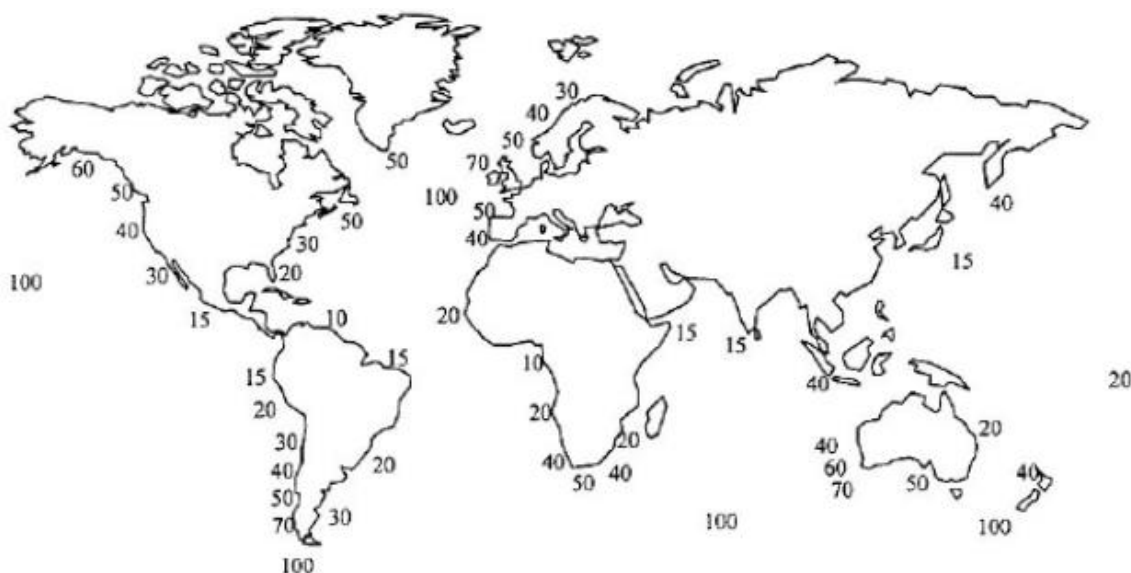
1. INTRODUÇÃO

A matriz elétrica global sempre foi predominantemente focada em combustíveis fósseis. Em 2000, eles ocupavam 86,6% dessa matriz. Em 2013, apesar de uma pequena redução, eles ainda ocupam 86,3% (*BP ENERGY STATISTICAL REVIEW, 2014*).

Devido à crise do petróleo da década de 70 e pelas descobertas dos efeitos nocivos ao ambiente dos produtos da queima de combustíveis fósseis, vêm sendo procuradas novas fontes que supram a vontade do ser humano de obter energia, por outro método que não prejudique o meio em que vive. Assim, a busca por fontes de energia limpas e renováveis se intensificou, tendo as pesquisas avançado em várias áreas, como por exemplo, energia solar, energia eólica, energia da biomassa, energia oceânica, entre outras.

Uma fonte renovável que vem ganhando destaque é a energia das ondas nos oceanos, onde o recurso total disponível segundo Thorpe (2014) é de 2 TW, e segundo a *Wavemill Energy Corp.* (2005) existe de 15 a 20 vezes mais energia disponível por metro quadrado do que solar ou eólica. Pode-se ver na Fig. 1 que existe potencial das ondas em todo os oceanos do globo, e que essas ondas podem ser exploradas para aproveitamento da sua energia.

Figura 1 – Distribuição anual aproximada de potência das ondas (kW/m de frente de onda).



Fonte: THORPE, 1999.

1.1. Justificativa

O Brasil é um país com um litoral gigantesco, em torno de 7300 km de extensão (TESSLER, 2005). Logo, seria interessante utilizar sua costa para fins de geração de energia proveniente de fontes alternativas. Porém, até o momento, só existe uma usina conversora de energia ondomotriz no país, um protótipo para pesquisas da COPPE/UFRJ, localizado no Ceará.

Os principais motivos para o pouco desenvolvimento da energia ondomotriz no país são a falta de investimento e de pesquisa, e também, o fato do litoral brasileiro ter ondas relativamente pequenas, comparadas as da Europa, onde a energia transportada acaba sendo maior. Isso acaba sendo uma das razões pelo qual o investimento é tão baixo, uma vez que os investidores reconhecem que as ondas não vão render uma potência significativa, principalmente quando comparado às energias que possuem pesquisas mais avançadas.

Apesar dessa desvantagem, o Brasil tem um litoral com ondas constantes. Segundo Tessler (2005) as ondas do sul e sudeste tem um período entre 10 e 16 segundos e altura de 1 a 4 metros, enquanto que as do norte e nordeste têm entre 5 e 10 segundos e 1 a 2 metros nas mesmas características. Mesmo sendo relativamente pequenas, as ondas brasileiras são constantes e predominantemente unidirecionais, diferentes das ferozes ondas europeias. Isso pode ser útil devido a um menor custo de manutenção do dispositivo que esteja convertendo a energia, já que haverá diminuição do desgaste. Além disso, por elas serem constantes, podem acabar rendendo potências aproximadas se forem bem aproveitadas.

1.2. Objetivo Geral

O Brasil é um líder mundial em relação a fontes de energias renováveis, mas ainda é muito dependente de hidrelétricas, fonte que causa um dano ambiental irreversível. Claro que um país precisa ter sua energia retirada de várias fontes, então inserir a fonte ondomotriz no país seria uma ajuda para sua matriz energética.

Pesquisas no Brasil sobre conversores ondomotriz são bastante limitadas. Fazer uma revisão dessa tecnologia, estudando o funcionamento dos seus conversores e estimando a potência produzida para uma situação ideal é uma forma de avançar nessas pesquisas. O conhecimento dessa tecnologia irá ajudar a disseminar a ideia de que energias renováveis são o futuro da matriz elétrica global.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é realizada uma breve revisão dos conhecimentos mais relevantes para o entendimento desse trabalho.

2.1. Ondas oceânicas

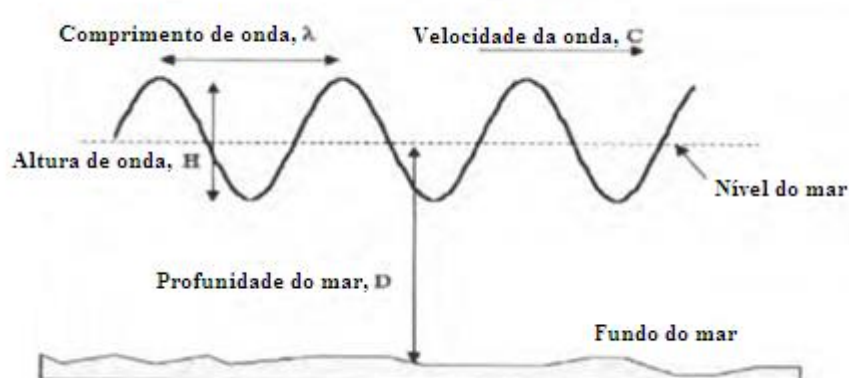
McCormick e Thiruvathukal (1981) afirmam que existem dois tipos de ondas, as ondas gravitacionais e as ondas capilares.

Ondas na superfície do mar tendem a enfraquecer e desaparecer por meio de uma força restauradora. Para ondas com comprimento menor que 1,73 cm a principal força de restauração é a tensão da água, essas são chamadas de ondas capilares. Para ondas com comprimento maior que esse, a força de restauração é a gravidade. Por isso o nome ondas gravitacionais (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

As principais características de uma onda são comprimento de onda (λ), altura da onda (H), período (T) e velocidade com que ela viaja (C) (Fig. 2).

O comprimento da onda pode ser encontrado numa relação simples entre a velocidade e o período, $\lambda = CT$. Já a frequência natural da mesma é o inverso do período, $f = 1/T$.

Figura 2 – Principais características de uma onda.



Fonte: adaptado de: (BROOKE, 2003).

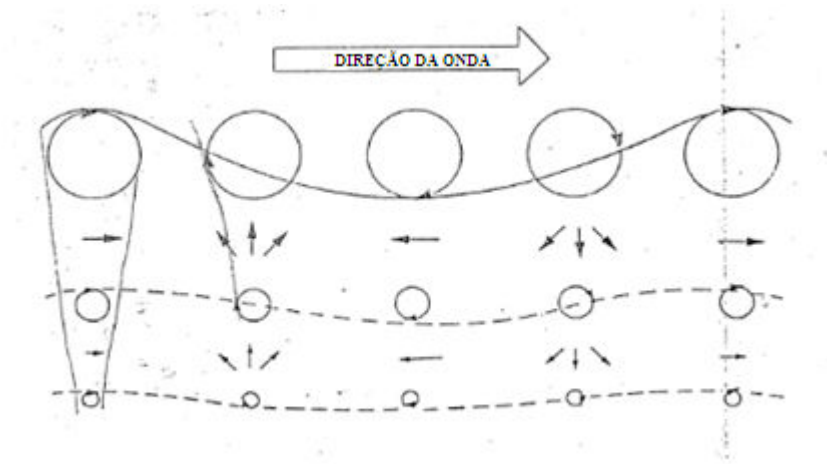
2.1.1. Classificação das ondas oceânicas

A maioria das ondas gravitacionais são geradas pelo vento, porém, elas podem também ser provocadas por terremotos submarinos, erupções vulcânicas nas profundezas, barcos e navios e a atração gravitacional da Lua e do Sol. Essas ondas gravitacionais podem ser subdivididas em três categorias em relação à razão entre a profundidade (D) na qual ela se encontra e seu comprimento (λ), (razão: D/λ): ondas rasas, intermediárias e profundas.

a) Ondas Profundas

Uma onda profunda apresenta como razão entre a profundidade e seu comprimento de onda $D/\lambda \geq 1/2$. As partículas de água associadas a ondas profundas se movem em círculos e esses vão decrescendo seu raio de acordo com o aumento da profundidade, como mostra a Fig. 3.

Figura 3 – Alteração do raio no movimento das partículas em uma onda profunda.



Fonte: adaptado de: (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

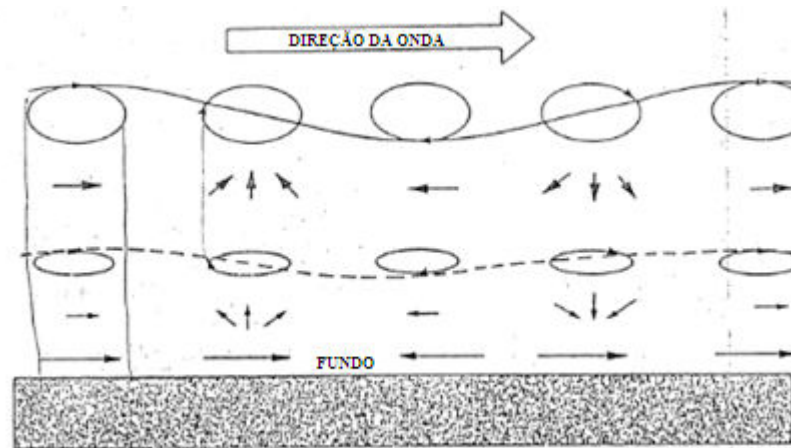
As ondas profundas se deslocam com a velocidade $C = \sqrt{g\lambda/2\pi}$ e $\lambda = CT$. Assim, substituindo o comprimento de onda na expressão de velocidade, têm-se que $C^2 = gCT/2\pi$, logo $C = gT/2\pi$. Portanto a velocidade depende apenas do comprimento da onda. A Eq.1 nos mostra o comprimento de onda em função do período.

$$\lambda = gT^2/2\pi \quad (1)$$

b) Ondas Rasas

Uma onda rasa, por sua vez, tem como razão $D/\lambda \leq 1/25$ (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981). Nas ondas rasas as partículas descrevem um movimento elíptico à medida que a onda passa por elas, acelerando assim as partículas na parte horizontal da elipse. O raio horizontal matem-se constante, até a onda encontrar o fundo do mar, onde as partículas descrevem somente um movimento horizontal, com a mesma intensidade que a velocidade no sentido horizontal da elipse, como mostra a Fig. 4.

Figura 4 – Alteração no raio no movimento das partículas em ondas rasas.



Fonte: adaptado de: (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981).

A velocidade das ondas rasas não depende do comprimento da onda, mas sim da profundidade em que a mesma se encontra, sendo $C = \sqrt{gD}$, onde g é a aceleração da gravidade na terra.

c) Ondas Intermediárias

Qualquer razão D/λ entre esses dois tipos é considerada uma onda intermediária.

Os termos “rasa” e “profunda” não condizem com seu sentido de profundidade, pois, por exemplo, um tsunami de 150km de comprimento, se deslocando em águas com comprimento menor igual a 6 km se comporta como uma onda rasa ($6/150 = 1/25$).

2.1.2. Ondas de Vento

Ondas de vento são ondas geradas pela força de arrasto que o vento causa ao percorrer a superfície do mar. Essas ondas crescem a medida que o vento sopra e costumam desaparecer quando o vento para, porém, se o ele for veloz o suficiente - cerca de 3.7 km/h, (MCCORMICK e THIRUVATHUKAL, 1981) - as ondas de vento irão se tornar mais estáveis e irão formar ondas gravitacionais, as quais irão percorrer grandes distâncias sem depender mais do impulso do vento.

A razão pela qual as ondas se movem em direção à praia é porque quando uma onda profunda chega a um ponto onde seu comprimento é o dobro da profundidade, ela começa a “arrastar” no fundo do mar e desacelerar, enquanto as outras partes da onda continuam a mover-se como se estivessem em águas profundas, então, por esse motivo, as ondas ficam quase paralelas à costa. Essas ondas com pouca velocidade e perdendo força devido ao contato com o fundo do mar carregam menos energia que as ondas mais velozes no alto mar, mas ainda tem um considerável potencial energético.

2.2. Conversores ondomotriz

O princípio da energia ondomotriz é aproveitar a energia cinética ou potencial proveniente nas ondas e, com um conversor adequado, transformá-la em energia elétrica.

2.2.1. Classificação dos Conversores

Existem mais de 1500 patentes registradas de conversores da energia das ondas (WEC) segundo Costa (2004), e eles são classificados de duas formas: em relação ao local de instalação, e em relação à característica de conversão.

2.2.1.1. Local de instalação

Em relação ao local de instalação, segundo Cruz (2004), eles se dividem em costeiros, próximos da costa ou afastados da costa.

a) Dispositivo Costeiro

Os dispositivos costeiros (*onshore* ou *shoreline*, em inglês) são fixos nas orlas, como mostra a Fig. 5, e apresentam vantagens em relação à instalação e à manutenção, pois não exige que trabalhadores passem dias em alto mar para a construção do mesmo. Além disso, o desgaste em relação à erosão marítima é relativamente menor, comparado aos dispositivos mais afastados da costa, que são constantemente erodidos com ventos fortes, ondas maiores e uma concentração de sal desgastante. Porém, por estarem em locais onde a água tem baixa profundidade, terão baixo rendimento, pois as ondas que carregam uma maior quantidade de energia se encontram em alto mar.

Figura 5 – Exemplo de dispositivo costeiro.



Fonte: LAGOUN, 2010.

b) Dispositivos Próximos da Costa

Os dispositivos próximos da costa (*nearshore*), instalados em profundidades de cerca de 20 metros, são situados próximos a molhes e quebra-mares, assim como mostrado na Fig. 6. Estes, por sua vez, já necessitam de gastos adicionais com especialistas. Mesmo que funcionem instalados na distância da orla onde são situados quebra-mares, a erosão é sem dúvida maior que a presente na costa e sua manutenção é dificultada pela distância e o difícil acesso.

Figura 6 – Exemplo de dispositivos próximos a costa.



Fonte: DREW, 2009.

c) Dispositivos Afastados da Costa

Os afastados da costa (*offshore*), como mostra a Fig. 7, exploram ondas potentes e são instalados em locais com 40 a 50 metros de profundidade. Estes são os mais caros entre os 3 tipos, pois a instalação e manutenção do mesmo é difícil. Além disso, as ondas que serão convertidas por esses aparelhos possuem mais energia e o desgaste com o vento e o sal do mar vai fazer o equipamento precisar de um reforço robusto e resistente. Tudo isso aumenta o preço desses dispositivos, tendo como sua única vantagem, trabalhar com ondas que carregam bem mais energia e são bem mais potentes que as ondas que se aproximam da costa.

Figura 7 – Exemplo de dispositivos afastados da costa.



Fonte: adaptado de: (LAGOUN, 2010).

Os conversores que serão categorizados nesse tipo são principalmente os atenuadores e a maioria dos dispositivos de galgamento.

2.2.1.2. Característica de Conversão

Já em relação à característica de conversão segundo Lagoun (2010), pode-se ter os seguintes dispositivos: atenuadores, absorvedores pontuais, pêndulo inverso, dispositivo de coluna oscilante e dispositivos de galgamento. Ainda sobre característica de conversão, Rodrigues (2005) apresenta alguns outros tipos, como os dispositivos *Satler's Duck System* e *Power Buoy*, que também podem ser classificados por Lagoun por semelhança de características.

Na teoria, todas as subdivisões do Lagoun (2010) podem ser encaixadas nas três divisões de Cruz (2004) descritas no tópico anterior, sendo alguns absorvedores pontuais, a maioria dos pêndulos inversos e quase todos os dispositivos de coluna oscilante, considerados dispositivos costeiros, pois todos eles se encontram em baixa profundidade, por exemplo.

a) Atenuador

Um atenuador é um dispositivo que flutua sobre as ondas e que trabalha paralelo à direção delas. Movimentos ao longo do seu comprimento podem ser selecionados e convertidos em energia. (LAGOUN, 2010).

O projeto Pelamis, em Portugal, é um exemplo atual em funcionamento desse tipo de conversor, e é a primeira estação de energia ondomotriz do mundo. Ele é um grande dispositivo em formato de cobra com vários cilindros articulados entre si, conforme mostra a Fig. 8. Esses cilindros tem um diâmetro de 3,5 metros e são feitos de 700 toneladas de aço-carbono. O movimento nas articulações entre os cilindros faz com que os êmbolos presentes sejam comprimidos e tracionados. Estes êmbolos irão pressurizar um fluido que irá passar por um motor hidráulico presente em um dos cilindros. O motor está acoplado a um gerador que produzirá a eletricidade. O dispositivo Pelamis-750 tem uma potência implantada de 750 kW e uma produção total anual de $2,2 \times 10^6 kWh$. Isso dá um fator α igual a 0,34. Esse fator de

conversão diz a porcentagem de energia aproveitada pelo dispositivo durante a conversão. A média dos fatores de conversão de outros dispositivos é de 0,25. Fazendo com que o projeto da Pelamis saísse do papel e fosse levado a prática (RODRIGUES, 2005).

Figura 8 – Dispositivo Pelamis-750.



Fonte: LAGOUN, 2010.

Outro sistema do tipo atenuador é o *Salter's Duck System*. Inventado nos anos 70 pelo professor Stephen Salter da Universidade de Edinburgh, na Escócia, esse sistema consiste em estruturas com a ponta afinada, apresentando a forma de um bico de pato, apontadas para a direção do movimento das ondas (Fig. 9). O movimento das ondas movimenta as estruturas para que haja a conversão de energia, porém, como a oscilação é muito lenta, a conversão torna-se difícil e inaproveitável, mesmo com o aparelho funcionando a 80 km de distância da costa, onde temos ondas com grande amplitude. Os dispositivos sendo testados não aproveitam boa parte da energia contida nas ondas, fazendo com que uma produção de um protótipo em grande escala seja cara e improvável.

Figura 9 – Sistema *Salter's Duck*.



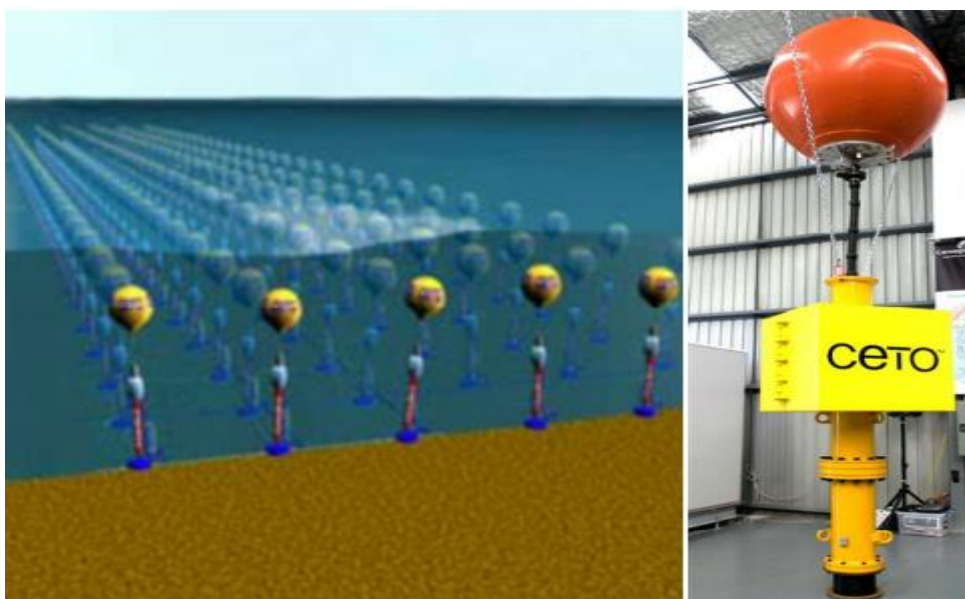
Fonte: RODRIGUES, 2005.

b) Absorvedor pontual

Também chamados de boias, são dispositivos pequenos quando comparados aos demais conversores. Eles apresentam geralmente formato cilíndrico, o que pode variar de acordo com o fabricante e são ancorados ao fundo do mar. Se estiverem em alta profundidade são ancorados por meio de cabos condutores. Em baixa profundidade eles são muitas vezes fixos. Apresentam um movimento oscilatório de subida e descida, e captam energia de todas as direções por terem diâmetro consideravelmente menor que o comprimento de onda que passará por eles. Os dois principais projetos desse tipo de conversor são o CETO e o SEAREV.

O CETO, Fig. 10, é um pequeno dispositivo esférico flutuante submerso, sendo movimentado pela diferença de pressão que a passagem da onda causa. Quando a crista está acima do dispositivo, a pressão é alta e faz o dispositivo ser empurrado para baixo, já quando o vale está acima do dispositivo, a pressão em cima é menor fazendo com que ele suba.

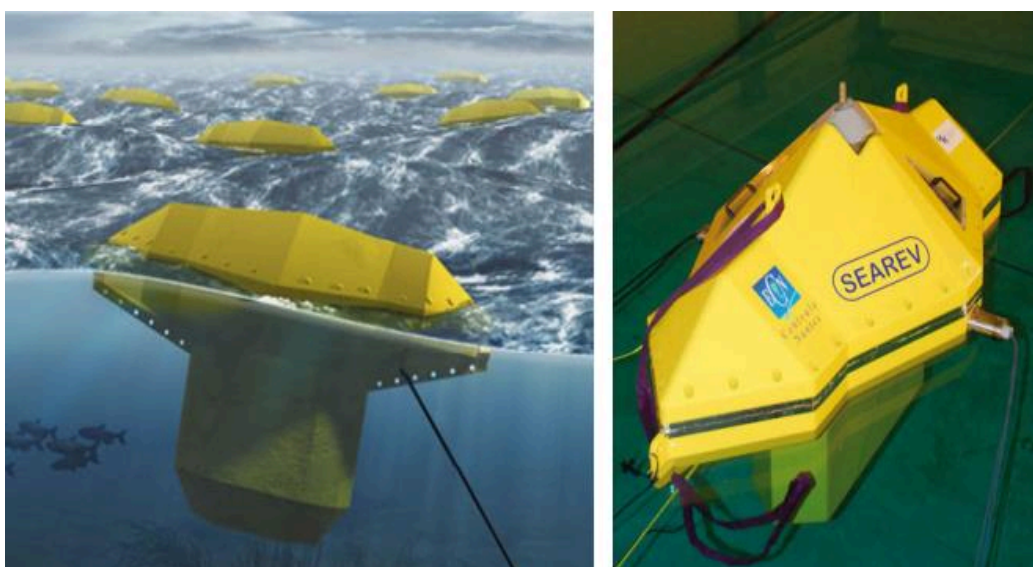
Figura 10 – Fazenda de Conversores CETO e modulo do dispositivo CETO.



Fonte: LAGOUN, 2010.

Já o SEAREV possui módulos flutuantes na superfície do mar, Fig. 11, que irão oscilar a medida que a onda passa por ele, realizando a conversão de energia.

Figura 11 – Fazenda de conversores SEAREV e modulo do dispositivo SEAREV.



Fonte: LAGOUN, 2010

Outro absorvedor pontual é o *Power Buoy*. Nesse projeto são usadas enormes estruturas, geralmente em grandes profundidades, atuando como boias (Fig. 12). As ondas se movimentam entre essas estruturas e fazem com que os dispositivos se movam pra cima e para baixo, gerando assim energia mecânica, que pode ser transformada em energia elétrica e enviada para a costa por meio de cabos de transmissão no fundo do mar. As boias têm geralmente 40 kW de potência, com diâmetros de 4 m e um comprimento de 16 m, devem ser instaladas a aproximadamente 8 km da costa, em profundidades de 40 a 60 m.

Figura 12 – Dispositivo PB40 da *Power Buoy*.



Fonte: *OCEAN POWER TECHNOLOGIES*, 2014.

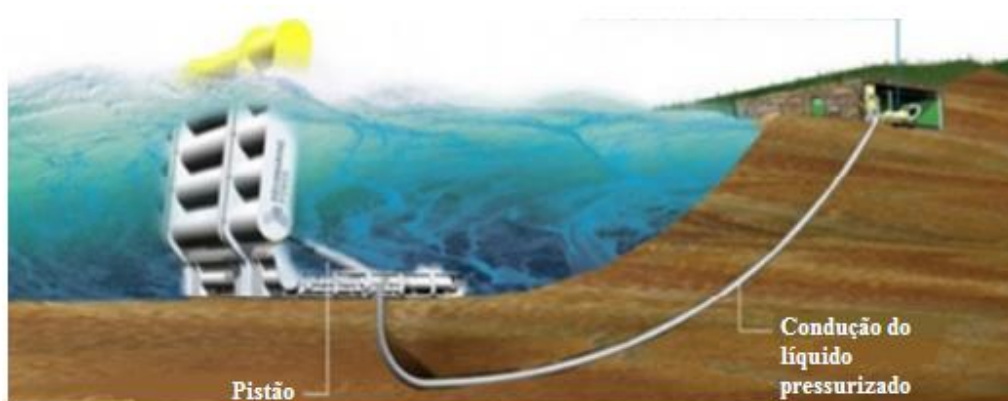
Existem inúmeras vantagens e desvantagens, na utilização do conversor submerso ou na superfície. Estar submerso pode impedir em parte uma corrosão acentuada, mas exigirá um maior cuidado com a elevação da pressão com a profundidade, e ainda têm-se uma dificuldade na manutenção. Já na superfície temos uma maior facilidade de manutenção, mas pode prejudicar visualmente a paisagem do local (RODRIGUES, 2005).

c) Dispositivo de onda oscilante (pêndulo inverso)

O pêndulo pode funcionar na costa, onde as ondas irão empurrar um pêndulo transversalmente fazendo com que este mova um êmbolo hidráulico para produzir energia através de turbinas. E também próximo à costa, aonde ele irá pressionar um embolo hidráulico de acordo com a diferença de pressão que ondas causam no fundo do mar sempre fazendo um

movimento angular que irá propulsionar a conversão de energia. O princípio é mostrado na Fig. 13.

Figura 13 – Pendulo próximo à costa.



Fonte: adaptado de: (LAGOUN, 2010).

Rodrigues (2005) faz alusão a um tipo de pêndulo semelhante ao explicado, o *Wave Roller* (Rolador de ondas), como mostra a Fig. 14. A diferença é que ele deve ser implantado a uma distância menor que a do dispositivo apresentado por Lagoun (2010) e possui uma estrutura bem menor. As placas usadas como pêndulo nesse dispositivo geralmente têm uma potência de 15kW e algumas fazendas já foram implantadas na Finlândia.

Figura 14 – Pendulo na costa (águas rasas).



Fonte: RODRIGUES, 2005.

O princípio de usar o pêndulo como barreira para as ondas é para extrair tanto as oscilações como o movimento das partículas, em forma de energia, das ondas que esbarram transversalmente no dispositivo. (LAGOUN, 2010).

O dispositivo WEC, Fig. 13, da empresa OYSTER é um exemplo de pêndulo que é posicionado próximo à costa, em uma profundidade de aproximadamente 10 metros. É uma grande aba que será empurrada pelas ondas e esse movimento irá empurrar um êmbolo que pressurizará um líquido em uma turbina, essa turbina por sua vez irá gerar energia elétrica.

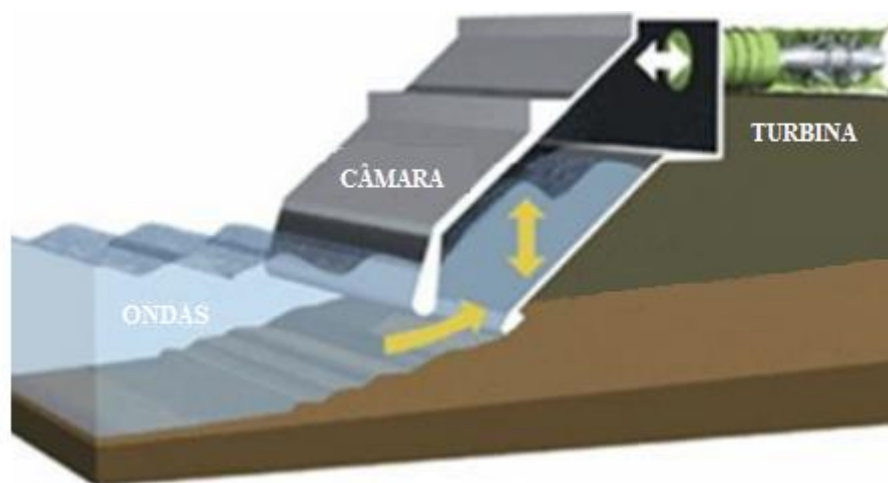
d) Dispositivo de coluna de água oscilante (OWC)

O OWC é um aparelho parcialmente submerso, onde existe uma abertura para que a coluna de água seja empurrada pelas ondas. Quando essa coluna sobe, o ar dentro da câmara é forçado a sair por uma abertura na parte superior, onde está instalada uma turbina. Esse ar pressurizado é ejetado da câmara, fazendo a turbina girar e produzir energia mecânica. Quando a coluna de água baixa após a passagem da onda, a diferença de pressão existente irá fazer com que o ar que foi expulso volte para a câmara e possa ser utilizado pela turbina novamente para extração de energia.

Apesar do princípio desse dispositivo funcionar também longe da costa, a maioria dos projetos que utilizam essa ideia, incluindo os já operacionais, preferem a costa, onde a conversão pode ser realizada sem os problemas e dificuldades do alto mar. No entanto, a instalação na costa causa um impacto ambiental de grande proporção, já que será preciso instalar uma fundação em uma rocha na orla. A poluição visual e sonora que este dispositivo provoca também é um problema considerável, principalmente quando instalado na costa, onde pode prejudicar a paisagem da região.

Um exemplo de dispositivo desse tipo em alto mar é o OCEANLINX, instalado na Austrália. Já na costa, tem-se como exemplos os projetos LIMPET (Land Installed Marine Power Energy Transmitter - Transformador de Energia Marinha Instalado em Terra-Firme) no Reino Unido (Figura 5 e Figura 15), e o PICO em Portugal, que obteve uma produção anual de 1 MWh em testes realizados (LAGOUN, 2010).

Figura 15 – Modulo do LIMPET.



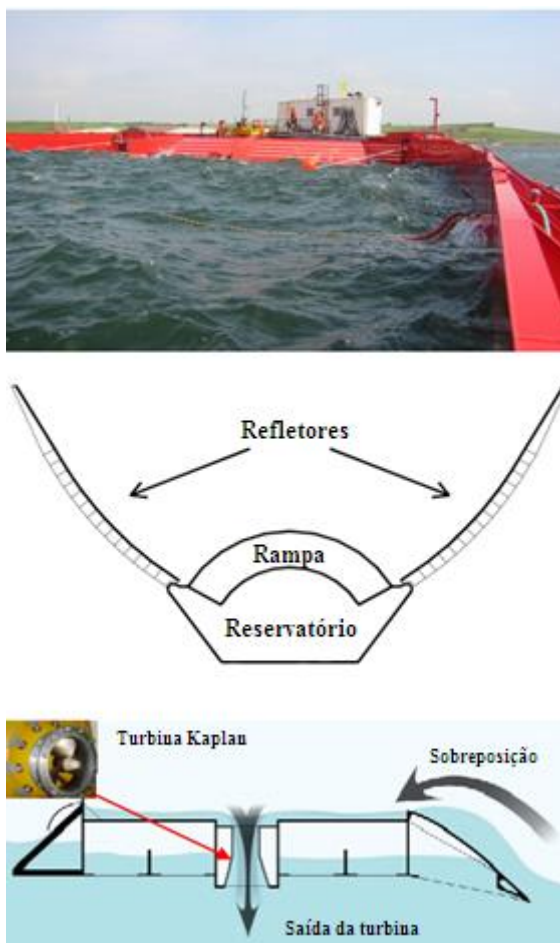
Fonte: adaptado de: (LAGOUN, 2010).

e) Dispositivos de Galgamento

Esse dispositivo usa o princípio de acumular água quando as ondas se encontrarem com sua borda, fazendo com que certa quantidade de água se acumule em um reservatório. Quando quantidade suficiente de água é acumulada, é liberada a vazão dessa água de volta para o oceano. A água escoar pela ação da gravidade e passa por turbinas. Assim como numa hidrelétrica, a energia potencial da água acumulada será transformada em energia mecânica pelas turbinas. A borda com angulação para acúmulo de água deve estar sempre direcionada de encontro ao do movimento das ondas.

O projeto WAVE DRAGON foi implantado no Reino Unido, e é um exemplo deste dispositivo (Figura 16).

Figura 16 – Projeto Wave Dragon.



Fonte: adaptado de: (LAGOUN, 2010).

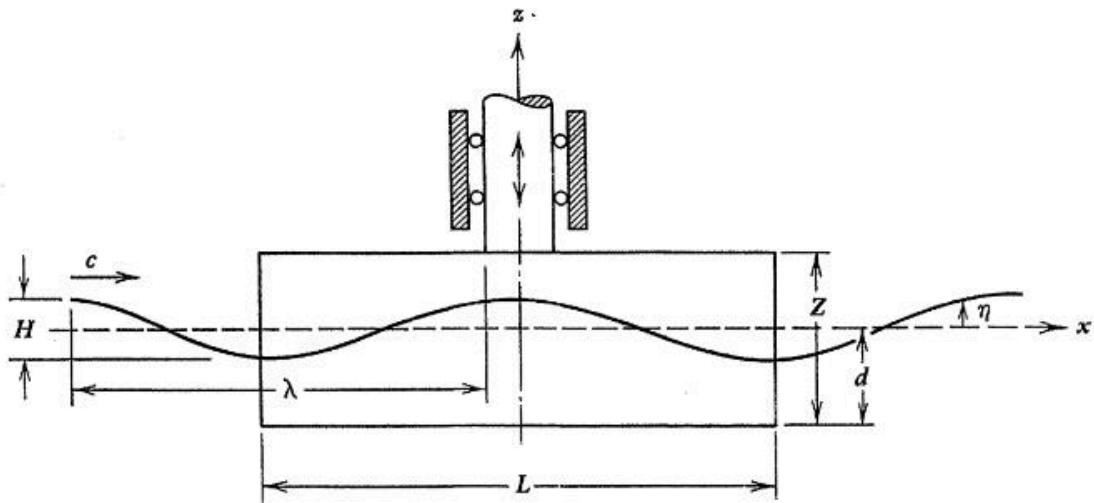
2.3. Conversão da Energia Ondomotriz de um Absorvedor Pontual

As equações e formulas foram descritas e configuradas por McCormick (2013).

2.3.1. Conversão para Energia Mecânica

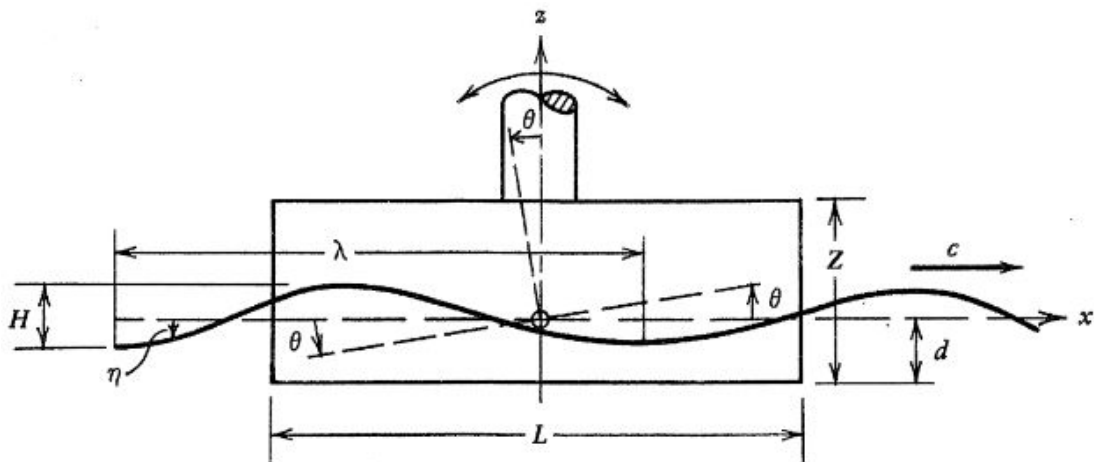
Uma onda que passa por um corpo de comprimento L pode fazer ele oscilar verticalmente junto com a onda se o comprimento dela for igual ao do corpo, ou balançar angularmente se o comprimento da onda for maior ou menor que o do corpo como é mostrado nas Figs. 17 e 18.

Figura 17 – Corpo oscilando verticalmente.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

Figura 18 – Corpo oscilando angularmente.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

Como derivado por McCormick (1973), Bhattacharyya (1978), e outros, a frequência natural de oscilação vertical de um corpo flutuante é:

$$f_z = \frac{1}{T_z} = \frac{\omega_z}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho g A_{wp}}{m + m_w}} \quad (2)$$

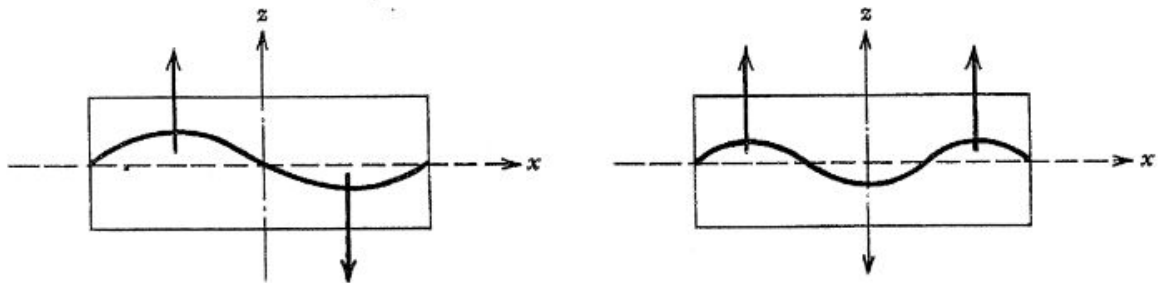
onde T_z é período natural de oscilação vertical, ω_z é frequência natural de oscilação vertical, ρ é a massa específica da água do mar (1030 kg/m^3), A_{wp} é a área planar do flutuador, m é a massa do sistema de flutuação e m_w é a massa adicional, isto é, a massa de água excitada pelo movimento de oscilação vertical.

Para que um corpo oscile verticalmente é necessário que o comprimento do mesmo seja no mínimo a metade do comprimento de onda, onde N pode ser 1, 3, 5, ...:

$$L = \frac{N\lambda}{2} \quad (3)$$

Caso o corpo tenha o mesmo comprimento que o comprimento de onda teremos forças induzidas pela onda que se anulam. Já num corpo com $3/2$ do comprimento de onda, uma força resultante será produzida pelas forças induzidas pela onda (Fig. 19), fazendo com que o corpo oscile.

Figura 19 – Corpo com comprimento igual ao comprimento de onda e corpo com $3/2$ do mesmo.



Fonte: MCCORMICK, 2013.

A massa adicional que é excitada pelo movimento de oscilação vertical pode ser encontrada a partir da Eq. 4:

$$m_w = \frac{\rho D^3}{6} \quad (4)$$

onde D é o diâmetro de um flutuador cilíndrico.

De acordo com McCormick (2013), a posição de um corpo durante a oscilação pode ser determinada por:

$$z = \frac{\left(\frac{F_0}{\rho g A_{wp}}\right) \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z)}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_z^2}\right) + \left(\frac{2\Delta_z \omega}{\omega_z}\right)^2}} = Z_0 \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (5)$$

onde F_0 é a amplitude da força da onda, Z_0 é a amplitude do movimento e é uma simplificação de todo o termo que multiplica o cosseno presente na equação, ω é a frequência circular da onda, t é o tempo em segundos, γ é o ângulo de Fase que depende dos componentes da força da onda, e σ é o ângulo de fase que depende do sistema de amortecimento Δ_z , este último encontrado a partir de gráficos.

A partir da Eq. (5) pode-se achar a velocidade e a aceleração do corpo flutuante, respectivamente Eq. 6 e Eq. 7:

$$v_z = \frac{dz}{dt} = -\omega Z_0 \sin(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (6)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = -\omega^2 Z_0 \cos(\omega t + \gamma - \sigma_z) = -\omega^2 z \quad (7)$$

Determinadas as Eq. 5 e 6, podem ser obtidas a expressão da energia cinética (Eq. 8):

$$E_{CZ} = \frac{1}{2} (m + m_w) \left(\frac{dz}{dt}\right)^2 = \frac{1}{2} (m + m_w) \omega^2 Z_0^2 \sin^2(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (8)$$

E a energia potencial (Eq.9):

$$E_{PZ} = \frac{1}{2} \rho g A_{wp} z^2 = \frac{1}{2} \rho g A_{wp} Z_0^2 \cos^2(\omega t + \gamma - \sigma_z) \quad (9)$$

Assim, a energia total do sistema flutuante é dada pela Eq. 10:

$$E_Z = E_{CZ} + E_{PZ} = \frac{1}{2}[(m + m_w)\omega^2 + \rho g A_{wp}]Z_0^2 \quad (10)$$

Essa equação nos dá a energia total dos sistema para um corpo flutuando em águas marinhas, o que pode ser muito bem tratado como o sistema de um conversor de energia ondomotriz flutuante.

Já a energia total presente, em uma onda de altura H e comprimento de crista B, que se iguala ao diametro do conversor, é representada pela Eq 11:

$$E = \frac{\rho g H^2 \lambda B}{8} \quad (11)$$

A força induzida pela onda em um corpo oscilando pode ser calculada através da Eq. 12.

$$F_{ZR} = \frac{\rho g H \pi R^2}{4} \left(1 - \frac{\pi^2 R^2}{2 \lambda^2}\right) \left(e^{-\frac{2 \pi d}{\lambda}} + 1\right) \cos(\omega t) \quad (12)$$

A expressão pra força na Eq. 12 pode ser simplificada pela Eq. 13:

$$F_z = F_0 \cos(\omega t) \quad (13)$$

onde F_0 é a força de amplitude.

A potência mecânica de um corpo flutuante (Eq. 14) é o produto da força induzida pela onda em um corpo cilindrico (Eq. 12) e a velocidade de oscilação vertical (Eq. 6).

$$P_z = F_z \frac{dz}{dt} \quad (14)$$

A potencia média desse corpo ao longo do período de uma onda é dada pela Eq. 15:

$$\hat{P}_Z = \frac{F_0 \omega Z_0}{2} \quad (15)$$

A eficiência do corpo oscilante (Eq. 16) pode ser encontrada pela razão entre a energia mecânica que o corpo aproveita (Eq. 10) e a energia que a onda carrega (Eq. 11).

$$\epsilon_z = \frac{E_z}{E} \quad (16)$$

2.3.2. Conversão para Energia Elétrica.

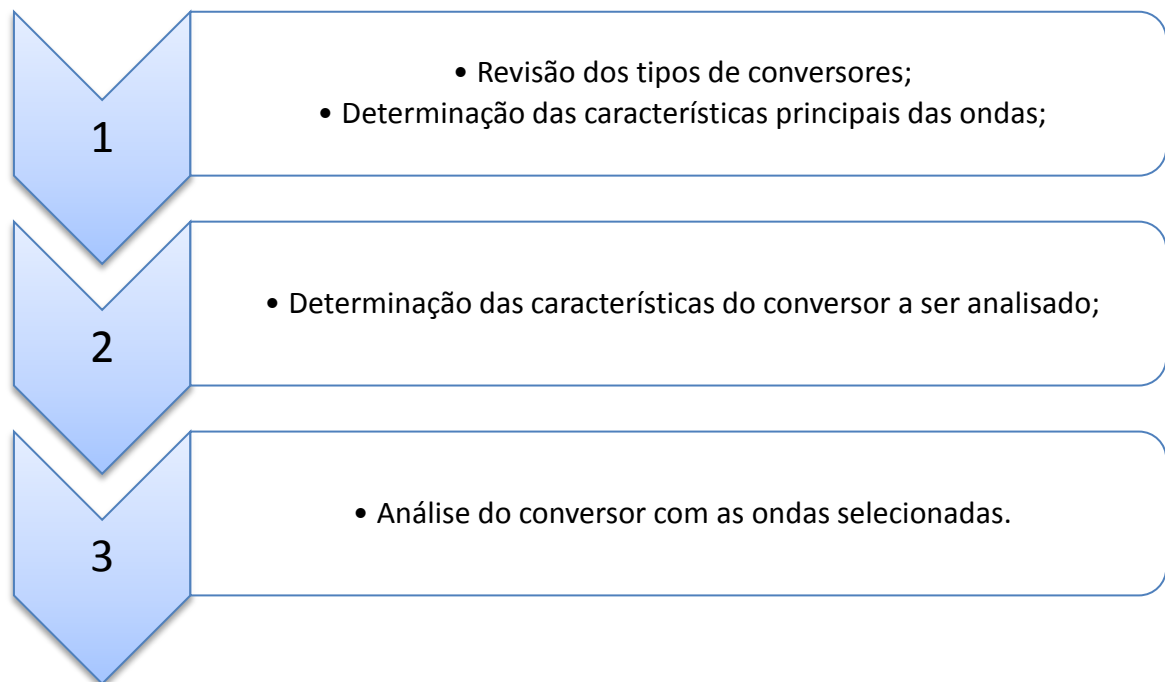
De acordo com Drew *et al.* (2009), a conversão de energia das ondas pode ser dada de três formas diferentes, por meio de uma turbina, da forma hidráulica e por meio de geradores elétricos lineares.

Os métodos de capturar energia podem até variar entre os diversos dispositivos, mas, em geral, o método de produzir energia elétrica é por meio de geradores elétricos de rotação. Os conversores do tipo que flutuam palpitando as ondas não são diretamente compatíveis com os geradores de rotação convencionais, por isso a categoria de geradores lineares costuma ser utilizada.

3. METODOLOGIA

A primeira etapa da metodologia é baseada em uma pesquisa bibliográfica e na determinação das características principais das ondas para os locais analisados. A segunda etapa da metodologia é a determinação das características do conversor a ser analisado. Já a terceira e última etapa é a análise dos valores de potência, energia mecânica total transformada e eficiência do conversor. A Fig. 20 indica a sequência de passos realizados durante o trabalho.

Figura 20 – Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor.

Para a análise do conversor serão realizados os seguintes passos:

O primeiro passo, já em posse das características das ondas (comprimento, altura e período), é encontrar a força resultante que a onda aplica num conversor cilíndrico. Considerando o valor dessa força como máximo para retirar a maior oscilação possível, utiliza-se as Eq. 12 e 13 em conjunto para calcular o valor da força de amplitude, F_0 .

O passo seguinte é calcular a amplitude máxima do movimento com a Eq. 5, utilizando o valor da força de amplitude encontrado no passo anterior.

O terceiro passo é utilizar a variável encontrada no passo anterior para calcular a energia total atribuída ao sistema utilizando a Eq. 10.

Em seguida, no quarto passo, a potência média extraída pelo sistema, que também depende da amplitude de movimento, é encontrada pela Eq. 15.

O último passo a ser realizado é utilizar a energia disponível na onda dada pela Eq. 11 e a energia total que pode-se aproveitar com o conversor dada pela Eq. 10 para calcular a eficiência do conversor com a Eq. 16.

4. RESULTADOS

Este trabalho foi desenvolvido com sua primeira etapa sendo uma pesquisa bibliográfica sobre os variados tipos de conversores ondomotriz descritos por diversos autores, e na busca pelas características principais de ondas existentes em quatro pontos distintos. A segunda etapa indica a escolha de um tipo específico dos conversores estudados, com esse conversor foi escolhida a geometria a partir de modelos já em fase de testes. A última etapa foi analisar os valores de potência, energia mecânica total transformada e eficiência do conversor encontrados com cada onda e comparar os valores encontrados uns entre os outros.

4.1. Revisão dos tipos de conversores.

Para fazer uma revisão geral dos principais tipos de conversores foi preciso identificar autores com artigos e monografias relacionados ao estudo dos conversores, retirar a informação necessária e acrescentar e complementar com outras fontes para melhor entendimento. Essa revisão foi apresentada detalhadamente no Tópico 2 deste trabalho.

4.2. Determinação das características principais das ondas

Para encontrar as principais características de uma onda foi usado o banco de dados ERA-Interim, que usa modelos matemáticos para fazer uma reanálise de dados de altura e do período das ondas de qualquer região do planeta entre os anos de 1979 e 2014. Foram retiradas informações de ondas próximas ao litoral nordeste do Brasil, mais especificamente do litoral do Rio Grande do Norte, como mostra a Tab. 1. As ondas da costa brasileira no nordeste têm entre 5 e 10 segundos e 1 a 2 metros nas mesmas características. (TESSLER, 2005)

Tabela 1 – Altura e período de onda em pontos do litoral do RN.

Pontos	Coordenadas	Altura(m)	Período(s)	Comprimento de Onda (m)
1	4,50° S; 37,00° O	1,64	7,36	84,58
2	4,75° S; 36,25° O	1,46	6,84	73,05
3	5,25° S; 35,25° O	1,63	7,54	88,76
4	5,75° S; 34,50° O	1,79	8,02	100,42

Fonte: BANCO DE DADOS ERA-INTERIN, 2014.

Tendo as alturas e os períodos médios de quatro locais diferentes nessa costa pode-se calcular o comprimento de onda pela Eq. 1.

A Fig. 21 mostra a localização dos quatro pontos em relação à costa do Rio Grande do Norte.

Figura 21 – Localização dos pontos analisados em relação ao litoral do Rio Grande do Norte.



Fonte: GOOGLE EARTH, 2015.

4.3. Determinação das características do conversor a ser analisado

Dos conversores existentes na literatura, o absorvedor pontual se adapta a várias condições impostas, por isso que é um dos poucos que pode ser utilizado nas três categorias com relação a profundidade, tendo em vista essa clara adaptação ele foi escolhido para ser o objeto de análise nesse trabalho.

O *Power Buoy* PB40 foi escolhido por estar em fase de testes e seus primeiros produtos serão instalados nesse ano de 2015.

Para trabalhar com absorvedores pontuais devemos configurar um corpo oscilante com base cilíndrica, simétrico à onda, com frequência descrita pela Eq. 2 e em ressonância com a frequência da onda para que a força resultante provinda da onda para oscilação do conversor seja máxima. Essa ressonância também influenciará na amplitude do movimento, que depende de um fator de amortecimento, para maximizar os valores de potência encontrados, devemos usar um amortecimento mínimo. Sempre que houver ressonância o ângulo que depende do amortecimento é igual a 90° , e a razão entre as frequências circulares da onda e do conversor é igual a 1. A simetria impõe que o ângulo que depende da força da onda é igual a 0.

O dispositivo *Power Buoy* escolhido foi o PB40, de massa, altura e diâmetro conhecidos pela descrição do fabricante, 114220 kg, 33,8 m e 7,2 m respectivamente.

A partir das informações encontradas do *Power Buoy* foram estimadas a frequência natural de oscilação do WEC, a massa adicional que o corpo provoca e o afundamento que o corpo sofre. Esses resultados encontram-se na Tab. 2.

Tabela 2 – Informações adicionais do WEC.

Conversor	$m_w(\text{kg})$	d(m)	$\omega_z(\text{rad/s})$
PB40	64074,24	2,72	1,52

Fonte: O autor.

4.4. Análise do conversor

A Tab. 3 mostra os resultados encontrados para cada um dos quatro pontos, com o fator de amortecimento mínimo, $\Delta_z = 1$, de forma a aproveitar o máximo do conversor, utilizando a metodologia apresentada.

Tabela 3 – Resultados para o fator de amortecimento igual a 0.1.

Pontos	F_0 (kN)	Z_0 (m)	ω (rad/s)	E_z (kN.m)	E (kN.m)	P_z (kW)	ε (%)
1	303,60	1,06	0,85	306,60	2068,63	137,93	14,82
2	265,67	1,00	0,92	280,92	1415,98	122,00	19,83
3	303,32	1,04	0,83	290,52	2144,65	131,66	13,54
4	337,10	1,10	0,78	318,27	2926,12	145,95	10,87

Fonte: O autor.

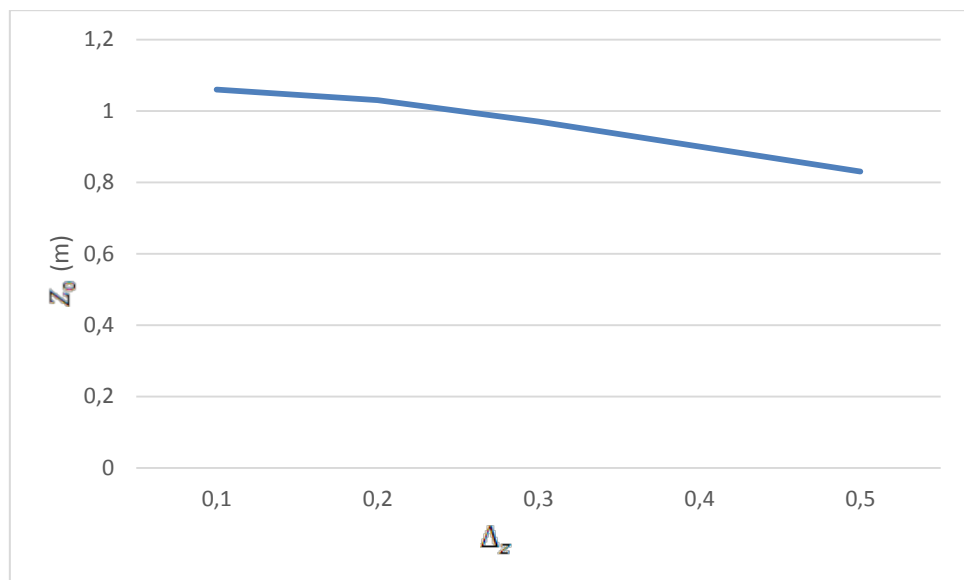
Pode-se observar pela Tab. 3 que o ponto que a frequência natural da onda mais se aproxima da frequência natural de oscilação vertical ($\omega_z = 1,52$) do WEC analisado, é também o ponto que possui a maior eficiência mecânica. Isso ocorre devido à proximidade de uma ressonância, que faz com que um maior aproveitamento do conversor seja observado. Observa-se também que apesar do ponto 4 ser o que apresenta maior energia da onda associada ele é o que apresenta pior eficiência, indicando que o WEC não foi projetado para as condições de onda desse ponto.

A Tab. 4 mostra o comportamento da amplitude máxima do corpo para o ponto 1 quando varia-se o fator de amortecimento, havendo uma redução no mesmo. Já a Tab. 5 mostra o que acontece com a potência quando há uma redução no fator de amortecimento. Os gráficos 22 e 23 representam essas tabelas respectivamente.

Tabela 4 – Variação da amplitude com a redução do fator de amortecimento (Ponto 1).

Δ_z	$Z_0(\text{m})$
0,5	0,83
0,4	0,90
0,3	0,97
0,2	1,03
0,1	1,06

Fonte: O autor.

Figura 21 – Gráfico da variação da amplitude com a redução de Δ_z (Ponto 1).

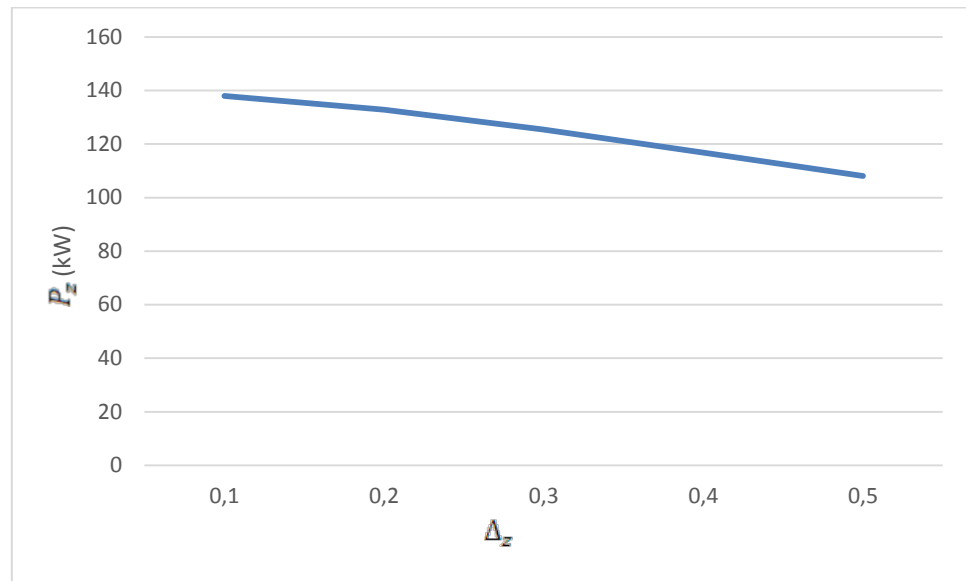
Fonte: O autor.

Tabela 5 – Variação da potência com a redução do fator de amortecimento (Ponto 1).

Δ_z	$P_z(\text{kW})$
0,5	108,03
0,4	116,83
0,3	125,39
0,2	132,80
0,1	137,93

Fonte: O autor.

Figura 22 – Gráfico da variação da potência com a redução de Δ_z (Ponto 1).



Fonte: O autor.

Podemos observar nas Tab. 5 e 6 que devido a redução do fator de amortecimento, tanto a amplitude quanto a potência do conversor no ponto são aumentadas, devido a proporcionalidade inversa dos mesmos. Esse efeito também é observado em outros fatores como eficiência e energia retirada pelo conversor, que são funções derivadas desses fatores. O mesmo comportamento foi para os demais pontos de onda, porém apenas o primeiro foi apresentado para evitar repetitividade.

5. CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho foi possível adquirir conhecimentos na área de fontes de energia sustentáveis, onde a energia ondomotriz foi amplamente estudada para dar os primeiros passos na área da engenharia mecânica. Foi apresentada uma análise detalhada de como o conversor do tipo absorvedor pontual da *Power Buoy* se comporta em ondas do litoral brasileiro.

Essa análise ajuda a entender que o litoral brasileiro pode sim ser uma fonte de energia, principalmente pelas ondas, que tem um enorme potencial, se estudos e investimentos forem direcionados as mesmas.

Pode-se concluir que o ponto onde a frequência natural mais se aproxima da frequência natural de oscilação vertical ($\omega_z = 1,52$) do WEC é também o ponto que possui a maior eficiência mecânica.

Também se pode observar que devido à redução do fator de amortecimento, tanto a amplitude quanto a potência do conversor no ponto são aumentadas devido à proporcionalidade inversa dos mesmos. Esse efeito também é observado em outros fatores como eficiência e energia retirada pelo conversor, que são funções derivadas desses fatores.

6. REFERÊNCIAS

BP ORGANIZATION. **BP Statistical review of world energy june 2014**. 63. ed. Londres: BP p.l.c., 2014.

CERQUEIRA, W. **Zonas litorâneas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com/geografia/zonas-litoraneas-brasil.htm>>. Acesso em: 10 out. 2014.

COPPE/UFRJ. **Balanço do mar se transforma em energia elétrica no litoral do Ceará**. Disponível em: <<http://www.coppenario20.coppe.ufrj.br/?p=805>> . Acesso em: 10 out. 2014.

COSTA, Paulo. **Energia das ondas do mar para geração de eletricidade** [Dissertação]. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.

CRUZ, João M.; SARMENTO, António J. **Energia das ondas**, introdução aos aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais. Portugal: Instituto do Ambiente, 2004.

DREW, B. et al. **A review of wave energy converter technology**. Reino Unido, 2009.

ECMWF. **ERA-Interim**. Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim>> . Acesso em: 25 jan. 2015.

LAGOUN, M. S. et al. **Ocean Wave Converters: State of the Art and Current Status**. Barém, 2010.

MCCORMICK, Michael E. **Ocean Wave Energy Conversion**. Nova Iorque: Courier Corporation, 2013. Cap. 4. p. 45-59.

MCCORMICK, J. M.; THIRUVATHUKAL, J. V. **Elements of Oceanography**. 2^a. ed. Orlando: Saundres College Publishing, 1981. 448 p.

OCEAN POWER TECHNOLOGIES, INC. **PB40**. Disponível em: <<http://www.oceanpowertechnologies.com/pb40>>. Acesso em: 24 jan. 2015.

PELAMIS WAVE POWER. **Development History**. Disponível em: <<http://www.pelamiswave.com/development-history>>. Acesso em: 10 out. 2014.

RODRIGUES, L. **Wave power conversion systems for electrical energy production**. Portugal, 2005.

SORENSEN, Bent. **Renewable Energy**, Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. 3. ed. Dinamarca: Energy & Environment Group, 2005.

TESSLER, M.; GOYA, S. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro**. Revista do Departamento de Geografia, 2005.

THORPE, T. W. **A brief review of wave energy**, Technical report, Energy Technology Support Unit (ETSU), Reino Unido, 1999.

THORPE, T. W. **An Overview of Wave Energy Technology: Status, Performance and Costs**, Proceedings of a Conference on Wave Power: Moving towards Commercial Viability, 30 November 1999, Institute of Mechanical Engineers, London.