

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

ENGENHARIA ELÉTRICA

LAYS GAZAFI DE MORAES

**GERAÇÃO DE ENERGIA ONDOMOTRIZ: PROTÓTIPO COM GERADOR
POR INDUÇÃO MAGNÉTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

LAYS GAZAFI DE MORAES

**GERAÇÃO DE ENERGIA ONDOMOTRIZ: PROTÓTIPO COM GERADOR
POR INDUÇÃO MAGNÉTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do Departamento de Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Ponta Grossa

Diretoria de Graduação e Educação Profissional

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Bacharelado em Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

GERAÇÃO DE ENERGIA ONDOMOTRIZ: PROTÓTIPO COM GERADOR POR INDUÇÃO MAGNÉTICA

por

LAYS GAZAFI DE MORAES

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr. Murilo Oliveira Leme
Orientador(a)

Prof(a). Msc. Edison Luiz Salgado Silva
Membro Titular

Prof(a). Dr^a. Marcella Scoczynski Ribeiro
Martins
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Sergio Okida
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha mãe, pois sem seu apoio dela nada disso seria possível.

Agradecer aos meus colegas e amigos de curso que me acompanharam durante todos esses anos de graduação. Agradecer, especialmente, à Michelle Louise Schoenberger pela amizade e incentivo.

Agradecer ao Prof. Dr. Murilo Oliveira Leme, pela orientação durante este trabalho, sem o senhor também não seria possível.

Agradecer ao Prof. Me. Edison Luiz Salgado Silva por todo conhecimento compartilhado, por toda ajuda e tempo disponibilizado.

Agradecer a coordenação do curso, a todos os professores que pude ter o privilégio de conhecer e aprender com eles e, por fim, à UTFPR por tudo que vivenciei nesses anos.

RESUMO

MORAES, L. G. de. **Geração de Energia Ondomotriz: Protótipo com Gerador por Indução Magnética**. 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

O aumento da demanda de energia elétrica e a preocupação com o meio ambiente tem ocasionado uma intensa procura por fontes de energia renováveis. Os incentivos privados e governamentais na área de geração de energia fazem com que surjam novas tecnologias. A geração de energia elétrica a partir da energia ondomotriz aparece como uma alternativa interessante para países como o Brasil, por possuir um vasto litoral. Este trabalho apresenta um protótipo de geração de energia ondomotriz utilizando um gerador por indução magnética, que pode ser usado principalmente em áreas remotas do litoral brasileiro, levando independência energética a esses lugares.

Palavras-chave: Gerador de Energia. Indução Magnética. Ondas. Protótipo.

ABSTRACT

MORAES, L. G. de. **Wave Power Generation: Prototype with Magnetic Induction Generator.** 2019. 48 p. Graduation Course Work (Electrical Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The increase of the demand for electricity and the concern about the environment has led to intense demand for renewable energy sources. Private and governmental incentives in the area of power generation give rise to new technologies. The generation of electric energy from the wave power energy appears as an interesting alternative for countries like Brazil, because it has a vast coastline. This paper presents a prototype of a wave power generation using a magnetic induction generator, which can be used mainly in remote areas of the Brazilian coast, bringing energy independence to these places.

Keywords: Power Generator. Magnetic induction. Waves. Prototype.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	11
FIGURA 2 – Distribuição mundial do potencial energético das ondas em kW/m.....	14
FIGURA 3 – Projeções das Quantidades de Unidades Consumidoras de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil.....	19
FIGURA 4 – Projeção de Capacidade Instalada de Energia Eólica no Brasil.....	20
FIGURA 5 – Capacidade Instalada de Energia dos Oceanos, em 2050.....	22
FIGURA 6 – Elementos de uma onda do mar.....	24
FIGURA 7 – Potencial brasileiro.....	26
FIGURA 8 – Princípio de funcionamento CAO.....	28
FIGURA 9 – Central OWC.....	29
FIGURA 10 – Central <i>LIMPET</i>	30
FIGURA 11 – Central <i>Energetech</i>	31
FIGURA 12 – Dispositivo PELAMIS.....	32
FIGURA 13 – Princípio de funcionamento dispositivo PELAMIS.....	33
FIGURA 14 – Dispositivo AWS.....	34
FIGURA 15 – Princípio de funcionamento dispositivo AWS.....	35
FIGURA 16 – Movimento do flutuador na onda.....	36
FIGURA 17 – Fluxograma do desenvolvimento do trabalho.....	37
FIGURA 18 – Esboço do protótipo.....	39
FIGURA 19 – Gerador por indução confeccionado para o protótipo.....	40
FIGURA 20 – Protótipo finalizado.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as diversas fontes de energia.....	25
Tabela 2 – Materiais utilizados na montagem Protótipo.....	38

LISTA DE SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
UNAERP	Universidade de Ribeirão Preto
IEA	Agência Internacional de Energia
CAO	Coluna de Água Oscilante
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.3 ESTRUTURA DO PROJETO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 CRESCIMENTO DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEIS	18
2.1.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	18
2.1.2 ENERGIA EÓLICA.....	19
2.1.3 ENERGIA HIDRÁULICA.....	21
2.1.4 ENERGIA DOS OCEANOS – ONDAS, MARÉS E CORRENTES MARÍTIMAS	21
2.2 HISTÓRICO DA ENERGIA DAS ONDAS.....	22
2.3 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ENERGIA DAS ONDAS.....	23
2.3.1 ELEMENTOS DE UMA ONDA.....	24
2.4 CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS.....	26
2.4.1 DISPOSITIVOS <i>SHORELINE</i>	27
2.4.2 DISPOSITIVOS <i>NEARSHORE</i>	30
2.4.3 DISPOSITIVOS <i>OFFSHORE</i>	31
2.5 GERADOR POR INDUÇÃO MAGNÉTICA.....	35
3 DESENVOLVIMENTO.....	37
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	38
3.2 MONTAGEM DO GERADOR.....	39
4 RESULTADOS.....	42
4.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	42
4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	43
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	44
5.1 CONCLUSÃO.....	44
5.2 TRABALHOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIA.....	46

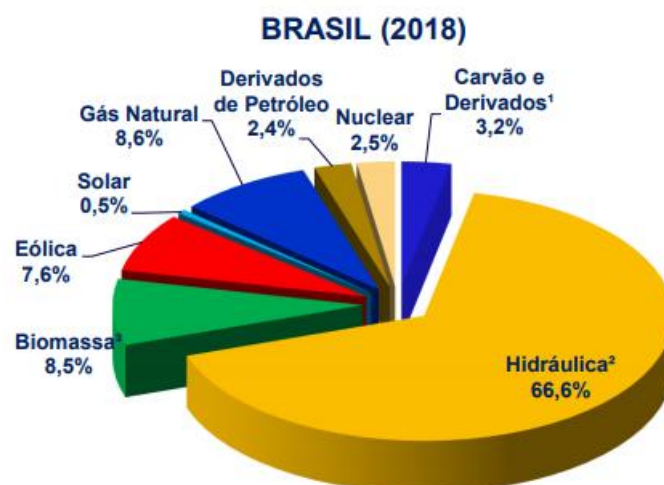
1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de energia elétrica se tornou um dos principais problemas em relação a geração de energia no futuro, pois o impacto ambiental ocasionado pelo crescente uso de combustíveis fósseis é preocupante. Foi mostrado através de estudos que até o ano de 2030 será necessário investir em diferentes fontes de energia além das usinas hidrelétricas e combustíveis fósseis, que atualmente são as mais utilizadas no Brasil, dando então prioridade as fontes de energia renováveis e o custo benefício (DANTAS, 2015).

As fontes de energia renováveis se tornam cada vez mais indispensáveis em âmbito global, devido, principalmente, a redução das reservas de combustíveis fósseis e também a busca pela diminuição de emissões de gases causadores do efeito estufa. Sendo assim, é extremamente necessária uma mudança na produção de energia, visando a utilização das fontes renováveis (SANTOS et al., 2015).

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN 2018), o Brasil já é um país que dispõe de uma matriz elétrica de origem majoritariamente renovável, sendo que a geração hidráulica se destaca com 66,6% da oferta interna, como pode ser observada na Figura 1. A soma de todas as fontes renováveis da oferta inteira de eletricidade no país é de 83,2%. Esses dados são baseados na soma da produção nacional com as importações, que também são predominantemente de origem renovável.

Figura 1 – Oferta interna de energia elétrica por fonte



Fonte: BEN (2018)

Segundo o gráfico da Figura 1, as principais fontes de energia renovável utilizadas no Brasil são: hidráulica, biomassa, solar e eólica.

A hidroeletricidade é a energia elétrica produzida através da força do movimento das águas. A conversão de energia hidráulica para energia elétrica é feita utilizando turbinas hidráulicas, acopladas a um gerador elétrico. As turbinas hidráulicas transformam energia cinética oriunda do movimento das águas em energia mecânica, através do movimento giratório das turbinas. E então os geradores elétricos convertem esta energia mecânica em energia elétrica (ANEEL, 2008).

O uso da biomassa para a produção de energia possui várias tecnologias onde se converte a matéria-prima em um produto intermediário para que seja utilizado em uma máquina motriz. A máquina será responsável pela produção de energia mecânica capaz de acionar o gerador de energia elétrica (ANEEL, 2008).

A radiação solar como fonte de energia que pode ser utilizada propriamente como energia térmica, aquecendo ambientes e fluidos ou para geração de potência mecânica ou elétrica. Sua conversão pode ocorrer diretamente em energia elétrica, mediante dos efeitos sobre certos materiais, como o fotovoltaico e termoelétrico (ANEEL, 2008).

A geração de energia elétrica a partir da energia eólica é feita pela migração das massas de ar acarretada pela diferença de temperatura presente na superfície da Terra. A geração eólica decorre do contato entre vento e as pás do cata-vento, que são elementos constituintes da usina. A movimentação dessas pás produz energia mecânica responsável pelo acionamento do rotor do aerogerador, produzindo a eletricidade (ANEEL, 2008).

A urgência mundial por energia toma a atenção de inúmeros cientistas, empresas de múltiplos setores, pesquisadores, entidades regulamentadoras e também do público comum a atentarem e cobrarem pelo uso de energias que não acentuem os problemas climáticos e que possam a vir minimizá-los. É conhecido que os combustíveis fósseis se esgotarão e inúmeras medidas mundiais, no que diz respeito a obrigações e metas governamentais, estão sendo firmadas de modo que a geração de energia, responsável por emitir toneladas de gases que são nocivos ao planeta, também possam ser substituídos por alternativas que utilizem energias renováveis. (SIMÃO et al, 2015).

Há dois tipos de fontes de energia, as renováveis e não renováveis. As fontes de energia não renováveis podem ser subdivididas então em combustíveis fósseis e energia nuclear. Dos combustíveis fósseis, sendo eles petróleo, gás e carvão, depende-se grande parte da indústria e do transporte atualmente, chegando a alcançar aproximadamente 90% da energia comercial utilizada no mundo. A energia nuclear é de suma importância na repercussão ambiental, pois uma vez que a indústria nuclear é produtora de resíduos radioativos extremamente perigosos

que perduram na natureza por milhares de anos e seu armazenamento definitivo gera muitos riscos. Essas fontes de energia são classificadas como não renováveis porque em poucos minutos são consumidas quantidades que serão necessários milhões de anos para se formarem novamente, dessa forma as reservas destes combustíveis diminuem drasticamente. As fontes de energia renováveis mais conhecidas, e também citadas anteriormente, são a energia solar, hidráulica, eólica e biomassa, levam esse nome pois são capazes de se renovar de modo ilimitado de forma natural, não utilizando de um recurso finito como o caso dos combustíveis fósseis ou alguma substância radioativa, e também, normalmente causam menos impactos ambientais (ECHARRI, 1998).

Com o problema da demanda energética, ocorreu um avanço progressivo no desenvolvimento de novas alternativas de geração de energia, não apenas no Brasil como no mundo. Como citado anteriormente, os tipos mais conhecidos estão os geradores conversores de energia solar, que utilizam da incidência dos raios solares para produzir energia elétrica, e energia eólica, que se beneficiam da força dos ventos. Entre as novas fontes de energia renováveis que vem sendo descobertas e estudadas, estão sistemas que são capazes de produzir energia elétrica a partir da movimentação dos oceanos (DANTAS, 2015).

Os oceanos, abrangendo a maior parcela de todos os recursos naturais, abrigam um enorme potencial energético, podendo contribuir significativamente para a crescente necessidade de energia a um nível global (CRUZ E SARMENTO, 2004).

As diferentes origens da energia contida nos oceanos originam diferentes classificações (PONTES E FALCÃO, 2001).

As energias mais significativas são, sem dúvidas:

- Energia das marés, fruto da influência dos campos gravitacionais do sol e da lua;
- Energia térmica dos oceanos, decorrente da radiação solar incidente;
- Energia das correntes marítimas, originada na ação das marés e nos gradientes de temperatura e salinidade;
- Energia das ondas, resultado da decorrência dos ventos na superfície do oceano.

A energia das ondas pode ser classificada como uma forma concentrada da energia solar, uma vez que, os ventos são formados a partir do aquecimento desigual da superfície terrestre. Após criadas, as ondas são capazes de viajar por milhares de quilômetros no alto mar sem perdas de energia significativas. Nas regiões costeiras a quantidade de energia existente nas ondas é diminuída em decorrência da interação com o fundo do mar. Fenômenos naturais podem atenuar essa diminuição. Uma onda tem potência proporcional ao quadrado de sua

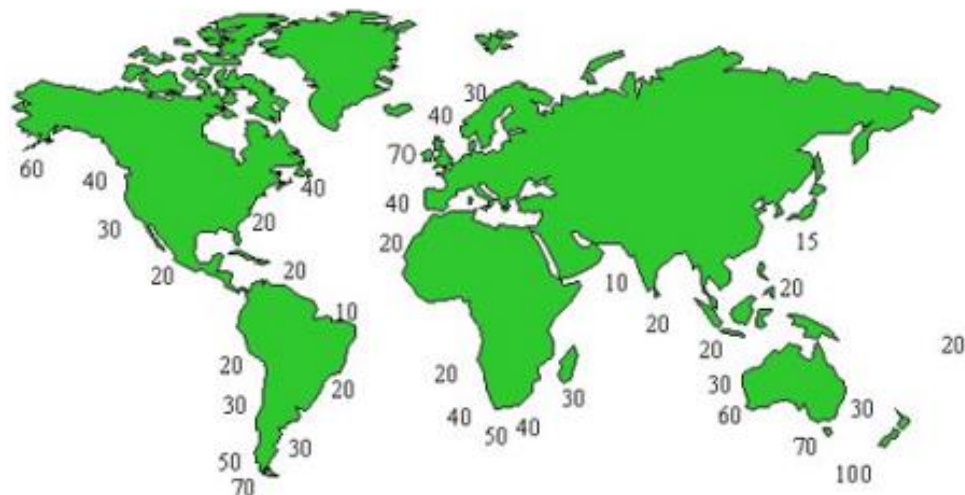
amplitude e ao seu período. Ondas que possuem amplitude elevada (acima de 2 m) e período elevado (7 a 10 s) podem facilmente exceder os 50 kW/m de frente de onda (CLÉMENT et al, 2002).

Inúmeros países têm capacidade de suprir parte da demanda energética utilizando a energia a partir das ondas oceânicas, pois há vários locais pelo mundo que possuem um alto potencial energético nas ondas oceânicas (DANTAS, 2015).

Foi realizado um estudo no Reino Unido onde avaliava-se a disponibilidade do potencial energético nos oceanos e foi possível concluir que há cerca de 1 TW de energia disponível, o que seria suficiente para suprir a demanda energética de todo o planeta. Mesmo que apenas uma porcentagem dessa energia consiga ser de fato convertida em energia elétrica, este é um método de conversão que pode ter grande valor aos países que conseguirem dominar essa tecnologia (ASSIS, 2010).

O Brasil é detentor de um amplo litoral, contando com aproximadamente 8000 km de extensão, podendo se favorecer então dessa fonte de energia limpa e renovável. Mesmo o Brasil não possuindo altos valores de potencial energético em suas ondas oceânicas, a regularidade das ondas e a baixa ocorrência de fenômenos naturais que possam vir a destruir equipamentos, podem tornar economicamente viável a possibilidade de fazer uso dessa fonte de energia, mas isso dependerá de qual tecnologia o país adotará para este fim (ESTEFEN, 2004).

Figura 2 – Distribuição mundial do potencial energético das ondas em kW/m



Fonte: DANTAS (2015)

Aproveitando o potencial energético das ondas, o vasto litoral e o conhecimento de áreas remotas ao longo de toda costa brasileira, a produção de energia elétrica a partir do movimento

das ondas do mar pode vir a se tornar uma nova fonte de energia renovável para agregar a matriz energética dessas localidades.

Desta forma, este trabalho apresenta um protótipo com a finalidade de demonstrar e comprovar a funcionalidade de um sistema de geração de energia ondomotriz utilizando um gerador por indução.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O Brasil, assim como outros países do mundo, tem realizado estudos sobre o aproveitamento do mar como fonte de energia elétrica. Como dito anteriormente, trata-se de um país com dimensões continentais e um vasto litoral, de aproximadamente 8000 km de extensão.

Em algumas ilhas, por conta da distância com o continente, pode ser difícil a chegada de energia elétrica.

É possível citar algumas localidades banhadas pelo mar sem previsão de um dia terem energia elétrica, como por exemplo:

- Ilha do Arvoredo no Guarujá;
- Ilha Montão de Trigo de São Sebastião;
- Ilha do Cardoso;
- Ilha Bela (Castelhanos).

Todas as localidades citadas encontram-se no estado de São Paulo (KAWANO, 2015).

A Ilha do Arvoredo, de todas as citadas, é a menor das ilhas, necessitando assim de uma quantidade menor de energia. A administração dessa ilha fica por conta da UNAERP (Universidade de Ribeirão Preto). Nessa ilha funciona principalmente um serviço para recuperação de animais marinhos e trabalham em torno de vinte pessoas (KAWANO, 2015).

A Ilha Montão de Trigo, das ilhas citadas, é a mais distante do continente e nela possuem aproximadamente cinquenta pessoas, sendo que a maioria se dedica exclusivamente à pesca. O maior desafio para os pescadores é a conversação do pescado sem a energia elétrica (KAWANO, 2015).

Na Ilha do Cardoso vivem cerca de quatrocentas pessoas que ainda não possuem energia elétrica contínua, sem que haja falhas. Foi instalado na ilha pelo Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas um sistema híbrido de geração de energia,

envolvendo então gerador de energia eólica, fotovoltaica e também um grupo gerador diesel movido a óleo vegetal, por ser menos poluente (KAWANO, 2015).

Na Ilha Bela moram inúmeras famílias, as que moram na região da ilha que fica em frente ao canal de São Sebastião possuem energia elétrica, já as que moram no lado oposto, onde fica a costa voltada para o mar aberto, as famílias mais favorecidas utilizam geradores diesel, enquanto a população nativa não possui esse conforto (KAWANO, 2015).

Nesses casos a energia proveniente das ondas seria uma grande solução para essas e outras ilhas em condições semelhantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste presente trabalho é o desenvolvimento de um protótipo para demonstração da geração de energia elétrica a partir das ondas do mar. O desenvolvimento do protótipo demonstra o funcionamento, mesmo que em pequena escala comparado ao necessário para uma produção de energia significativa. O protótipo também permitirá a análise dos problemas enfrentados por esse tipo de geração de energia e as melhorias que poderão ser feitas.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre as fontes de geração de energia renovável;
- Pesquisar quais são as principais formas de geração de energia em áreas remotas, como ilhas;
- Desenvolver um projeto de um gerador de energia elétrica baseado na movimentação das ondas marítimas;
- Construir um protótipo de um sistema de geração de energia elétrica a partir das ondas marítimas;
- Fazer uma análise dos problemas enfrentados por esse tipo de geração de energia;
- Propor melhorias ao sistema proposto.

1.3 ESTRUTURA DO PROJETO

O trabalho apresenta-se da seguinte forma:

- Capítulo 2 – Referencial Teórico
- Capítulo 3 – Desenvolvimento
- Capítulo 4 – Resultados
- Capítulo 5 – Conclusões

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CRESCIMENTO DOS SISTEMAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEIS

De acordo com o relatório anual da Agência Internacional de Energia (IEA), foi observado um aumento de 7% no uso de fontes renováveis de energia em 2018. A demanda global teve um crescimento por fontes renováveis correspondente ao consumo total de energia elétrica no Brasil, aproximadamente 450 TWh (ÉPOCA, 2019).

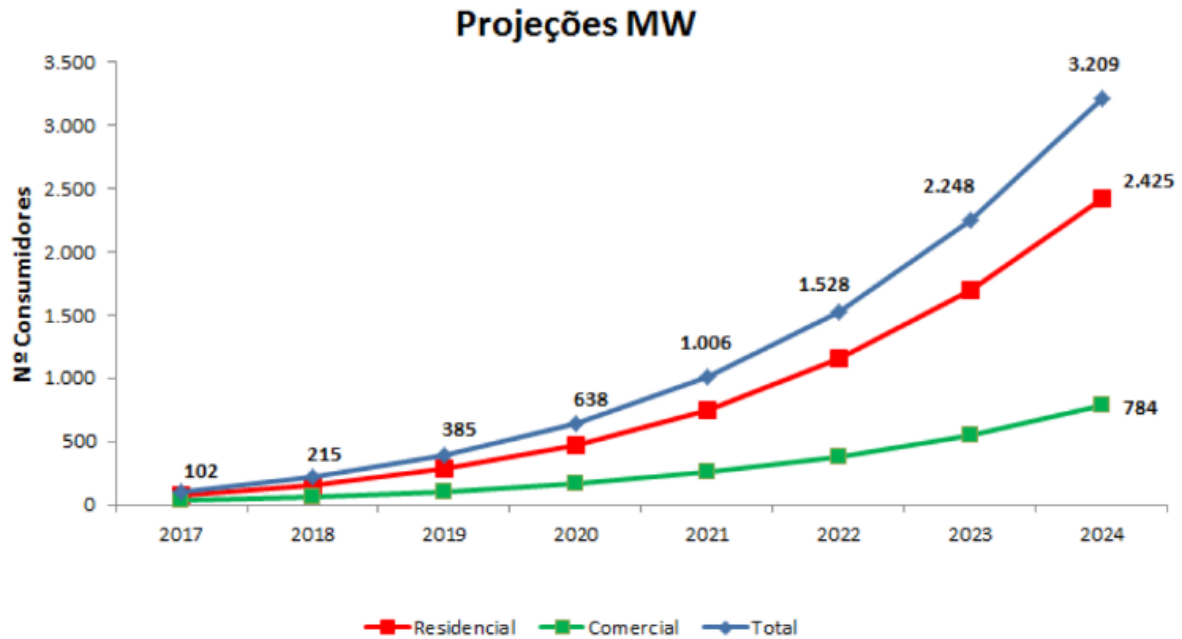
As fontes de energia solar fotovoltaica, eólica e hidráulica representaram, cada uma, aproximadamente um terço de todo crescimento da energia renovável com relação ao ano de 2017. A bioenergia, produzida a partir da transformação química da biomassa, representou a ínfima parcela restante (ÉPOCA, 2019).

2.1.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica, entre todas as modalidades de energia renováveis, teve a demanda com maior crescimento proporcional em 2018, segundo a IEA. Com aumento de 31% no ano de 2017, dobrou sua capacidade instalada em somente três anos, atingindo 534 GW. Desta totalidade, 44 GW foram incorporados só pela China em 2017. Ao todo, o Brasil possui capacidade instalada de 2 GW em produção de energia solar fotovoltaica, e sua parcela nesse mercado vem crescendo rapidamente (ÉPOCA, 2019).

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) usou estimativas para elaborar um gráfico quantificando o número de sistemas fotovoltaicos que deverão ser instalados nas três modalidades de unidades consumidoras: comercial, residencial e total, onde inclui industrial, rural, serviço público e iluminação pública (COLAFERRO, 2018).

Figura 3 – Projeções das Quantidades de Unidades Consumidoras de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil



Fonte: COLAFERRO (2018)

O setor de energia solar fotovoltaica no Brasil, como um todo, vem aumentando cerca de 300% ao ano, tendo início em 2014, isso abre um enorme leque de possibilidades, geração de empregos, renda, criação de novas empresas e negócios, com a finalidade de suprir essa oportunidade de crescimento contínuo (COLAFERRO, 2018).

2.1.2 ENERGIA EÓLICA

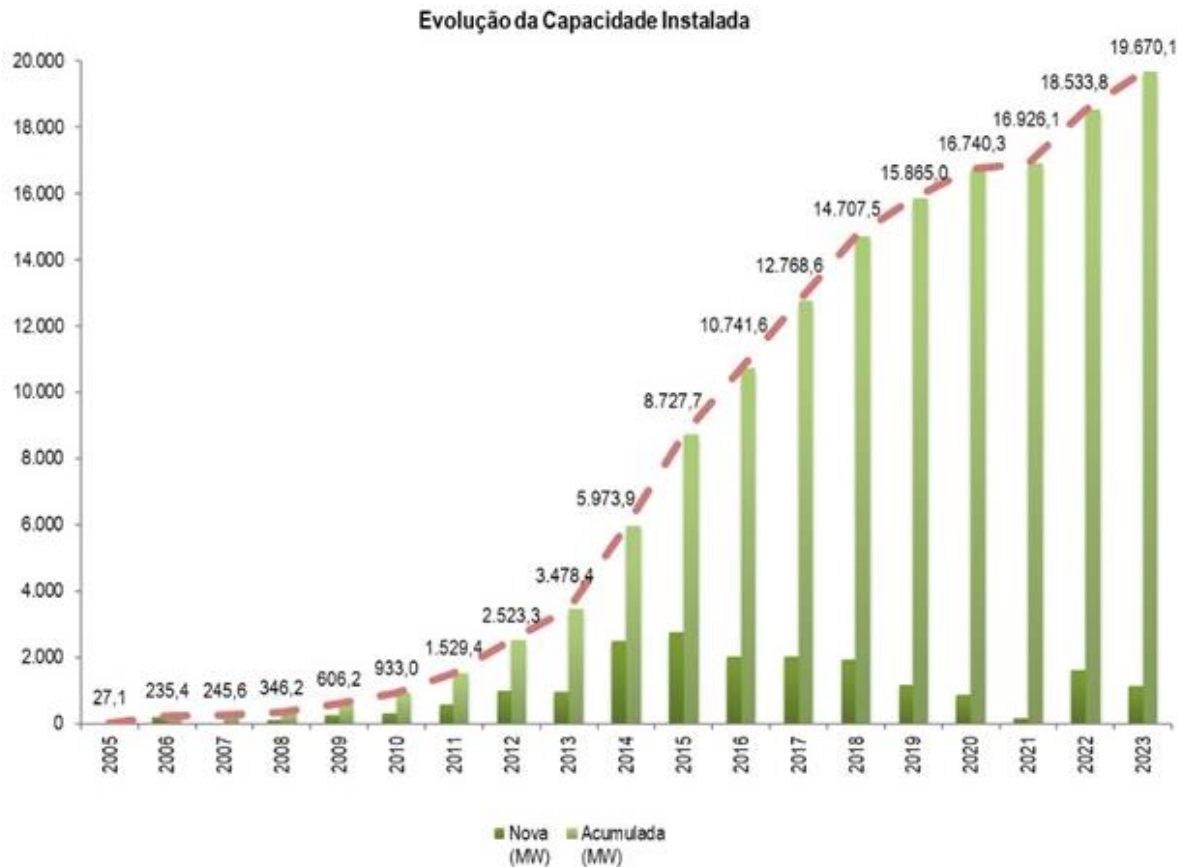
Segundo informações da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), a energia eólica atingiu a marca 15 GW em capacidade instalada em 2019, conseguindo passar a ocupar a segunda posição no destaque da matriz energética brasileira. Especificando em números, são um total de 601 parques eólicos, contendo 7 mil aerogeradores, espalhados por 12 estados brasileiros (EÓLICA, 2019).

A presidente executiva da ABEEólica, Elbia Gannoum, considera um feito impressionante, pois é importante considerar que em 2011 havia apenas cerca de 1 GW de capacidade instalada, o que torna muito importante que hoje ocupe essa posição de destaque na matriz energética (EÓLICA, 2019).

A capacidade instalada atualmente é de 15 GW, mas há outros 4,6 GW que já foram contratados ou estão em construção, isso significa que ao final de 2023, teremos

aproximadamente 19,7 GW, isso levando em consideração apenas os contratos já autorizados em leilões e com outorgas do mercado livre publicadas e os contratos assinados até agora (EÓLICA, 2019).

Figura 4 – Projeção de Capacidade Instalada de Energia Eólica no Brasil



Fonte: EÓLICA (2019)

Elbia também faz destaque a qualidade do vento brasileiro. Ressaltou que a média mundial do fator de capacidade é aproximadamente 25%, já no Brasil, o fator de capacidade médio no ano de 2018 foi de 42%, não podendo deixar de citar que, no Nordeste, de junho a novembro, quando ocorre a temporada de safra dos ventos, os parques eólicos atingem fatores de capacidade que ultrapassam os 80%. Esse fato faz com que a produção dos aerogeradores instalados no Brasil seja muito superior aos mesmos equipamentos instalados em outros países. Concluindo então que somos privilegiados pela quantidade e também pela qualidade do vento (EÓLICA, 2019).

A produção dos parques eólicos em 2018 chegou a 48,4 TWh, o que equivale a um avanço de 14,6% em relação ao ano anterior. Trazendo esse dado para uma realidade mais

palpável, isso significa que a energia produzida nos parques eólicos em 2018 seria capaz de fornecer energia elétrica para 25,5 milhões de casas ou aproximadamente 80 milhões de pessoas, salientou Elbia (EÓLICA, 2019).

2.1.3 ENERGIA HIDRÁULICA

A energia gerada pelas hidrelétricas é a mais utilizada no Brasil, no mundo teve um crescimento modesto de apenas 3%. Mesmo com um baixo crescimento, ainda se trata da fonte de energia renovável mais utilizada. De toda energia gerada por recursos renováveis, a energia gerada pelas hidrelétricas corresponde a 60% desse total (ÉPOCA, 2019).

Depois de tantos anos no domínio, as hidrelétricas marcham em direção a perda do protagonismo na matriz energética do Brasil, a veloz ampliação das usinas eólicas e da geração solar fotovoltaica deverá trazer importantes mudanças no operacional do sistema elétrico durante os próximos anos (REUTERS, 2019).

O governo realizou projeções no último Plano Decenal de Energia, considerando as diretrizes para ampliação do setor elétrico até o ano de 2027, o percentual de participação na matriz energética deve cair para 51% no período, tendo registrado 64% no ano de 2018, em contrapartida as fontes alternativas, especialmente solares e eólicas, devem crescer para 28%, tendo atualmente 22% (REUTERS, 2019).

2.1.4 ENERGIA DOS OCEANOS – ONDAS, MARÉS E CORRENTES MARÍTIMAS

O potencial de geração de energia dos oceanos está distribuído por toda a região costeira do Brasil. Pelas suas respectivas localizações, a região Sul do país consegue aproveitar do maior potencial de ondas e a região Norte possui um potencial maior para a geração de energia de marés (EPE, 2019).

Outra fonte de extração de energia dos oceanos seria por meio das correntes de marés, especialmente na região Norte do país. As tecnologias disponíveis atualmente geram limitações, afinal foram desenvolvidas para águas com grande profundidade, o que inviabiliza seu uso no Brasil, pois as regiões de desembocadura dos rios possuem baixa profundidade. Por conta dessas restrições e inexistência de estudos específicos, foi descartada a consideração do aproveitamento de energia de correntes de marés nas projeções dos próximos anos (EPE, 2019).

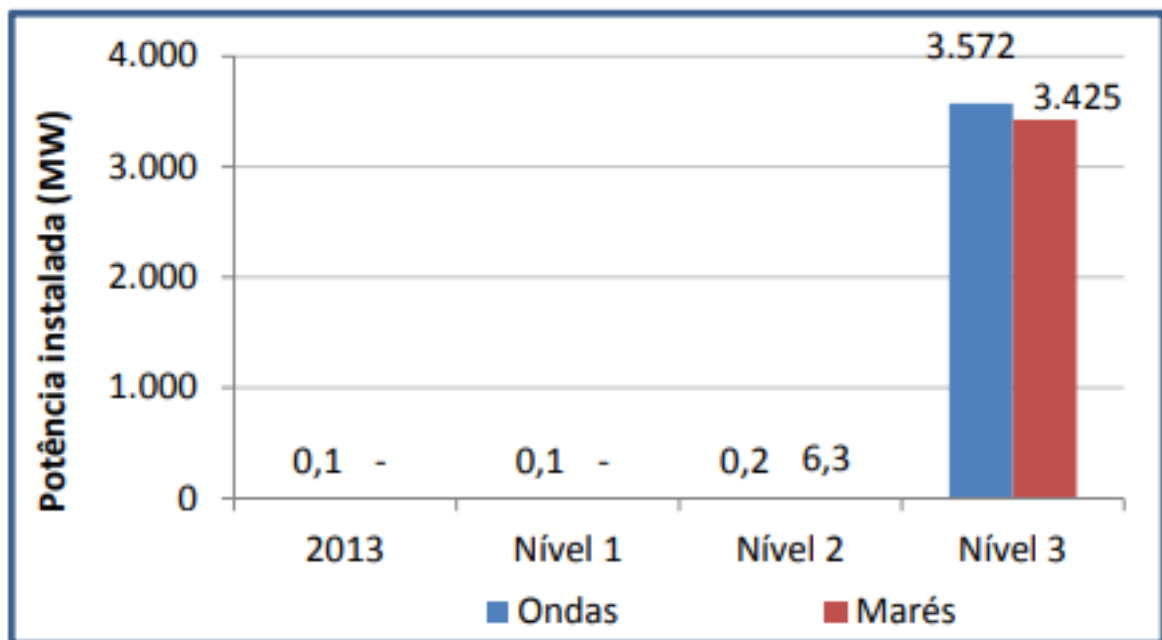
O gráfico da Figura 5 apresenta uma projeção de dados da energia dos oceanos em 2050, dividido em três níveis, explicados a seguir.

Nível 1 – Admite que o Brasil não irá incorporar novas tecnologias para aproveitar a energia dos oceanos até o ano de 2050. Este nível considera um protótipo situado em Pecém-CE, que possui uma capacidade de 100 kW (EPE, 2019).

Nível 2 – Considera introduzir novos protótipos em regiões e lugares que atualmente já são objetos de estudo por possuir potencial de energia, sendo ondomotriz ou maremotriz. A projeção é que até 2050, a capacidade instalada chegue a 6,5 MW, gerando anualmente 29 GWh/ano (EPE, 2019)

Nível 3 – Considera aproveitar do potencial técnico mínimo para produzir energia ondomotriz e maremotriz no país, calculado como uma fração do potencial teórico. Dessa forma, até 2050, a capacidade instalada corresponde a 7 GW, gerando 30 TWh/ano (EPE, 2019).

Figura 5 – Capacidade Instalada de Energia dos Oceanos, em 2050



Fonte: EPE (2019)

2.2 HISTÓRICO DA ENERGIA DAS ONDAS

O conceito da conversão de energia das ondas de superfície do oceano em diferentes formas de energia não é uma novidade. As primeiras técnicas foram patenteadas na França em 1799 por Girard & Filho. Em 1973, Leishman & Scobie retrataram meticulosamente como foi o desenvolvimento do primeiro conversor pertencente a uma patente britânica de 1855, quando já haviam 340 patentes registradas. Neste período, foram projetadas e testadas diversas

configurações de diferentes conversores de energia das ondas, todos em escala modelo e alguns foram colocados no mar (KAWANO 2015).

Em 1973 ocorreu um aumento significativo no preço do petróleo, isso acarretou o início de pesquisas e estudos intensivos para aprimorar o desenvolvimento da conversão de energia das ondas e, dessa forma, as ondas começaram a ser pesquisadas como possível fonte para fornecimento de energia. Foram introduzidas medidas de incentivo. Gerou-se uma grande quantidade de programas de pesquisa, tanto do governo como privados, dando início ao apoio a vários países, principalmente no Reino Unido, Irlanda, Portugal, Noruega, Dinamarca e Suécia, tendo como objetivo o desenvolvimento da exploração industrial da energia das ondas a médio e longo prazo (KAWANO 2015).

O conceito de aproveitar a energia das ondas para produção de energia elétrica tem vivenciado um processo cíclico nos últimos 25 anos, passando por fases de entusiasmo, insatisfação e recapitulação. O insistente esforço no estudo e desenvolvimento, unido com toda a experiência que já foi adquirida ao longo dos anos, constantemente aumentam o desempenho das técnicas de obtenção desse tipo de energia, isso faz com que este recurso esteja cada vez mais próximo da exploração comercial (SILVA; BARBOSA; PAES, 2010).

2.3 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE ENERGIA DAS ONDAS

A ação dos ventos na superfície das águas oceânicas é a fonte de energia das ondas. Através da fricção entre o vento e a água, os ventos são capazes de transferir uma parte de sua energia para a água, as ondas são formadas pelo deslocamento das camadas superficiais da água. Essa movimentação faz com que as partículas existentes na superfície se movimentem de forma elíptica através da conjunção das ondas longitudinais (para frente e para trás) e transversais (para cima e para baixo) (MONTEIRO, 2009).

As ondas originadas a partir dos ventos possuem uma quantidade significativa de energia com potencial para ser convertida em eletricidade quando utilizados conversores mecânicos instalados no mar (MONTEIRO, 2009).

Dos impactos ambientais que podem ser gerados, os ruídos não provocariam sons mais altos que o próprio barulho das ondas e a perturbação da vida marinha só ocorreria durante o período de instalação do sistema (ESTEFEN, 2004).

Entre as vantagens, é possível citar que se trata de um recurso renovável e autossustentável, de fácil estimativa do potencial, abundante, nativa e de produção pontual,

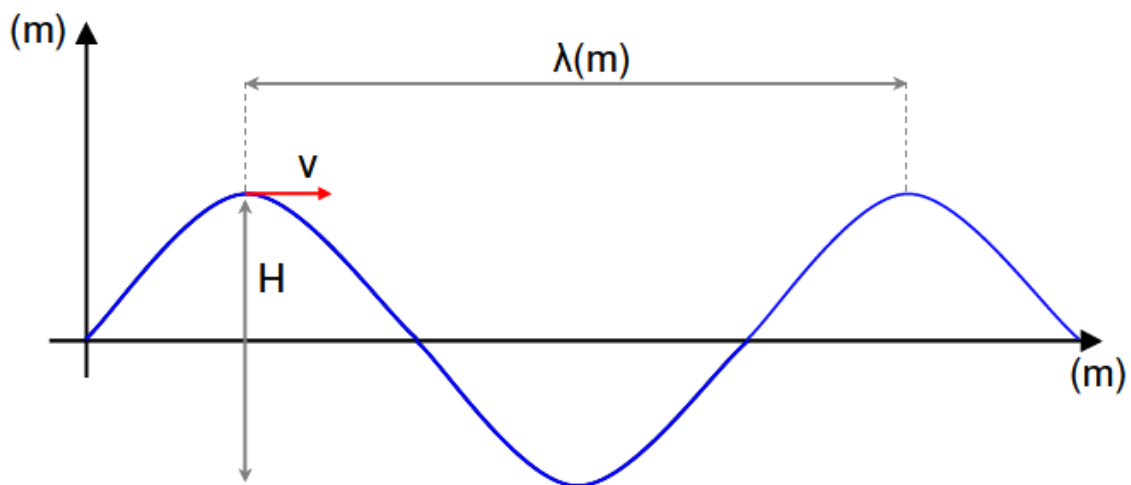
livre de poluição, sua localização é flexível, não apresenta risco à vida marinha e pode gerar independência energética do local ou região em que for instalada, principalmente no que diz respeito aos locais remotos e isolados do litoral (ESTEFEN, 2004).

2.3.1 ELEMENTOS DE UMA ONDA

Uma onda pode ser definida como uma perturbação oscilante que ocorre na superfície da água do mar e que sofre variação ao longo do tempo. Por ocorrer repetição ao longo do tempo, uma onda é caracterizada como periódica (MONTEIRO, 2009).

A amplitude da onda é a metade da distância entre a crista (ponto mais alto) e a depressão (ponto mais baixo) da onda. O comprimento de onda é definido pela distância entre duas cristas consecutivas. O período, então, pode ser definido pelo tempo que a onda leva até percorrer todo o comprimento de onda. A frequência é o inverso do período. A velocidade da onda se trata do produto entre o comprimento de onda e a frequência (KAWANO, 2015).

Figura 6 – Elementos de uma onda



Fonte: MONTEIRO (2009)

Da Figura 6, temos:

Amplitude da onda – $\frac{H}{2}$

Comprimento da onda – λ

Período – T

Frequência – $f = \frac{1}{T}$

Velocidade de propagação – v

As ondas são capazes de viajar por milhares de quilômetros com uma perda praticamente desprezível de energia. Quando comparada a outras fontes de energia, como a energia solar e eólica, as ondas se apresentam como uma fonte de energia mais previsível (MUETZE, 2006).

A energia proveniente das ondas do mar apresenta outras inúmeras vantagens em relação às demais fontes de energia alternativas. A Tabela 1 apresenta uma comparação com outras fontes de energia existentes.

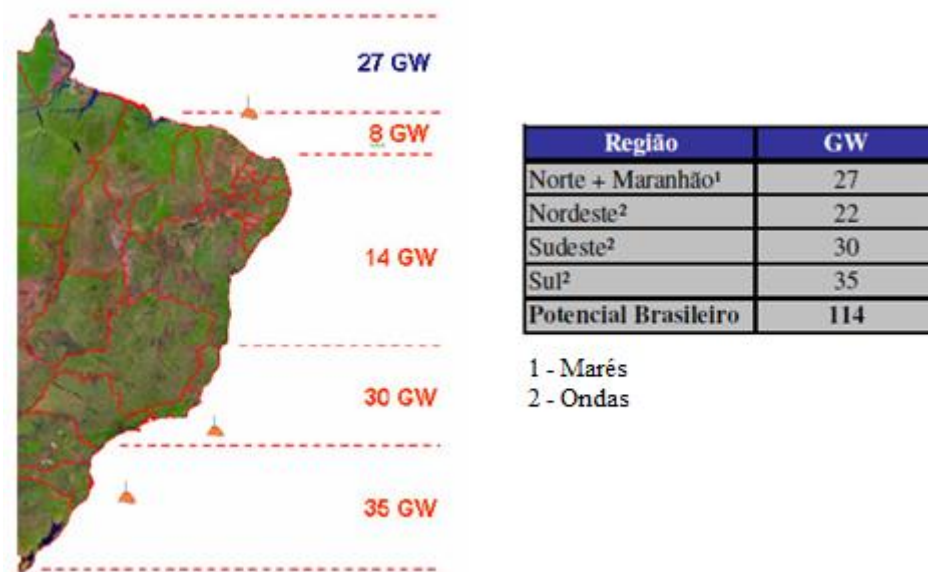
Tabela 1 – Comparação entre as diversas fontes de energia.

Fonte	Fonte Renovável	Baixo Custo de Capital	Baixo Custo de Operação	Mínimo Impacto Ambiental	Mínimo Impacto Visual	Previsível	Modular
Fóssil	x	✓	x	x	x	✓	x
Nuclear	x	✓	x	x	x	✓	x
Hidráulica	✓	✓	✓	x	x	✓	x
Solar	✓	x	✓	✓	x	x	✓
Ventos	✓	x	✓	✓	x	x	✓
Marés	✓	x	✓	x	x	✓	x
Ondas	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
Correntes	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓

Fonte: MONTEIRO (2009)

A partir dessa comparação é possível notar que a energia das ondas possui um baixo custo operacional, mínimo impacto ambiental, mínimo impacto visual, é previsível e modular. Através dessas características pode-se notar que se torna propícia para aplicar em geração remota. Outra vantagem que a energia das ondas apresenta, é que se trata de uma energia consistente, significando que não existem grandes períodos de abstinência energética. É possível utilizar essa fonte de energia com tecnologias costeiras, próximos a costa ou até em alto mar (MONTEIRO, 2009).

Figura 7 – Potencial brasileiro



Fonte: MONTEIRO (2009)

Pela Figura 7 é possível notar que a distribuição do potencial de geração de energia dos oceanos é diferente em cada região da costa do Brasil. A região Sul do país consegue aproveitar do maior potencial de ondas, por estar localizada entre as latitudes de 30° e 60°, onde o potencial é naturalmente superior. A região Norte possui um potencial maior para a geração de energia de marés, por estar localizada próxima ao Equador e sofrer maior influência do sol e da lua, que influenciam diretamente na formação das marés (EPE, 2019).

Para avaliar se um local marítimo é propício para a instalação de conversores de energia das ondas, com a finalidade de gerar energia elétrica, é necessário que seja observada a profundidade, a altura e também a distribuição das ondas. A partir desses parâmetros torna-se possível o cálculo dos níveis de energia de ondas por área. Devido aos ventos que sopram de oeste para leste, as ondas do lado oeste dos continentes possuem mais energia. Conforme a proximidade com a costa, há uma diminuição da energia transportada pelas ondas em consequência das perdas por atrito com o litoral. Importante ressaltar que no inverno a onda média possui seis vezes mais energia do que no verão (KAWANO, 2015).

2.4 CONVERSORES DE ENERGIA DAS ONDAS

Para converter a energia mecânica das ondas em energia elétrica, é necessário o uso de um dispositivo para este fim. Os instrumentos utilizados para a realização dessa tarefa são denominados conversores de energia das ondas. A classificação desses conversores é feita de

acordo com as particularidades da instalação, podendo ser instalados na costa, próximos a costa ou distantes da costa. Sendo assim, conforme a localização, recebem as seguintes classificações:

- *Shoreline* - Dispositivos Costeiros;
- *Nearshore* - Dispositivos Próximos da Costa;
- *Offshore* - Dispositivos Afastados da Costa.

A diferença primordial entre os dispositivos *nearshore* e *offshore* são as profundidades em que eles se encontram. Os dispositivos *nearshore* são encontrados geralmente em profundidades inferiores a 20 metros e são firmados no fundo do mar, já os dispositivos *offshore* estarão em torno de 50 metros de profundidade e são flutuantes. É interessante lembrar que o potencial energético das ondas é maior em profundidades de 50 metros do que de 20 metros, dando vantagem em utilizar os dispositivos em maiores profundidades. A classificação utilizada não se dá pela “distância à costa”, mas sim pela profundidade em que está inserido o dispositivo (CRUZ e SARMENTO, 2004).

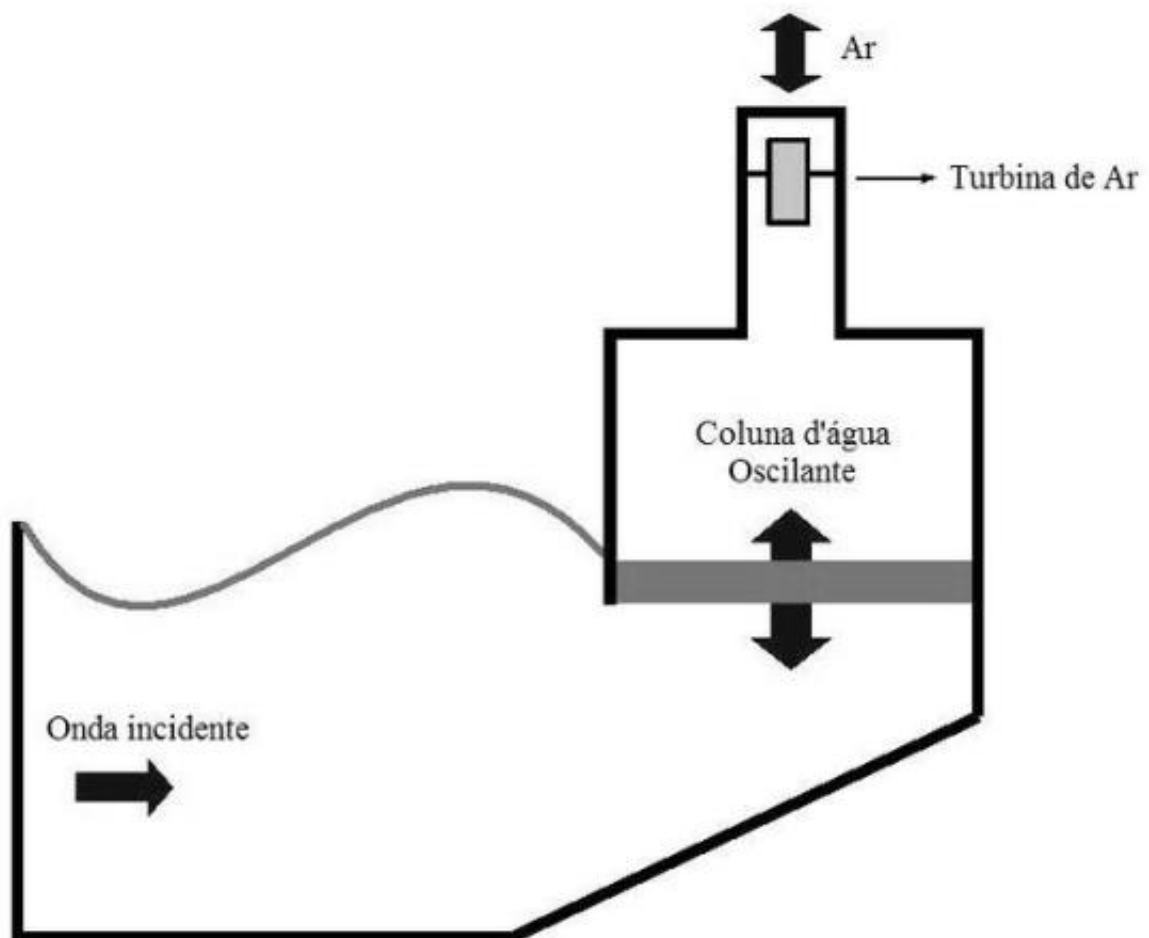
2.4.1 DISPOSITIVOS *SHORELINE*

Nos dispositivos *shoreline* os equipamentos são fixos e instalados na costa. Pela sua localização, estes dispositivos possuem como vantagens a facilidade de instalação e manutenção, inexistência de grandes extensões de cabos submarinos e de sistemas de fixação complexos. Por outro lado, ainda pela sua localização, estes dispositivos possuem a desvantagem de não aproveitar as ondas que possuem maior potencial energético, que seriam as ondas localizadas em grande profundidade. O atrito entre o fundo do mar e as ondas causam o efeito de dissipação de energia, ocorrem principalmente em profundidades inferiores a 80 metros e quando sujeitos à rebentação das ondas predominam em profundidades inferiores a 10 metros, podendo assim dizer que os dispositivos costeiros têm à disposição de 25 a 50% do recurso. Conhecendo esta condição, é possível contornar essa limitação no processo de escolha do local onde será implementado o dispositivo, optando por locais onde haja naturalmente uma concentração de energia. Na classificação dos dispositivos *shoreline* a que mais sobressai em número de aplicação são os dispositivos de Coluna de Água Oscilante (CAO), conforme apresentado na Figura 8 (CRUZ e SARMENTO, 2004).

O princípio de funcionamento dos dispositivos CAO, é, resumidamente, a estrutura oca do dispositivo fica parcialmente mergulhada na água e possui abertura em sua parte inferior para que haja entrada da água. O avanço da água sobre a estrutura força a saída do ar localizado

no interior da mesma, forçando-o a passar por uma turbina de vento, também acoplado na estrutura. A passagem do fluxo de ar faz com que a turbina gire, em consequência, gira também o eixo do gerador, produzindo então a eletricidade. Para esta finalidade, já foram desenvolvidas turbinas que apresentam um único sentido de rotação independente do sentido de escoamento do ar, chamadas de *turbinas Wells* (CRUZ e SARMENTO, 2004).

Figura 8 – Princípio de funcionamento CAO



Fonte: GOMES et al (2009)

Os dispositivos atuais que melhor representam esta forma de conversão são as centrais de energia das ondas OWC localizada em Portugal e LIMPET localizada na Escócia.

Figura 9 – Central OWC



Fonte: CRUZ e SARMENTO (2004)

A Central OWC está localizada na Ilha do Pico, Portugal. Esta central de conversão de energia das ondas contém uma *turbina Wells* com velocidade variável, sua velocidade síncrona tem limitação inferior de 750 rpm e superior de 1500 rpm, essa turbina já está diretamente acoplada a um gerador de energia elétrica. A capacidade total de geração dessa central é de 400 kW. Sua construção ocorreu entre os anos de 1995 e 1999 por um grupo do Instituto Superior Técnico de Portugal o contou com a contribuição da universidade *Queen's University Belfast*, do Reino Unido e *University College Cork*, da Irlanda (MONTEIRO, 2009).

A Central OWC foi a pioneira no mundo ao incorporar energia elétrica gerada por um sistema ondomotriz em um sistema de energia elétrica. Mesmo que isso tenha ocorrido pontualmente e durante as fases de teste, foi de suma importância para o desenvolvimento de novas centrais de energia das ondas que surgiram em Portugal (CRUZ e SARMENTO, 2004).

Figura 10 – Central *LIMPET*



Fonte: DANTAS (2015)

A Central *LIMPET*, sigla para *Land Installed Marine Power Energy Transmitter*, localiza-se na Escócia, Reino Unido. A central conta com duas *turbinas Wells*, acopladas a geradores diferentes. A capacidade de geração de potência ativa em cada conjunto turbogerador é de 250 kW, sendo assim, a capacidade de produção total dessa central é de 500 kW (MONTEIRO, 2009).

Esta central foi a pioneira em explorar o potencial de energia ondomotriz para produção de energia elétrica comercialmente no Reino Unido. Seu projeto foi feito pela empresa escocesa *Wavegen* e teve a contribuição da universidade *Queen's University of Belfast*, também do Reino Unido, da Comunidade Europeia e também do Instituto Superior Técnico de Portugal (MONTEIRO, 2009).

2.4.2 DISPOSITIVOS *NEARSHORE*

Os dispositivos *nearshore* estão próximos à costa, como citado anteriormente, a “proximidade” da costa deve ser entendido em condições de profundidade, sendo de 8 a 20 metros, o que pode variar a uma distância de 10 a 15 km da costa (MONTEIRO, 2009).

Os dispositivos CAO inseridos em quebra-mares ou molhes podem ser inclusos nesta categoria, dado que essas estruturas artificiais não são construídas na linha de costa natural.

Inserir os dispositivos neste tipo de estrutura (quebra-mares ou molhes) pode trazer vantagens adicionais ao sistema, afinal na maioria dos casos a estrutura já existe e uma estrutura adicional, no caso o dispositivo CAO, acaba reforçando o objetivo inicial da estrutura de proteção costeira (CRUZ e SARMENTO, 2004).

Para exemplificar o uso de dispositivos *nearshore*, será apresentado um dispositivo CAO que se enquadra na categoria, *Central Energetech*.

Figura 11 – Central Energetech



Fonte: MURDOCH (2019)

A *Central Energetech* foi fabricada pela empresa *Energetech Pty Ltd* e se trata de um dispositivo que tem como princípio de funcionamento o tipo CAO, possuindo uma parede parabólica para concentrar a energia proveniente das ondas. Essa central possui algumas diferenças em relação a outras centrais europeias, pois se trata de uma localização próxima a costa e possui controle eletrônico para monitorar o passo da hélice da turbina. A introdução do controle tem o objetivo de amplificar o rendimento da turbina (MONTEIRO, 2009).

A conclusão das obras dessa central foi em dezembro de 2006. Encontra-se localizada no quebra-mar de *Port Kembla Harbour*, Austrália (MONTEIRO, 2009).

2.4.3 DISPOSITIVOS OFFSHORE

Os dispositivos *offshore* são os mais recentes, até chamados de terceira geração. Esses dispositivos se localizam afastados da costa, em zonas profundas e, portanto, conseguem se beneficiar de regimes de onda mais energéticos. Por outro lado, estes regimes de onda acarretam no uso de sistemas mecânicos mais aprimorados no que diz respeito a forma de fixação dos dispositivos e também para transmissão de energia elétrica. Estes dispositivos devem encontrar-se na superfície da água ou muito próximos a ela, necessitando de mecanismos sofisticados para sua amarração ao fundo do mar e também a utilização de cabos submarinos que levarão toda a energia que foi produzida pela central até o continente (MONTEIRO, 2009).

Conhecendo as necessidades especiais deste tipo de dispositivo, entendemos porque os projetos apresentam custo elevados e perda de energia considerável.

Para exemplificar o uso dos dispositivos *offshore*, serão apresentados o sistema PELAMIS, Reino Unido, e AWS, Holanda.

Figura 12 – Dispositivo PELAMIS



Fonte: MURDOCH (2019)

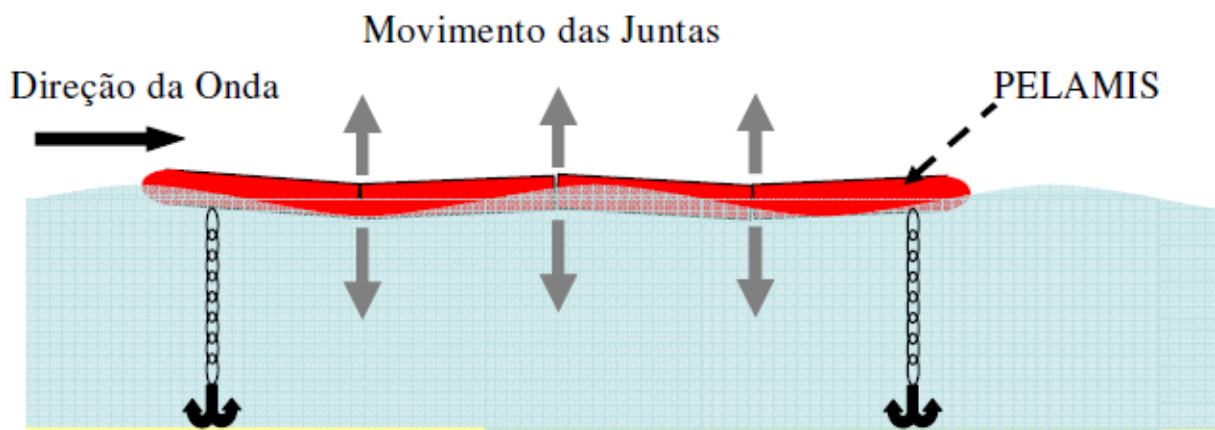
O dispositivo PELAMIS foi desenvolvido pela empresa escocesa *Ocean Power Delivery Ltd.* Este dispositivo de conversão de energia das ondas é do tipo progressivo, que são

sistemas que possuem dimensões longitudinais da ordem do comprimento de onda e estão posicionados no mesmo sentido em que a onda se propaga, gerando efeito de bombeamento progressivo (CRUZ e SARMENTO, 2004).

O sistema completo é formado por quatro segmentos que ficam moderadamente imersos na água. As interligações destes segmentos são feitas por articulações da classe de juntas universais. No interior destas juntas estão introduzidas acumuladores, bombas hidráulicas, motores hidráulicos e geradores elétricos (MONTEIRO, 2009).

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte forma: as ondas provocam um movimento vertical nas juntas universais. Este movimento ativa as bombas hidráulicas situadas internamente em cada junta. Na continuidade, as bombas forçam um fluido no acumulador. A liberação do fluido no acumulador em alta pressão faz com que os motores girem e acionem os geradores de energia elétrica (MONTEIRO, 2009).

Figura 13 – Princípio de funcionamento dispositivo PELAMIS



Fonte: MONTEIRO (2009)

O protótipo PELAMIS foi concluído no ano de 2004 e está localizado no Reino Unido, possui uma capacidade de geração de 750 kW e tem 120 metros de comprimento longitudinal (MONTEIRO, 2009).

Figura 14 – Dispositivo AWS



Fonte: MURDOCH (2019)

O dispositivo AWS, sigla para *Archimedes Wave Swing*, seu desenvolvimento foi iniciado em 1994 na Holanda. O princípio de funcionamento deste dispositivo é o de corpos oscilantes, mas diferente do PELAMIS, sua absorção é pontual (CRUZ e SARMENTO, 2004).

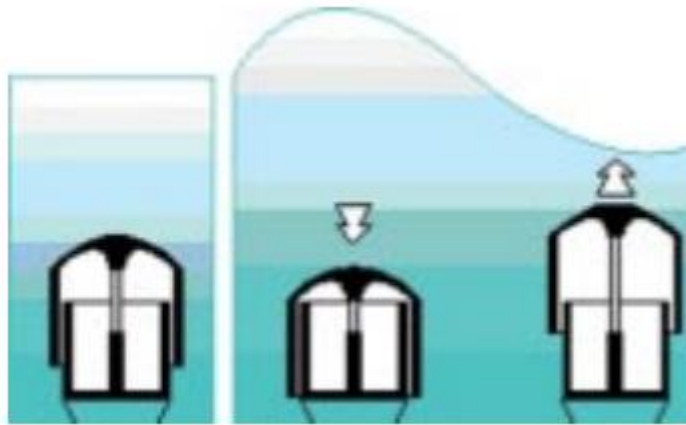
Uma vantagem em usar dispositivos que utilizam a classe de corpos oscilantes de absorção pontual como princípio de funcionamento, quando comparado ao progressivo, é que o comprimento longitudinal necessário é muito menor que o comprimento de onda do local onde será inserido (MONTEIRO, 2009).

O AWS é constituído por dois cilindros ocos, colocados um em cima do outro, no interior dos cilindros contém ar pressurizado com pressão suficiente para equilibrar o peso do cilindro superior e também da coluna de água externa que também sustenta. A base é fixada no fundo do mar e o cilindro superior fica livre para movimentar-se verticalmente em relação à base (MONTEIRO, 2009).

Com a presença das ondas há uma variação na pressão exterior que acaba fazendo com que o cilindro superior realize movimentos oscilatórios verticais em relação à base. Com a movimentação das ondas o cilindro superior realiza os movimentos para cima e para baixo, quando a onda está na crista (ponto mais alto), o cilindro desce (variação de pressão positiva),

e quando a onda está na depressão (ponto mais baixo), o cilindro sobe (variação de pressão negativa) (MONTEIRO, 2009).

Figura 15 – Princípio de funcionamento dispositivo AWS



Fonte: CRUZ e SARMENTO (2004)

A energia elétrica é produzida a partir do gerador linear de energia elétrica que é acionado pelos movimentos do cilindro (MONTEIRO, 2009).

Toda energia elétrica gerada pela AWS é conduzida até o continente através de cabos submarinos que interligam o dispositivo à uma central de energia terrestre (MONTEIRO, 2009).

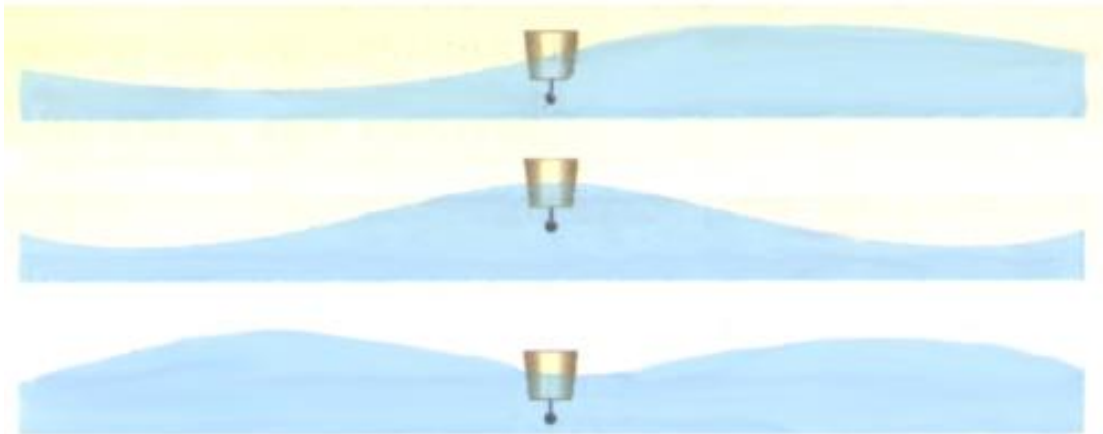
2.5 GERADOR POR INDUÇÃO MAGNÉTICA

Um gerador elétrico é um dispositivo utilizado para a conversão de diferentes formas de energia em energia elétrica. No caso deste projeto, o gerador elétrico fará a conversão da energia mecânica das ondas em energia elétrica.

O gerador utilizado é baseado no princípio de indução magnética. Segundo a Lei de Faraday-Lenz, de forma resumida, ao variar o fluxo magnético gera-se uma corrente induzida no circuito, onde a presença dessa corrente cria um campo magnético, que, por sua vez, esse campo magnético se opõe à variação do fluxo responsável pela criação da corrente (BARRETO, 2016).

A definição de onda é um movimento que foi causado por alguma perturbação e que se propaga através de um meio. Uma onda é capaz de transportar apenas energia, ou seja, não é capaz de transportar matéria (BORBA, 2014).

Figura 16 – Movimento do flutuador na onda



Fonte: BORBA (2014)

Como pode ser observado na Figura 16, o movimento realizado pelo flutuador é apenas um movimento vertical. Como o ímã e a vareta também estão fixados no flutuador, consequentemente, também possuem movimento vertical.

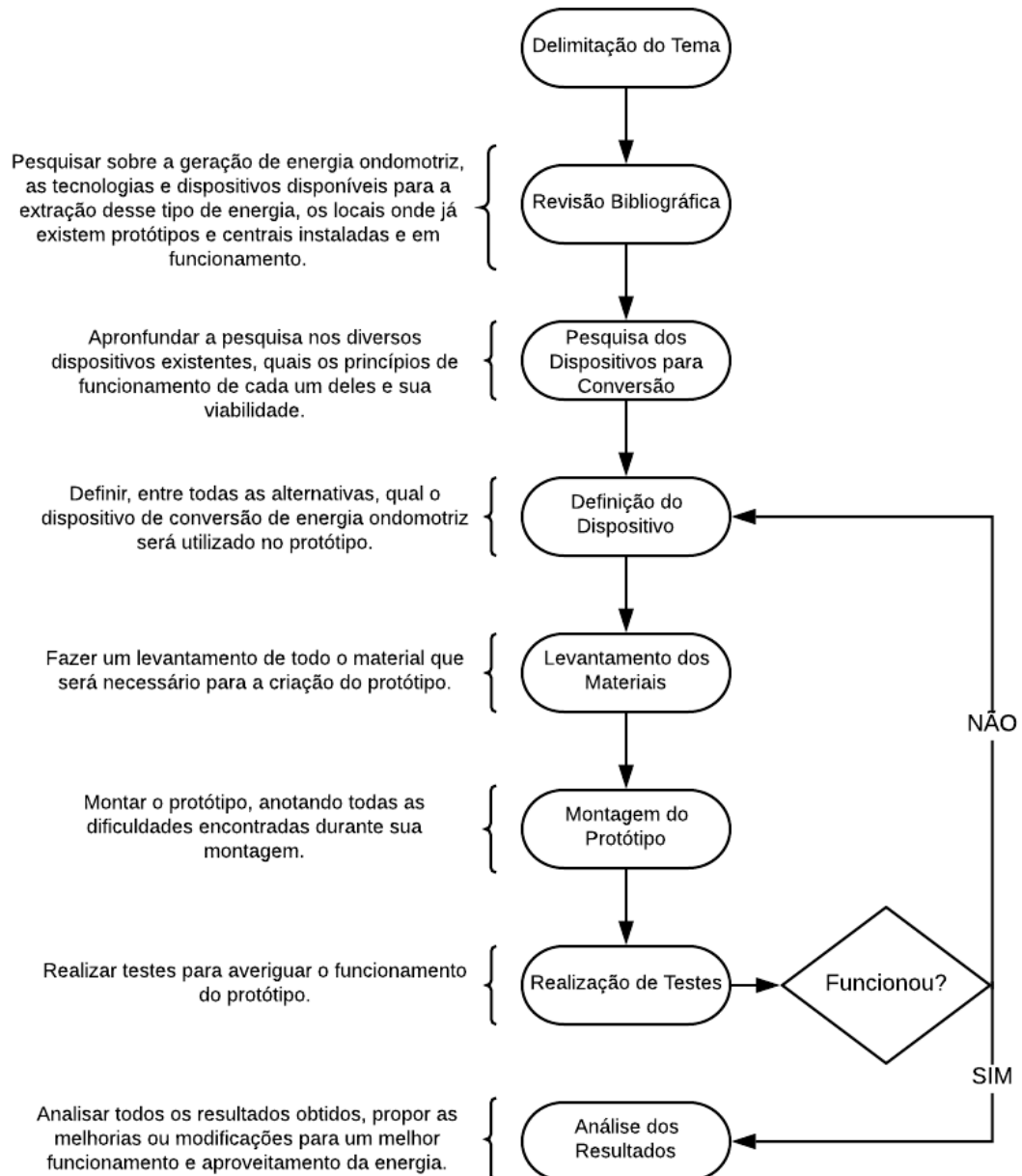
O funcionamento do protótipo ocorre de forma que, na presença das ondas, o flutuador se movimenta verticalmente, movimentando então o ímã dentro da bobina.

A aplicação prática da Lei de Faraday-Lenz ocorre com a aproximação do ímã e da bobina, aumentando, por um intervalo de tempo, o fluxo magnético por meio da espira. A corrente induzida gerada pela variação do fluxo magnético cria um campo magnético. Esse campo magnético se opõe ao fluxo magnético para anulá-lo, tendo o campo magnético em sentido oposto ao do ímã. Quando o ímã se afasta, a corrente induzida cria um campo magnético que impeça a diminuição do fluxo magnético, tendo então o campo magnético com o mesmo sentido do campo magnético ímã.

3 DESENVOLVIMENTO

O projeto contou com várias etapas de desenvolvimento, essas etapas estão definidas na Figura 17.

Figura 17 – Fluxograma do desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autoria Própria

O fluxograma da Figura 17 apresenta as etapas do processo. Resumidamente, após a delimitação do tema iniciou a revisão bibliográfica, com um maior conhecimento sobre a geração de energia ondomotriz foi possível aprofundar a pesquisa sobre os dispositivos de conversão disponíveis. Num primeiro momento foi decidido o uso de um dispositivo CAO, onde a variação da pressão existente dentro da câmara de ar seria responsável por girar a turbina ligada ao gerador, e por fim, gerar energia elétrica. Tomada essa decisão foi realizado o levantamento dos materiais necessários e a montagem do protótipo. Na realização dos testes foi possível perceber que, em pequena escala, o fluxo de ar presente na câmara do protótipo não seria suficiente para acionar as turbinas. Concluindo isso, foi escolhido um novo dispositivo, dessa vez utilizando de um flutuador e um gerador por indução. Nas etapas seguintes realizou-se o levantamento dos materiais, a montagem do protótipo, realização de testes e análise dos resultados.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

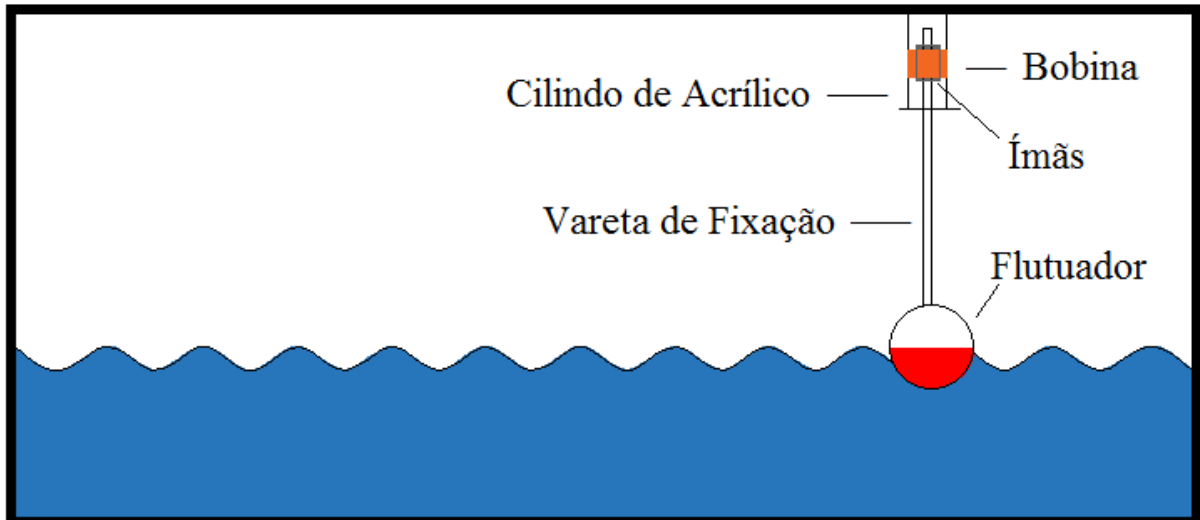
Para a montagem do protótipo foi utilizado um tanque de ondas, uma estrutura para gerar e simular as ondas, um flutuador e o gerador. Todos os materiais e as quantidades necessárias para a construção do protótipo estão descritos na Tabela 2:

Tabela 2 – Materiais utilizados na montagem Protótipo

Quantidade	Tipo de Material	Dimensão
1	Reservatório de Vidro	76 cm x 35 cm x 33 cm
1	Bola de Isopor	100 mm
-	Fio de Cobre Esmaltado	32 AWG
1	Cilindro de Acrílico	14 cm x 2,5 cm
6	Ímãs de Neodímio	4 cm x 1,5 cm x 0,1 cm
1	Vareta de fixação	15 cm
1	LED	-
1	Fita Isolante	-

A Figura 18 é um esboço idealizado, desenhado no AutoCAD do protótipo, onde é possível visualizar o flutuador, a bobina do gerador e o ímã que passa em seu interior.

Figura 18 – Esboço do protótipo



Fonte: Autoria Própria

3.2 MONTAGEM DO GERADOR

Para a montagem do gerador foi usado fio de cobre esmaltado de 32 AWG, cilindro de acrílico, fita isolante, bola de isopor e os ímãs de neodímio.

O cilindro de acrílico foi usado como base, em seu exterior a bobina, com seu enrolamento em fio de cobre e o ímã se movimenta em seu interior.

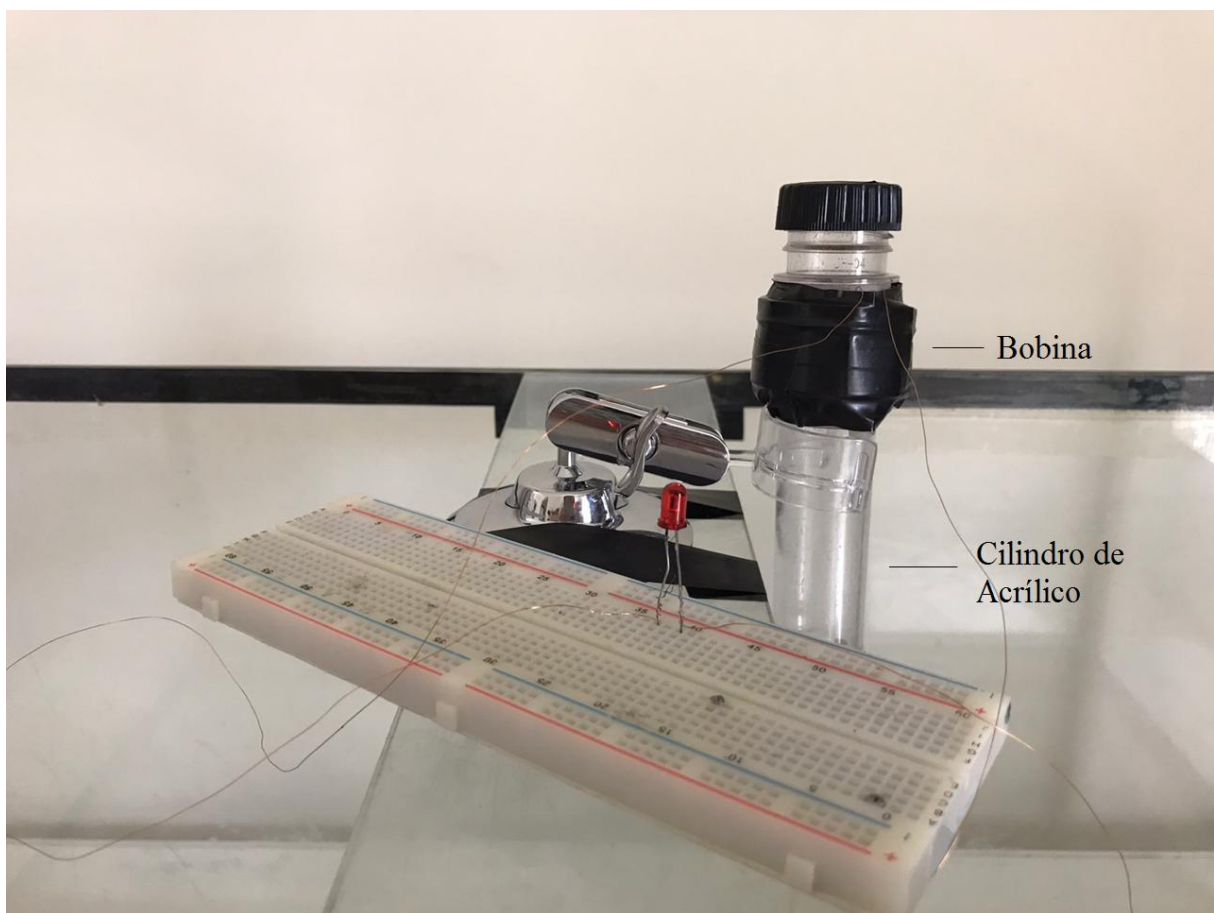
A bitola do fio de cobre foi determinada partindo do conhecimento de que quanto mais fino o fio, maior o número de espiras na forma e então maior será a tensão produzida, porém a corrente é menor. A finalidade do protótipo é demonstrar que há geração de energia, então, a tensão e corrente produzidas devem apenas acender um LED. O LED utilizado necessita de uma corrente de 20 mA e uma faixa de tensão entre 1,8 V e 2 V. A baixa corrente exigida pelo LED nos permite utilizar o fio de cobre mais fino, que produz um valor de tensão mais significativo.

A bobina, como citado anteriormente, foi criada usando como base o cilindro de acrílico. Foi delimitada uma área com 3 cm de largura para que o movimento do ímã seja possível. A bobina possui um total de 3000 espiras. Após a conclusão do enrolamento da bobina, ela foi revestida de fita isolante e, em seguida, colocado um anel de lata, que tem como função aumentar a concentração do campo magnético gerado entre a bobina e o ímã.

O ímã foi fixado em uma vareta, a qual está fixada na bola de isopor, que no projeto tem a função de flutuador. A movimentação das ondas faz com que o flutuador altere a posição do ímã dentro do cilindro, onde está feito o enrolamento.

Na Figura 19 está a versão final do gerador, contendo então o enrolamento da bobina e o anel de lata, usado para concentração do campo magnético, cobertos pela fita isolante, a tampa do cilindro que foi usada para limitar a passagem do ímã, a base fixadora para o gerador e as saídas do gerador ligadas ao LED.

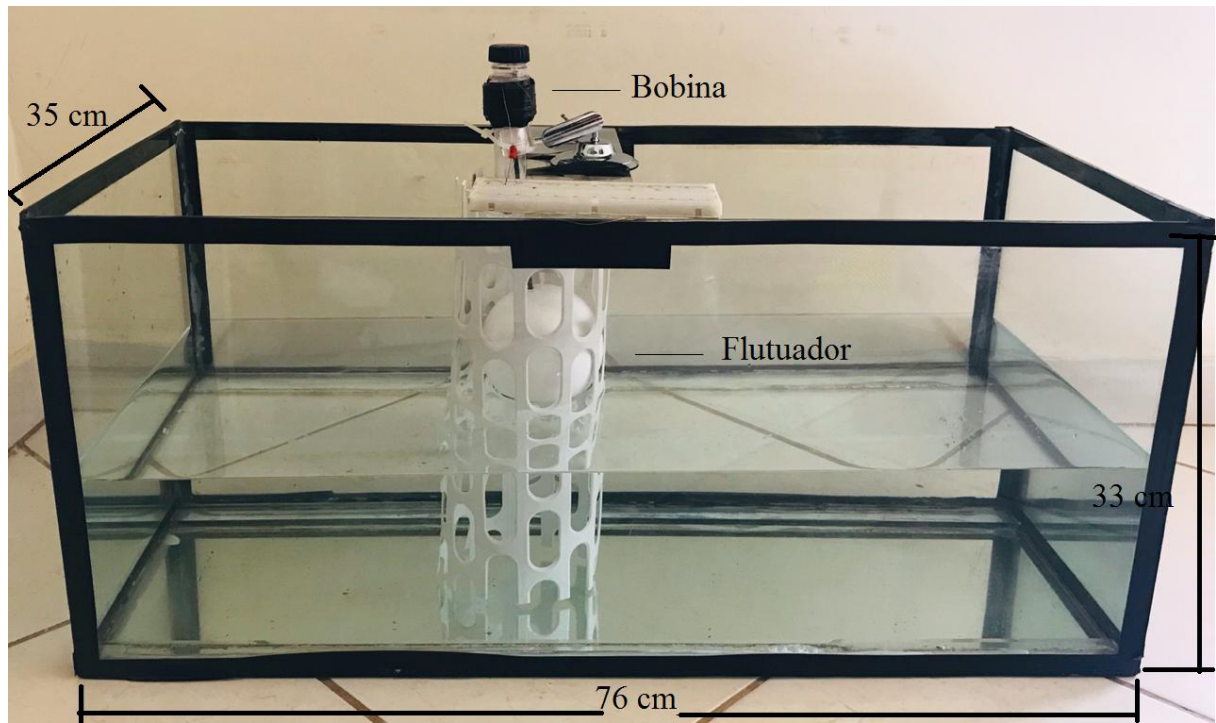
Figura 19 – Gerador por indução confeccionado para o protótipo



Fonte: Autoria Própria

Com base no pré-projeto da Figura 18, a Figura 20 apresenta a versão do conjunto final do protótipo conversor de energia ondomotriz.

Figura 20 – Protótipo finalizado



Fonte: Autoria Própria

4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

4.1 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Com a montagem final do protótipo, foram realizadas as medições de tensão da saída do gerador. Foram testados diferentes níveis de água dentro do tanque de ondas para observar a movimentação do flutuador. As ondas foram simuladas manualmente.

Como a geração de energia ocorre pela variação do fluxo magnético que acontece com o deslocamento do ímã dentro da bobina, então se o ímã acabar deslocado muito além dos limites da bobina não haverá geração de energia. Com esse conhecimento, a parte superior do gerador foi fechada para limitar o movimento do ímã, a limitação para a parte inferior ocorre pela vareta e o flutuador.

Para obter os resultados de medição foi utilizado um multímetro com sua escala configurada para medição de tensão em corrente alternada. As ponteiros do multímetro, sendo uma positiva e uma negativa, foram ligadas aos dois fios de saída do gerador. Por se tratar de uma medição de tensão em corrente alternada não importa em qual fio da saída do gerador serão ligadas as ponteiros do multímetro. A dificuldade da leitura dessa medição ocorre porque a passagem do ímã gera picos de medidas, o valor máximo obtido na leitura do multímetro foi de 3,5 V.

Para demonstrar de forma mais visível o funcionamento do gerador, optou-se por ligar um LED às saídas do gerador, por se tratar de uma tensão alternada, não importa a polaridade. O LED acendeu de acordo com o esperado. O valor de tensão encontrado é maior do que o necessário para o acendimento de apenas um LED, então em um dos ensaios foram ligados dois LEDs associados em série, para que haja queda de tensão.

O protótipo teve seu funcionamento como o esperado. Como a tensão alternada gerada foi de 3,5 V, foi possível o acendimento de até dois LEDs. Durante o primeiro ensaio, ligando um LED à saída do gerador, foi possível observar que a velocidade em que o ímã percorre o interior da bobina não é suficiente para que a luz emitida seja contínua. No ensaio com os dois LEDs associados em série e ligados à saída do gerador, foi possível observar que os LEDs emitiam luz alternadamente entre eles, sem diminuição da intensidade. Como a velocidade do movimento do ímã é determinada pelo flutuador e pela gravidade, essa é uma limitação do protótipo.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dos objetivos específicos citados, a realização da revisão bibliográfica sobre as diferentes fontes de geração de energia renovável possibilitou enxergar que o crescimento exponencial que ocorreu nos últimos anos, em especial com a energia eólica e a energia solar fotovoltaica, se dão por incentivos em pesquisas nessa área.

A pesquisa sobre as principais formas de geração de energia em áreas remotas, como no caso das ilhas, mostrou que essas localizações são prejudicadas com a distância entre elas e o continente. As opções são poucas, a geração de energia ocorre por geradores a diesel, energia solar fotovoltaica e, em um caso encontrado, um sistema híbrido entre a energia solar fotovoltaica e energia eólica. Em geral, mesmo as localidades que possuem sistemas fotovoltaicos e/ou eólicos, acabam tendo a opção de acionar seus geradores, sendo usados durante a noite.

Com o foco ainda em áreas remotas do litoral e em fontes de energia renováveis, foi desenvolvido o projeto de um sistema gerador de energia elétrica baseado na movimentação das ondas do mar. Esse sistema não possui limitação de horário de uso.

Para provar o funcionamento do projeto proposto, foi criado um protótipo em pequena escala. O sistema conversor de energia conta com um gerador por indução magnética. O funcionamento do protótipo ocorreu como o esperado.

Entre os problemas enfrentados para a montagem do protótipo estão o tamanho do tanque de ondas, o local para a fixação do gerador para melhor aproveitar o movimento das ondas, material do flutuador e o nível ideal de água dentro do tanque.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolver e construir um protótipo para demonstrar o funcionamento de um dispositivo conversor de energia ondomotriz em energia elétrica. Com o protótipo foi possível compreender melhor o princípio de conversão para esse dispositivo e também as dificuldades encontradas. A partir desses conhecimentos, é possível o planejamento de um protótipo em escala real.

É importante considerar que, inicialmente, esse projeto foi idealizado com outro dispositivo de geração de energia ondomotriz, dificuldades foram encontradas e então a obrigação de procurar um novo dispositivo.

A maior parte dos materiais utilizados foram reciclados, o tanque de ondas, o cilindro de acrílico que serviu como base para o gerador, os ímãs de neodímio foram retirados de antigos computadores e o anel de lata utilizado para concentração do campo magnético. A utilização de materiais recicláveis diminui o custo de construção do protótipo.

A confecção do gerador por indução apresentou suas dificuldades, ao total foram 4 enrolamentos de bobinas, nas duas primeiras tentativas os fios de cobre utilizados tinham uma bitola de 23 AWG, impossibilitando grande número de espiras e assim não produzindo a tensão necessária e uma corrente acima do necessário para o fim desejado. Na terceira tentativa já foi utilizado fio com bitola de 32 AWG mas não possuía espiras suficientes para produzir uma tensão significativa. Por fim, na quarta tentativa, com um total de 3000 espiras o gerador teve o desempenho esperado.

Com a finalização da montagem do protótipo, foram realizados os testes finais obtendo o valor de 3,5 V de tensão alternada.

Conclui-se que a montagem deste protótipo contribuiu e demonstrou que há a possibilidade de utilizar a energia das ondas do mar para geração de energia elétrica. A busca por novas fontes de energia renováveis é tão intensa, sendo o Brasil um país com uma grande extensão litorânea e com grande potencial nas ondas oceânicas, possuindo tantas áreas remotas que podem vir a ser beneficiadas, é possível investir e intensificar estudos nessa área para enfim utilizar dessa fonte de energia inesgotável.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Para a confecção de trabalhos futuros o ideal seria a utilização de um tanque de ondas com dimensões maiores, comprimento, altura e largura. A movimentação da água dentro de um tanque pequeno não permite que o flutuador execute o movimento completo da onda, pois no momento que a água se choca com as paredes do protótipo, elas acabam alterando o movimento de outra onda subsequente.

O local para a fixação do gerador deve ocorrer onde haja os melhores movimentos da onda, nesse caso observar onde há a crista e a depressão melhor desenhada.

O flutuador utilizado neste presente trabalho foi uma bola de isopor, por se tratar de um material muito leve também dificultou o movimento completo do flutuador na onda. O uso de outro material ou a utilização de um peso sobre o flutuador ajudaria na resolução desse problema.

O nível da água dentro do tanque está diretamente ligado ao tamanho do mesmo. Conforme as dimensões do tanque aumentem, é possível utilizar uma quantidade maior de água e assim realizar testes que possam testar a teoria da perda de energia pelo atrito com o fundo do tanque.

REFERÊNCIA

ANEEL, A. D. E. **Relatório ANEEL 10 anos**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª ed, 2008.

ASSIS, L.E. **Avaliação e Aproveitamento da Energia de Ondas Oceânicas no Litoral do Rio Grande do Sul**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2010.

BARRETO, V. P. M. **Uma abordagem experimental física sobre freio magnético e corrente de Foucault**. Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

BORBA. **Ondulatória**. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/3144798/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CLÉMENT, A., MCCULLEN, P., FALCÃO, A., FIORENTINO, A., GARDNER, F., HAMMARLUND, K., LEMONIS, G., LEWIS, T., NIELSEN, K., PETROCINI, S., PONTES, T., SCHILD, P., SJÖSTRÖM, B. O., SØRENSEN, H. C., THORPE, T. **Wave Energy Utilization in Europe: Current Status and Perspectives**. Center of Renewable Energy Sources, Grécia, 2002.

COLAFERRO, L. **Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

CRUZ, J. M. B. P., SARMENTO, A. J. N. A. **Energias das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais**. Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004. Disponível em: <http://energiasrenovaveis.com/images/upload/Energias_ondas_Cruz_1.pdf>. Acesso em 06 sep. 2019.

DANTAS, C. E. B. **Estudo dos Conversores de Energia Ondomotriz em Energia Elétrica**. Brasília, 2015.

ECHARRI, L. **Ciencias de la tierra y del medio ambiente: Bachillerato: ciencias de la naturaleza y de la salud**. Teide, 1998.

EÓLICA, Geração. **Energia Eólica Atinge 15 GW em Capacidade Instalada no Brasil**. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53096013/energia-eolica-atinge-15-gw-em-capacidade-instalada-no-brasil>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2019: ano base 2018**. Ministério de Minas e Energia (MME), Rio de Janeiro, 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Calculadora 2050**. Disponível em:

<<http://calculadora2050brasil.epe.gov.br/assets/onepage/12.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ÉPOCA, Negócios Online. **Uso de energia renovável cresce, mas não impede recorde histórico de emissão de CO₂**. Disponível em:

<[://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2019/04/uso-de-energia-renovavel-cresce-mas-nao-impede-recorde-historico-de-emissao-de-co2.html](http://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2019/04/uso-de-energia-renovavel-cresce-mas-nao-impede-recorde-historico-de-emissao-de-co2.html)>. Acesso em 10 out. 2019.

ESTEFEN, S. **Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar**. Reportagem do Seminário Internacional de Energia das Ondas. COPPE-UFRJ, 2004.

GOMES, M. D. N., ISOLDI, L. A., OLINTO, C. R., ROCHA, L. A. O., SANTOS, E. D. D., & SOUZA, J. A. **Modelagem computacional de um dispositivo do tipo coluna de água oscilante para a costa de Rio Grande**. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2009.

KAWANO, M. **Geração de Energia Elétrica por Ondas Marinhas Gerenciadas Por Microcontroladores**. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2015.

MARTÍN, J. J. N. **Avaliação Econômica das Ondas do Mar**. COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

MONTEIRO, T. M. **Análise de gerador de indução para produção de energia elétrica a partir das ondas do mar**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MUETZE, A., VINING, J. G. **Ocean Wave Energy Conversion - A Survey**. University of Wisconsin, Madison, 2006.

MURDOCH, University. **Wave**. Disponível em: <<http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/wave/#ref>>. Acesso em: 10 set. 2019.

PONTES, M.T, FALCÃO, A.F. **Ocean Energies: Resources and Utilisation**. 18th World Energy Conference, Buenos Aires, Argentina, 2001.

REUTERS. **Hidrelétrica perde espaço no Brasil com expansão das usinas eólicas e da geração solar**. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/economia/noticia/2019/09/20/hidreletrica-perde-espaco-no-brasil-com-expansao-das-usinas-eolicas-e-da-geracao-solar.ghtml>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SANTOS, I. F. S. dos; BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T. **Análises Econômicas, de Sensibilidade e Elasticidade em Projetos de Energias Renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energia, Itajubá, v. 21, n 2, p. 7-28, 2º sem 2015.

SILVA, P., BARBOSA, T., PAES, M. **Energia das Ondas, Evolução Histórica**. Universidade Nova de Lisboa. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/energiadasondas/evolucao-historica>>. Acesso em 06 set. 2019.

SIMÃO, L. C. et al. **Modelagem Matemática e Hidrodinâmica do Sistema de Acoplamento Maremotriz-Gerador**. Augusto Guzzo Revista Acadêmica, São Paulo, v. 2, n. 16, p. 269-293, dec. 2015. ISSN 2316-3852. Disponível em: <http://www.fics.edu.br/index.php /augusto_guzzo/article/view/298>. Acesso em: 04 sep. 2019.