



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DO USO DE ENERGIA RENOVÁVEL NAS ZONAS
COSTEIRAS POR ONDAS, MARÉS, E VENTOS**

Trabalho apresentado por:

JÉSSICA DA SILVA ARAGÃO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

BELÉM

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DO USO DE ENERGIA RENOVÁVEL NAS ZONAS
COSTEIRAS POR ONDAS, MARÉS, E VENTOS**

Trabalho apresentado por:

JÉSSICA DA SILVA ARAGÃO

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Leilanne Almeida Ranieri

BELÉM

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

A659e Aragão, Jéssica da Silva
Estudo do uso de energia renovável nas zonas costeiras por
ondas, marés, e ventos / Jéssica da Silva Aragão. — 2019.
xiv, 89 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Leilanne Almeida Ranieri
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2019.

1. Energia elétrica. 2. Fontes renováveis. 3. Processos
oceanográficos. 4. Vento. 5. Zona costeira amazônica. I.
Título.

CDD 333.794



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DO USO DE ENERGIA RENOVÁVEL NAS ZONAS
COSTEIRAS POR ONDAS, MARÉS, E VENTOS**

TRABALHO APRESENTADO POR:

JÉSSICA DA SILVA ARAGÃO

Como requisito à obtenção do grau de Bacharelado em OCEANOGRAFIA

Data de aprovação: 05/07/2019

Banca examinadora:

Leilanne A. Ranieri

Profª. Drª. Leilanne Almeida Ranieri – Orientadora
(Doutora em Geologia – UFPA)

Estanislaw Luczynski

Prof. Estanislaw Luczynski – Membro
(Doutor em Energia – UFPA)

Carlos Augusto Correa Mendes

Msc. Carlos Augusto Correa Mendes – Membro
(Mestre em Engenharia Naval – UFPA)

Aos meus pais, com todo amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, por todo o apoio incondicional. Obrigada pai, por sempre cuidar de todos nós!

Agradeço aos amigos que fiz ao longo do curso, em especial, Renata, Luma, Gabriel, Marcus, Augusto e Fabrício.

Agradeço aos amigos que me incentivaram sempre, Marco e Samires.

Agradeço a minha linda orientadora Prof^ª. Dr^ª. Leilanne Almeida Ranieri por acreditar em mim, quando pensei em largar tudo no final.

Agradeço ao LABOGEO e ao GEMC, pelo apoio na realização deste trabalho.

Agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma, seja emprestando um lápis, ou uma caneta.

Agradeço a Deus, por me abençoar sempre. Obrigada.

*“And don't forget son, there is someone up
above...”*

Simple Man - Lynyrd Skynyrd

RESUMO

A energia elétrica é essencial para o funcionamento de uma sociedade moderna, tanto para criação de bens de uso geral, como para o fornecimento de muitos serviços com os quais a população se beneficia. Contudo, um dos principais problemas encontrados hoje, está relacionado à geração de energia no futuro, pois o crescente uso de combustíveis fósseis tem ocasionado um grande impacto ambiental. A matriz elétrica mundial tem em sua maioria a utilização de fontes não renováveis para a geração de energia elétrica. No Brasil, as fontes renováveis representaram 83,2% da capacidade instalada de geração de energia elétrica, principalmente fontes hidráulicas. Ainda assim, há necessidade de sua diversificação por outras fontes renováveis, principalmente no contexto mundial. Neste trabalho, foram escolhidas as principais energias que atingem o litoral como fonte alternativa de geração de energia elétrica: a energia dos ventos, das ondas e da maré. Sendo o objetivo fornecer informações sobre o uso de recursos naturais renováveis do litoral, para produção de energia elétrica. De acordo com dados divulgados pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), a fonte eólica, deve crescer mais meio ponto percentual em 2019 e ultrapassar a biomassa até 2021. Por outro lado, o Brasil ainda é muito atrasado na utilização das ondas e das marés como fonte de energia, em comparação com alguns países europeus. A partir de levantamentos de dados bibliográficos sobre velocidades dos ventos, correntes e amplitude de maré, ainda altura das ondas, foi possível inferir um mapa sobre potenciais áreas para instalação de dispositivos para aproveitamento energético na Zona Costeira Amazônica (ZCA). A principal dificuldade em relação ao trabalho, foi o número de referências específicas sobre o tema para o Brasil que é muito limitada, bem como de informações mais precisas sobre dados oceanográficos na ZCA, não possibilitando uma ampla comparação de dados, restringindo os resultados e discussão.

Palavras-chave: Energia elétrica. Fontes renováveis. Processos oceanográficos. Vento. Zona costeira amazônica.

ABSTRACT

Electric power is essential for the functioning of a modern society, both for the creation of general purpose goods and for the provision of many services with which the population benefits. However, one of the main problems encountered today is related to the generation of energy in the future, as the increasing use of fossil fuels has caused a great environmental impact. The world's electricity matrix has in its majority the use of non-renewable sources for the generation of electric energy. In Brazil, renewable sources accounted for 83.2% of the installed capacity of electricity generation, mainly hydroelectric sources. Nevertheless, there is a need for its diversification by other renewable sources, especially in the global context. In this work, the main energies that reach the coast as an alternative source of electricity generation were chosen: the energy of the winds, the waves and the tide. The objective is to provide information on the use of renewable natural resources of the coast, for the production of electric energy. According to data released by the Brazilian Wind Energy Association (ABEEólica), the wind power source is expected to grow by more than half a percentage point in 2019 and exceed biomass by 2021. On the other hand, Brazil is still very behind in the use of waves and tides as an energy source compared to some European countries. Based on bibliographic data on wind velocities, currents and tidal amplitude, it was possible to infer a map about potential areas for the installation of devices for energy use in the Amazon Coastal Zone (ZCA). The main difficulty in relation to work was the number of specific references to the topic for Brazil that is very limited, as well as more precise information on oceanographic data in the ZCA, not allowing a broad comparison of data, restricting results and discussion.

Keywords: Electric power. Renewable sources. Oceanographic processes. Wind. Amazon coastal zone.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Interação entre fontes primárias e secundárias de energia.....	19
Figura 2: Matriz Elétrica Mundial (%) em 2015.....	20
Figura 3: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.....	22
Figura 4: Energia eólica anual disponível em todo o mundo por Kilowatt classificado.....	26
Figura 5: Evolução das turbinas eólicas de 1985 a 2005.	27
Figura 6: Turbina eólica de eixo vertical.	28
Figura 7: Turbina eólica de eixo horizontal.	30
Figura 8: Condições necessárias para a formação de ondas do tipo swell.....	33
Figura 9: Distribuição mundial da densidade energética das ondas.....	34
Figura 10: Princípio de operação das usinas OWC.....	35
Figura 11: Turbina Wells.	36
Figura 12: Idealização da tecnologia tapered channel.	37
Figura 13: Vista lateral, superior, e funcionamento do dispositivo.	38
Figura 14: Sistema ConWEC.	38
Figura 15: Dispositivo Pato de Salter.....	39
Figura 16: Mapa mundial das instalações maremotrizes em operação comercial.	42
Figura 17: Locais com altura de maré superior a 5 metros.	43
Figura 18: Valores médios de variação da maré no litoral brasileiro.....	43
Figura 19: Maré astronômica.	44
Figura 20: O componente da maré lunar medido pelo satélite TOPEX / Poseidon dos EUA / França.....	45
Figura 21: Barragem de La Rance, na França. Energia é gerada tanto na maré enchente (1) quanto na maré vazante (2).	46
Figura 22: Possíveis aproveitamentos de energia de variação da altura de maré. (a) Barragem de maré. (b) Lagoa de maré junto à costa. (c) Lagoa de maré ao largo.	47
Figura 23: Funcionamento de uma central de aproveitamento da energia cinética das marés.....	48
Figura 24: Tipos de estruturas.....	49
Figura 25: Turbinas de eixo horizontal.	50
Figura 26: Turbina de eixo vertical.	51
Figura 27: O Walney Extension, maior parque eólico marítimo do mundo.	53
Figura 28: Exemplo de uma antevisão do <i>Mighty Whale</i>	54
Figura 29: Local de operação do projeto <i>Mighty Whale</i>	55

Figura 30: Vista aérea da usina de La Rance.	56
Figura 31: Local de instalação da usina MeyGen.	57
Figura 32: Desenho esquemático das turbinas de maré do projeto MeyGen.	57
Figura 33: Complexo Eólico de Osório- RS.	59
Figura 34: Imagem do projeto de Pecém.	60
Figura 35: Vista aérea da barragem Bacanga -MA.	62
Figura 37: (a) Estrutura onde foi instalada a turbina. (b) Polia conectada à turbina. (c) Alternador conectado à polia, utilizado como gerador.	63
Figura 36: Artesãos locais com a helicoidal.....	63
Figura 38: Zona Costeira Amazônica Brasileira.	65
Figura 39: Mapa de localização da Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCA): Setor 1. Amazônico Setor 2. Atlântico.	67
Figura 40: Mapa de Setorização da Zona Costeira do Estado do Maranhão (ZCM): 01. Golfão maranhense, 02. Litoral oriental, 03. Litoral ocidental 04. Baixada maranhense 05. Parcel Mauel Luís.....	69
Figura 41: Mapa de localização dos municípios na zona costeira do Estado do Pará e seus setores 1 (Costa Atlântica do Salgado Paraense), 2 (Continental Estuarino) e 3 (Insular Estuarino).	71
Figura 42: Potenciais áreas para implantação de projetos eólicos, ondomotriz e maremotriz, na Zona Costeira Amazônica.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.	23
Tabela 2: Parâmetros da geração através das ondas.....	41
Tabela 3: Parâmetros da geração de marés.	52

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3 RECURSOS ENERGÉTICOS	18
3.1 RECURSOS RENOVÁVEIS E RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS.....	19
3.2 MATRIZ ELÉTRICA.....	20
3.2.1 Matriz de energia elétrica no mundo	20
3.2.2 Matriz de energia elétrica do Brasil	21
3.3 RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS NO LITORAL.....	24
3.3.1 Energia Eólica	24
3.3.1.1 O que são Ventos?.....	25
3.3.1.2 Tecnologias de aproveitamento – turbinas eólicas.....	26
3.3.1.3 Tipos de sistemas eólicos.....	27
3.3.1.3.1 <i>Rotores de eixo vertical</i>	27
3.3.1.3.2 <i>Rotores de eixo horizontal</i>	28

3.3.1.4 Impactos ambientais.....	30
3.3.1.5 Custos.....	30
3.3.2 Energia das Ondas.....	31
3.3.2.1 O que são Ondas?.....	32
3.3.2.2 Dispositivos de conversão de energia de ondas.....	34
3.3.2.2.1 <i>Tecnologias onshore</i>	35
3.3.2.2.2 <i>Tecnologias nearshore</i>	37
3.3.2.2.3 <i>Tecnologias offshore</i>	39
3.3.2.3 Impactos ambientais.....	40
3.3.2.4 Custos.....	40
3.3.3 Energia das Marés.....	41
3.3.3.1 O que são Marés?.....	44
3.3.3.2 Conversão de energia das marés.....	46
3.3.3.3 Tipos de turbinas.....	49
3.3.3.3.1 <i>Turbinas de corrente de maré de eixo horizontal</i>	49
3.3.3.3.2 <i>Turbinas de corrente de maré de eixo vertical</i>	50
3.3.3.4 Impactos Ambientais.....	51
3.3.3.5 Custos.....	51
4 ESTUDOS DE CASO.....	53
4.1 ESTUDOS DE CASO NO MUNDO.....	53
4.2 ESTUDOS DE CASO NO BRASIL.....	58
5 ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA.....	64
5.1 ZONA COSTEIRA DO AMAPÁ.....	66
5.2 ZONA COSTEIRA MARANHENSE.....	68

5.3 ZONA COSTEIRA PARAENSE.....	70
5.4 POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS EÓLICO, ONDOMOTRIZ, E MAREMOTRIZ NA ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA.....	72
6 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A energia é uma das necessidades fundamentais de uma sociedade funcional. Ela é necessária para se criar bens com base em recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços com os quais temos nos beneficiado. A escala de seu uso está intimamente associada às suas capacidades e a qualidade de vida (Hinrichs e Kleinbach 2003) que os seres vivos experimentam.

A energia transpassa praticamente todos os setores da sociedade, sendo um bem essencial para nossa sobrevivência – moradia, alimentação, saúde, transporte, lazer e muito mais.

O fornecimento de energia não pode ser considerado um serviço como outro qualquer. Devido ao seu caráter especial, o acesso à energia elétrica é consignado como um direito na Constituição Política de certos Estados, tais como Nicarágua, República Democrática do Congo e Ilhas Maldivas. Além disso, a Declaração de Johannesburgo sobre Desenvolvimento Sustentável, adotada em 4 de setembro de 2002, na Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, atesta que o acesso à energia é um “requisito básico” (“*basic requirement*”). O Protocolo Adicional à Convenção Americana sobre Direitos Humanos em Matéria de Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (Protocolo de San Salvador) afirma que “toda pessoa tem direito a viver em um meio ambiente sadio e a contar com os serviços públicos básicos” (Brant 2016).

Um dos aspectos estratégicos para atender estas necessidades corresponde ao planejamento energético, que é fundamental para o desenvolvimento de qualquer país ou região. Segundo Hinrichs e Kleinbach (2003), entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais de sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão forte e intimamente conectados.

O segmento que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial. Em 2017, a oferta interna de energia (total de energia disponibilizada no país) atingiu 292,1 Mtep (10^6 toneladas equivalentes de petróleo), registrando um acréscimo de 1,3% em relação ao ano anterior. Parte deste aumento foi influenciada pelo comportamento das ofertas internas de gás natural e energia eólica, que subiram 6,7% e 26,5% no período, respectivamente. Contribuiu ainda para a expansão da oferta interna bruta a retomada da atividade econômica em 2017, ano em que o Produto Interno Bruto (PIB) nacional cresceu 1,0%, segundo o último dado divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), (BEN 2018).

No caso da energia elétrica verificou-se também um avanço na oferta interna de 4,6 TWh (10^{12} watt-hora), 0,7% em relação a 2016. Devido às condições hidrológicas desfavoráveis, houve redução de 3,4% da energia hidráulica disponibilizada em relação ao ano anterior. Apesar da menor oferta hídrica, a participação de renováveis na matriz elétrica atingiu 80,4% em 2017, fato explicado pelo avanço da geração eólica (BEN 2018).

Desde a modernização da sociedade de rural a urbana, e alguns eventos políticos, começando com o choque do petróleo em 1973 e continuando com a Revolução Iraniana de 1979, além da invasão do Iraque em 2003, fizeram muitos passarem a perceber quanto a energia é crucial para o funcionamento do cotidiano na sociedade. Contudo, também trouxeram uma crescente preocupação com o meio ambiente (Hinrichs e Kleinbach 2003).

Os problemas relacionados com o aquecimento global, a chuva ácida e os resíduos radioativos são temas preocupantes na atualidade, e cada um deles tem relação com a forma como produzimos e utilizamos a energia. Diante dessa realidade, novas fontes têm sido buscadas como forma não só de diversificar a matriz energética dos países ao redor do globo, mas também desenvolver alternativas que busquem uma redução dos impactos, principalmente de ordem ambiental, causados pela geração, distribuição e consumo de energia, sejam eles em grande ou pequena escala.

É nessa perspectiva que surge a discussão da viabilidade de implantação de energias consideradas renováveis, com destaque para aquelas que permitam um distúrbio cada vez menor ao meio ambiente e à sociedade como um todo.

A motivação inicial para a elaboração deste trabalho partiu da constatação de uma escassez de estudos e dados publicados sobre o aproveitamento de energia eólica, ondomotriz e maremotriz nas Zonas Costeiras (ZC's), principalmente na região Norte do Brasil. Além disso, existe uma carência da participação dessas energias na matriz energética elétrica brasileira. Nos últimos anos, a energia eólica vem ganhando espaço na participação da matriz elétrica nacional. Por mais que a matriz energética elétrica brasileira em sua maioria venha de usinas hidrelétricas, considerada uma energia limpa, o uso da energia produzida pelas forçantes físicas costeiras citadas acima ainda é escasso.

Na atual situação das mudanças climáticas no mundo, o incentivo de tecnologias que visem o desenvolvimento sustentável e estudos sobre o uso de recursos naturais renováveis para produção de energia é de grande valia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Fornecer informações sobre o uso de recursos naturais renováveis no litoral, para produção de energia elétrica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar experiências com aproveitamento de energia por ondas, marés e ventos no Brasil e no mundo;
- Avaliar os experimentos e/ou empreendimentos sobre o uso de energia maremotriz, ondomotriz e eólica implantados nestes locais;
- Identificar potenciais áreas para o uso das energias eólica, ondomotriz e maremotriz na Zona Costeira Amazônica (ZCA).

3 RECURSOS ENERGÉTICOS

A energia disponibilizada pela natureza e sua transformação em formas úteis é realizada diante do emprego de tecnologias e, para melhor entendimento das tecnologias utilizadas no aproveitamento dessa energia em prol do atendimento das necessidades humanas, considera-se importante, preliminarmente, ter-se uma breve noção de sua origem. Toda a energia disponível na terra provém das quatro fontes seguintes (Banco do Nordeste 2015):

a) Fissão nuclear no interior da Terra, que gera a energia geotérmica (calor da Terra). Vulcões e gêiseres (fontes termais) decorrem da ação dessa fonte de energia.

b) Fusão nuclear no Sol, que gera os fótons. Esses chegam à Terra na forma de radiação eletromagnética (luz solar). Parte da luz solar se dissipa em calor ao atingir corpos materiais e parte é refletida, retornando ao espaço. Uma pequena fração da luz solar é transformada em biomassa. Quanto ao calor e à biomassa gerada a partir da luz solar, cabe destacar:

- O calor gera o vento e tem papel crucial no ciclo hidrológico, por meio do qual a água é evaporada, condensada e transportada para áreas mais elevadas da Terra, dando origem aos rios e disponibilizando, em consequência, energia hidráulica;

- A biomassa, gerada pelo processo da fotossíntese, consiste na matéria orgânica que forma as plantas e os animais. As fontes fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral etc.) tiveram sua origem na biomassa existente em épocas remotas.

c) Gravitação, que decorre do princípio da atração de dois corpos materiais. As marés, formadas pela atração gravitacional, principalmente entre a Lua e a Terra, são exemplos da ação dessa força fundamental da natureza.

d) Minerais energéticos, dentre os quais o urânio.

Ainda segundo o Banco do Nordeste (2015) essas quatro “matrizes” energéticas dão origem às fontes primárias de energia, que são as encontradas na natureza, em sua forma direta. O petróleo, a lenha, o vento, a luz solar, o urânio, dentre outros, são exemplos de fontes primárias de energia existentes na natureza. As fontes primárias de energia são comumente agrupadas em fontes renováveis (que não se esgotam, a exemplo do sol e do vento) e em fontes não renováveis (que são finitas, tais como o petróleo) (Banco do Nordeste 2015).

As fontes secundárias de energia são as que resultam da transformação das fontes primárias, a exemplo da eletricidade, da gasolina etc. Esse processo de transformação se dá mediante o emprego de tecnologias, que são utilizadas de acordo com a finalidade desejável (Banco do Nordeste 2015). A Figura 1 ilustra a obtenção de energia útil às atividades humanas a partir de diversas fontes primárias e exemplifica as fontes renováveis e não renováveis.

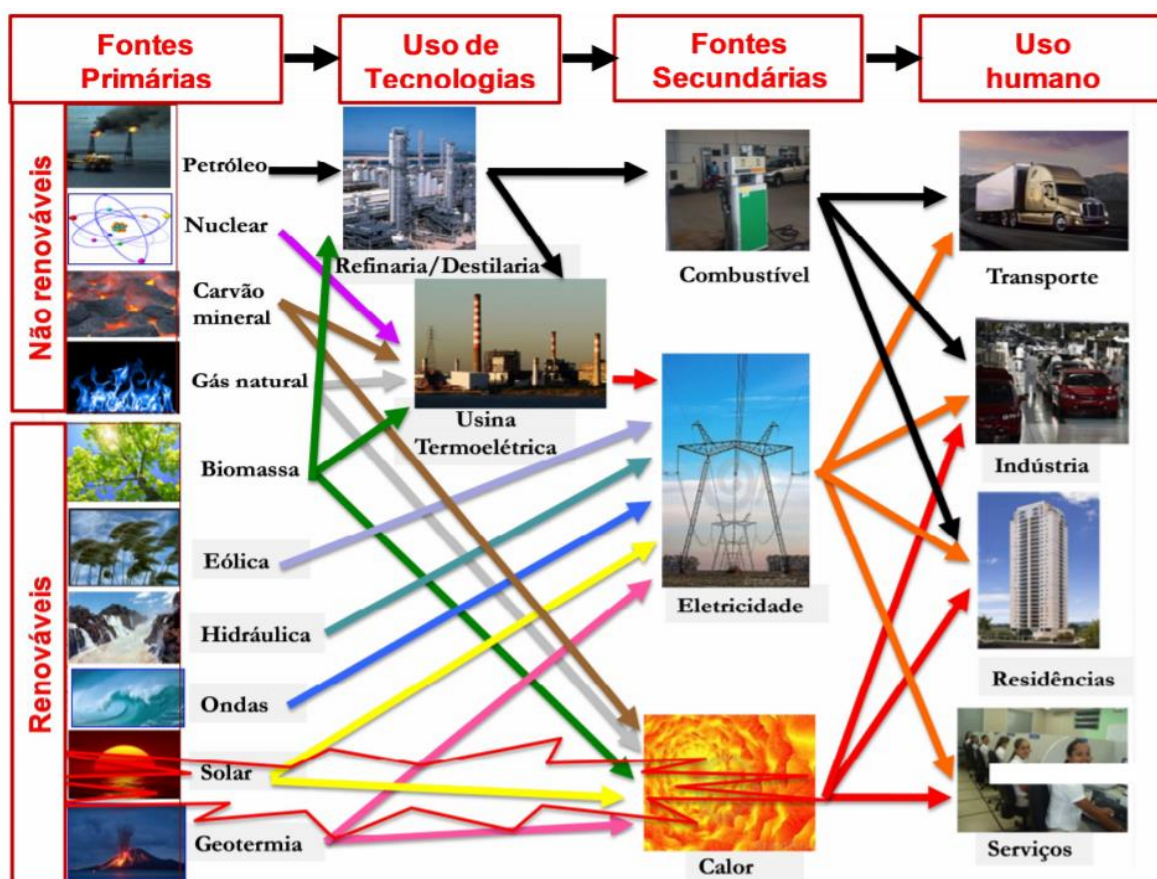


Figura 1: Interação entre fontes primárias e secundárias de energia.
Fonte: Adaptado de J. Anhalt (2013).

3.1 RECURSOS RENOVÁVEIS E RECURSOS NÃO RENOVÁVEIS

A definição de recursos naturais abarca um amplo espectro de componentes como recursos minerais (minérios), recursos biológicos (fauna e flora), recursos ambientais (ar, água e solo), recursos incidentais (radiação solar, ventos e correntes oceânicas) (Fonseca 1992). Todo recurso natural é um bem que provém da natureza e que o homem pode utilizar para satisfazer suas necessidades, sendo classificado em recurso natural renovável ou não renovável em função da capacidade de esgotamento (Senhoras *et al.* 2009).

Os recursos naturais não renováveis são os que não podem ser recolocados pelo homem ou renovados pelo próprio ambiente após sua exploração (OECD 1997), se em 70 anos não existir um ciclo de reprodução, é considerado um recurso não renovável, como por exemplo o petróleo, os minerais (carvão de pedra, xisto, ferro, manganês, cobre, pedras preciosas), a matéria prima do vidro (sílica, soda caustica e cal), entre outros.

Recursos naturais renováveis são recursos naturais que, depois de sua exploração, podem voltar para seus níveis de estoque anteriores por um processo natural de crescimento ou reabastecimento (OECD 1997), como por exemplo, a energia solar, o ar, a água e os vegetais. Para este trabalho, consideraremos apenas os recursos naturais que são fontes de produção de energia elétrica.

3.2 MATRIZ ELÉTRICA

3.2.1 Matriz de energia elétrica no mundo

A Empresa de Pesquisa Energética EPE (2019) diz que, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica em um país, estado ou no mundo. No mundo, a geração de energia elétrica é formada, principalmente, por combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas.

A Figura 2 ilustra a matriz de energia elétrica mundial, com a oferta de energia e as participações das diferentes fontes. A oferta evoluiu de 6115 TWh, em 1973, para 24255 TWh, em 2015, a taxa anual média de 3,33%. Atualmente, o carvão mineral é a maior fonte para produção de energia elétrica, com uma participação de 39,3%; em sequência, vem o gás natural, com 22,9%; a hidráulica, com 16%; a nuclear, com 10,6%; o óleo (petróleo e seus derivados), com 4,1%; e outras fontes não especificadas com 7,1%. As fontes renováveis somaram 22,8% (MME, 2017).

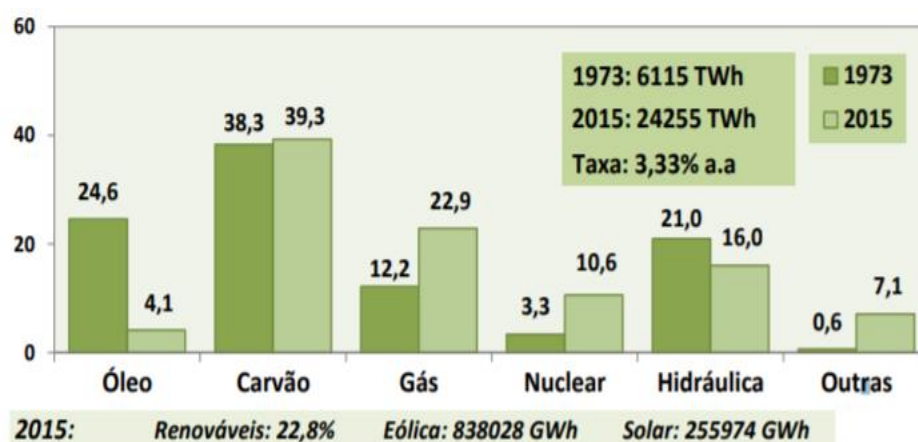


Figura 2: Matriz Elétrica Mundial (%) em 2015.

Fonte: MME, 2017.

No período de 1973/2015 destaca-se a redução da utilização de óleo (de 24,6% para 4,1%) e a elevação da nuclear (de 3,3% para 10,6%), deslocando combustíveis fósseis para outros usos, distintos da eletricidade (MME, 2017).

De acordo com Filho (2009), internacionalmente um esforço feito para reduzir a utilização do petróleo e derivados na produção de energia elétrica (de 24,6% para 4,1%) foi bem sucedido, devido, principalmente a três razões: competitividade econômica desfavorável do petróleo e derivados para produzir eletricidade; existência de usos mais “nobres e eficientes” para estes combustíveis, fora do setor elétrico; e disponibilidade de outras fontes energéticas “mais adequadas” para a produção de energia elétrica, como o gás natural e a nuclear.

A grande utilização de combustíveis fósseis é explicada por quatro aspectos principais destes energéticos: 1) grande disponibilidade de recursos, particularmente do carvão mineral; 2) vantajosa competitividade econômica e ambiental (exceto as emissões de CO₂ e mudanças climáticas) com outras fontes energéticas primárias; 3) favorável viabilidade técnica e econômica do seu transporte, inclusive a longas distâncias (o comércio de energia é um dos maiores do mundo); 4) adequada tecnologia, plenamente desenvolvida, para o seu diversificado aproveitamento energético (Filho 2009).

3.2.2 Matriz de energia elétrica do Brasil

A Figura 3, mostra a matriz de energia elétrica do Brasil, com as participações de diversas fontes no período do mês de março de 2019. De acordo com o Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro (2019), com uma fonte Hidráulica que corresponde a 63,5% da oferta interna, outros 9% de Biomassa, 9% Eólica e, Solar 1,7%, o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável. As fontes renováveis representaram 83,2% da capacidade instalada de geração de energia elétrica brasileira em março de 2019 (Hidráulica + Biomassa + Eólica + Solar). Este indicador faz da matriz energética brasileira uma das mais limpas do mundo (EPE, 2018).

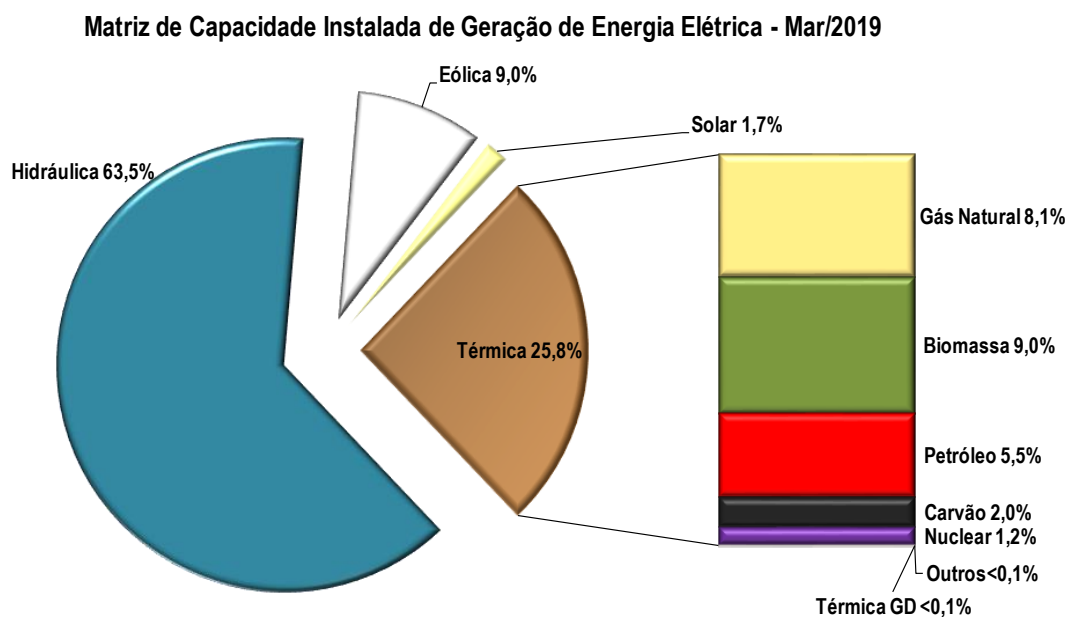


Figura 3: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.
Fonte: MME (2019).

A capacidade instalada total de geração de energia elétrica do Brasil atingiu 164.757 MW no mês de março de 2019 (Tabela 1), considerando ainda as informações referentes à geração distribuída - GD. Em comparação ao mesmo mês do ano de 2018, houve um acréscimo de 5.699 MW, sendo 3.195 MW de geração de fonte hidráulica, 2.335 MW de fonte eólica e 1.401 MW de fonte solar. Simultaneamente, houve um decréscimo de 1.231 MW de fontes térmicas. A geração distribuída fechou o mês de março de 2019 com 812 MW instalados em 66.506 unidades, representando 0,5% da matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica (MME, 2019).

Tabela 1: Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil.

Fonte	Mar/2018	Mar/2019			Evolução da Capacidade Instalada Mar/2019 - Mar/2018
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
Hidráulica	101.361	1.425	104.555	63,5%	3,2%
UHE	95.619	217	98.581	59,8%	3,1%
PCH + CGH	5.698	1.127	5.897	3,6%	3,5%
CGH GD	43	81	76	0,0%	77,5%
Térmica	43.793	3.164	42.562	25,8%	-2,8%
Gás Natural	12.994	169	13.369	8,1%	2,89%
Biomassa	14.614	568	14.810	9,0%	1,3%
Petróleo	10.293	2.252	9.030	5,5%	-12,3%
Carvão	3.727	22	3.252	2,0%	-12,8%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,2%	0,0%
Outros	150	4	69	0,0%	-54,4%
Térmica GD	25	147	42	0,0%	71,2%
Eólica	12.548	663	14.883	9,0%	18,6%
Eólica (não GD)	12.538	606	14.873	9,0%	18,6%
Eólica GD	10	57	10,314	0,0%	0,1%
Solar	1.356	68.690	2.757	1,7%	103,3%
Solar (não GD)	1.130	2.469	2.074	1,3%	83,6%
Solar GD	226	66.221	683	0,4%	201,7%
Capacidade Total sem GD	158.754	7.436	163.945	99,5%	3,3%
Geração Distribuída - GD	304	66.506	812	0,5%	166,8%
Capacidade Total - Brasil	159.058	73.942	164.757	100,0%	3,6%

* Os valores de capacidade instalada referem-se à capacidade instalada fiscalizada apresentada pela ANEEL no Banco de Informações de Geração - BIG, adicionados aos montantes das usinas fiscalizadas pela SFG/ANEEL e às informações publicadas pela Agência sobre geração distribuída (mini e micro geração), conforme disponível em: www.aneel.gov.br/scg/gd. Além dos montantes apresentados, existe uma importação contratada de 5.650 MW com o Paraguai e de 200 MW com a Venezuela. São incluídas na matriz de capacidade instalada algumas usinas fiscalizadas pela SFG/ANEEL, mas que não estão em conformidade com a SCG/ANEEL e que, por isso, não são apresentadas no BIG/ANEEL. Algumas delas são térmicas com combustíveis desconhecidos e que por isso são incluídas como “Outros”.

Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Geração (SFG)
 Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração (SCG)
 Banco de Informações de Geração (BIG)
 Usina Hidrelétrica (UHE)
 Pequena Central Hidrelétrica (PCH)
 Central Geradora Hidráulica (CGH)
 Geração Distribuída (GD)

** Inclui uma Central Geradora Undi-Elétrica - CGU (50 kW).

*** Inclui outras fontes fósseis (69 MW).

Fonte dos dados: ANEEL e MME (Dados BIG e GD do site da ANEEL – 01/04/2019)

3.3 RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS NO LITORAL

3.3.1 Energia Eólica

A humanidade utiliza a energia mecânica através da conversão da energia cinética dos ventos há mais de 3000 anos. A energia eólica por sua vez, foi inicialmente utilizada nas atividades agrícolas para a moagem de grãos e o bombeamento da água (Nascimento *et al.* 2012). A força dos ventos também sempre esteve presente na navegação, principalmente no período das grandes descobertas (Martins *et al.* 2008).

Segundo Alves (2010), existem relatos desde o final do século XIX onde foram registradas as primeiras experiências para a geração de eletricidade a partir dos ventos. Porém, somente quase um século depois, em 1976, foi comercializada na Dinamarca, para a rede elétrica pública, a primeira turbina eólica (Ribeiro *et al.* 2012).

A crise do petróleo na década de 70 foi o grande impulso para a geração de eletricidade a partir da energia eólica. O mercado tem crescido substancialmente nos últimos anos, principalmente na Alemanha, EUA, Dinamarca e Espanha, onde a potência adicionada anualmente supera 3.000 MW (10^6 watt) (Durigon 2008). Este fenômeno permitiu que a geração a partir da energia eólica se destacasse no mundo todo.

A Associação Europeia de Energia Eólica estabeleceu novas metas, devido ao crescimento desse mercado, mostrando que, até 2020, de toda energia elétrica requerida no mundo, a energia eólica poderá suprir 10%. De fato, em alguns países e regiões, a energia eólica já representa uma parcela considerável da eletricidade produzida, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2005). Em exemplo a Dinamarca, a energia eólica representa 18% de toda a eletricidade gerada e a expectativa é aumentar essa parcela para 50% até 2030. Na região de Schleswig-Holstein, na Alemanha, cerca de 25% do parque de energia elétrica instalado é de origem eólica. Na região de Navarra, na Espanha, essa parcela é de 23%. Em termos de capacidade instalada, estima-se que, até 2020, a Europa já terá 100.000 MW (Windpower 2003).

No Brasil, a Região Nordeste é uma das pioneiras na instalação da energia eólica devido ao seu potencial de ventos favoráveis para o aproveitamento na geração de energia elétrica (Tolmasquim 2005). Em 1992, foi instalado em Fernando de Noronha o primeiro aerogerador do Brasil. Segundo a ANEEL (2019), o total de empreendimentos em operação no Brasil corresponde a 7.431, equivalente a 164.050.026 kW (10^3 watt) de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 20.346.543 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 203 empreendimentos atualmente em construção e mais 391 em Empreendimentos com Construção não iniciada (ANEEL, 2019).

No setor da energia eólica, a energia *offshore* está crescendo e ganhando corpo. Análises indicam que a indústria eólica global instalou 3,3 gigawatts (GW) de capacidade em alto-mar em 2017, elevando o total mundial para quase 17 GW no (Exame 2018). Apesar do mercado de energia eólica *onshore* (em terra) ser maior em termos de capacidade total adicionada anualmente, o setor *offshore* está crescendo mais rapidamente (Exame 2018).

Segundo Tolmasquim (2004), o benefício mais importante que a energia eólica oferece ao meio ambiente está no fato de que ela polui menos durante sua operação. Desta forma, pode-se fazer um comparativo entre cada unidade de energia elétrica gerada (kWh) por turbinas eólicas e a mesma energia que seria gerada por uma planta convencional. Ao fazer essa análise conclui-se que a energia eólica apresenta grandes vantagens na redução da emissão de gases do efeito estufa e na concentração de CO₂ durante sua operação.

3.3.1.1 O que são Ventos?

Segundo Andrews & Jelley (2013), a radiação do Sol é a fonte original dos ventos, já que é absorvida principalmente pelo continente e pelo mar, que por sua vez aquecem o ar circundante. Os materiais absorvem a radiação de maneira diferente, de modo que os gradientes de temperatura surgem causando mudanças de convecção e pressão, que resultam em ventos. Um exemplo simples é o vento noturno em alto-mar, frequentemente encontrado nas costas, causado pelo mar retendo o calor do Sol melhor do que o continente. Em escala global, a maior intensidade da radiação solar no equador do que em outros lugares, faz com que o ar quente suba do equador e o ar mais frio flua no Norte e no Sul. Uma enorme quantidade de energia reside nos ventos, pois cerca de 0,5% da energia solar incidente de $1,37 \text{ kWm}^{-2}$ é convertida em vento. O raio da Terra é de aproximadamente 6400 km, de modo que a área da seção transversal que recebe a radiação solar é de cerca de $2 \times 10^{14} \text{ m}^2$ e a potência dos ventos é de $\sim 10^{15} \text{ W}$. Isso é cerca de 100 vezes o uso total de energia global (Andrews & Jelley 2013).

Os ventos são variáveis tanto no tempo quanto no local, com algumas partes do mundo sendo expostas a frequentes ventos fortes e algumas a quase nenhum vento. Lugares onde ventos altos e baixos ocorrem são, em particular, determinados pelo efeito da rotação da Terra (Andrews & Jelley 2013).

A Figura 4 mostra um mapa de recursos eólicos que fornece uma visão geral para o mundo (Tester *et al.* 2012).

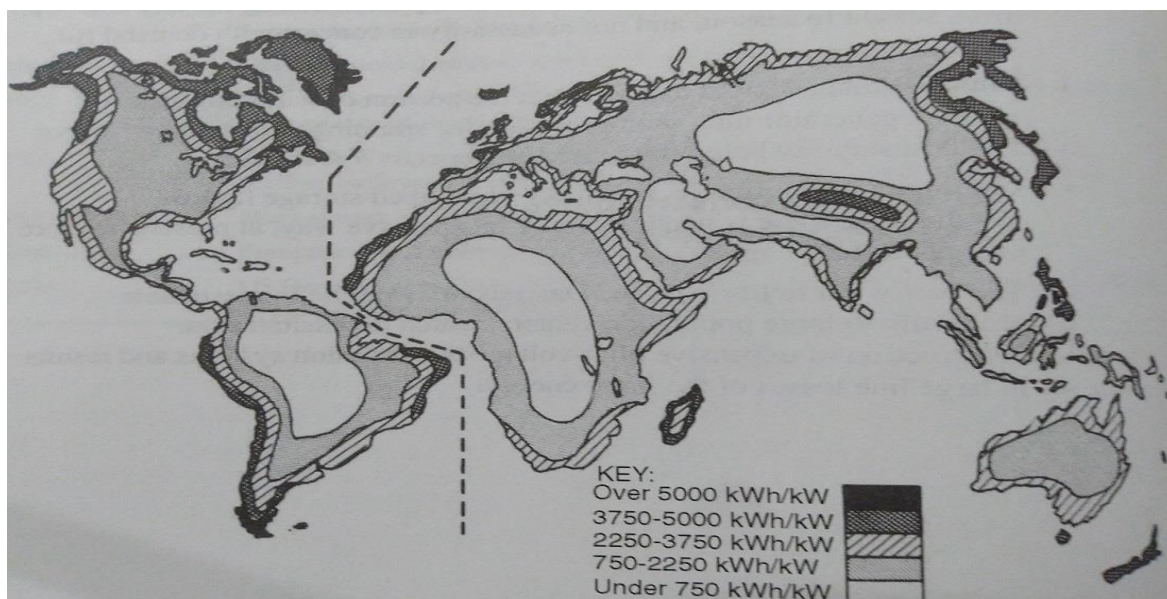


Figura 4: Energia eólica anual disponível em todo o mundo por Kilowatt classificado.
Fonte: Eldridge (1980).

Segundo Tester *et al.* (2012), a partir desse mapa de recursos, os melhores campos de vento geralmente estão próximos da costa, e geralmente há um declínio geral na qualidade média nas regiões centrais de grandes massas terrestres continentais. Existe uma situação para o mundo como um todo, especialmente se a localização *offshore* puder ser explorada economicamente. Mas, novamente, há grande variação por região e localidade.

3.3.1.2 Tecnologias de aproveitamento – turbinas eólicas

A tecnologia de produção de eletricidade eólica tem seu funcionamento relativamente simples com um grande desenvolvimento nas áreas de aerodinâmica, materiais e controle. Para a conversão em Energia Elétrica são utilizadas turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores (Alves 2010). Velocidade e direções variáveis no rotor (pás, lâminas e a estrutura cúbica em que estão fixadas) de um aerogerador, com diferentes ângulos de “ataque”, permitem que o rotor gire com uma velocidade ótima quando submetido a uma ampla faixa de condições de vento, aumentando a produção de energia, reduzindo a fadiga do material e os custos de manutenção.

O aumento no tamanho das pás e dos rotores reduz a frequência de rotação, o ruído e os impactos sobre migração de pássaros. Novos materiais mais resistentes e duráveis permitem dispor grandes sistemas em mar aberto (*offshore wind farms*), longe de comunidades e com menores restrições ambientais (Goldemberg 1998). A Figura 5 mostra o impressionante

desenvolvimento do tamanho das turbinas eólicas desde 1985. A grande variedade de tipos e modelos disponíveis no mercado ainda não parou de crescer (Tolmasquim 2004).

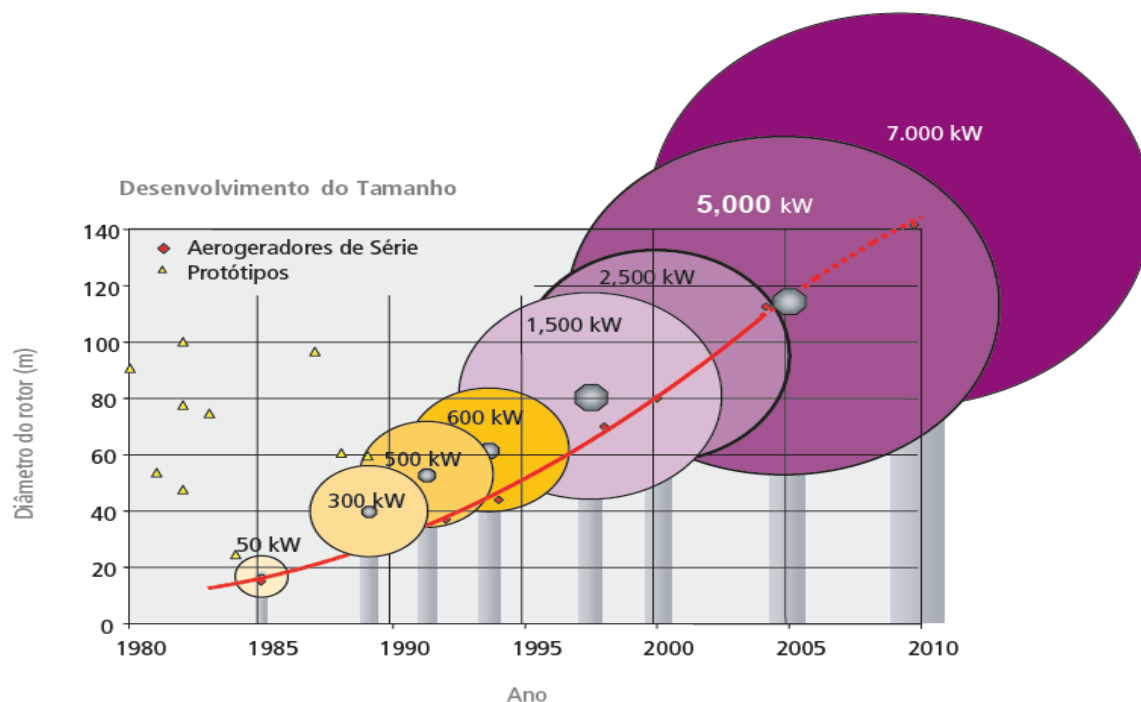


Figura 5: Evolução das turbinas eólicas de 1985 a 2005.
Fonte: Dewi (2005).

3.3.1.3 Tipos de sistemas eólicos

3.3.1.3.1 Rotores de Eixo Vertical

Assim como o nome sugere, esse modelo de turbina possui um eixo central, de orientação vertical, sobre o qual se apoia uma superfície em forma de S com rotação, também de orientação vertical, Figura 6. São menos comuns no mercado e geralmente utilizadas para aplicações de baixa potência, já que possuem, de forma geral, capacidades e eficiências menores do que aquelas apresentadas por turbinas semelhantes de eixo horizontal (Da Silva 2013).



Figura 6: Turbina eólica de eixo vertical.
Fonte: Mauad *et al.* (2017).

Sua manutenção é simples devido ao posicionamento de sua caixa multiplicadora e gerador, que se encontram na base da torre, dispensando a necessidade de um operador subir até o topo da turbina. Apesar da configuração interna complexa, os componentes de ambas configurações de turbinas são similares (Da Silva 2013).

Problemas de estabilidade são mais comuns em turbinas de eixo vertical, já que possuem limitações de altura da torre, o que gera uma maior sensibilidade do sistema para trabalhar fora do ponto de projeto e uma necessidade de operação em velocidades de vento mais baixas (Da Silva 2013). Apesar disso, são equipamentos confiáveis e usados frequentemente em locais como faróis e outros em que o acesso à rede elétrica é difícil ou inexistente (Da Silva 2013).

3.3.1.3.2 Rotores de Eixo Horizontal

O formato e o ângulo no qual estão posicionadas as pás do rotor com relação à direção predominante do vento, são projetados em grande parte, baseando-se no conhecimento existente da aerodinâmica das asas de aviões, que possuem embasamento teórico semelhante, Figura 7 (Castro 2005).

Com relação ao número de pás, a configuração mais comum entre as turbinas de eixo horizontal atualmente em operação é aquela que conta com 3 pás no rotor. O motivo desta preferência é uma maior eficiência desse tipo de configuração: em comparação com os rotores de 2 pás, há um acréscimo de cerca de 3 a 5% na energia capturada com ventos de mesmas características, já que diminuem perdas de extremidade (Mauad *et al.* 2017). O acréscimo de

mais pás, porém, não se mostra como uma proposta muito vantajosa, já que o aumento da eficiência na captura da energia do vento é progressivamente menor a cada pá adicionada.

Os fatores peso e custo de todas as pás dimensionadas para um sistema também devem ser levados em consideração na fase de projeto (Mauad *et al.* 2017). É também importante para um projeto que o rotor seja posicionado em um ângulo de inclinação (com relação ao eixo vertical) de forma a compensar os desequilíbrios resultantes da rotação das pás em frente às torres e que seja escolhido material de construção das pás e do rotor que garanta uma boa relação de custo-benefício (principalmente considerando a vida útil do material) para o sistema (Mauad *et al.* 2017). . A razão entre a área total das pás e a área circular varrida pelas mesmas quando o sistema se encontra em funcionamento, é uma importante variável para o estudo do rendimento de um sistema, e é conhecida como solidez (Mauad *et al.* 2017).

Também deve-se considerar, em turbinas de eixo horizontal, a altura da torre, já que é desejável um escoamento de vento de corrente livre laminar e bem desenvolvido, o que é encontrado apenas acima da camada limite (Da Silva 2013). Duas configurações são possíveis quanto ao posicionamento do rotor com relação à torre em turbinas horizontais: a opção *upwind* diz respeito à colocação do rotor a montante da torre, de forma com que o vento atinja as pás pelo lado da frente do sistema (sendo esta, a configuração mais generalizada, já que o vento incidente não é, desta forma, perturbado pela presença da torre); já a opção *downwind* é aquela em que o rotor é posicionado a jusante da torre, o que faz com que o vento incidente ataque as pás pelo lado de trás, tendo como vantagem o auto alinhamento do rotor na direção do vento (Mauad *et al.* 2017).



Figura 7: Turbina eólica de eixo horizontal.

Fonte: <https://www.opetroleo.com.br/wp-content/uploads/2019/01/energiaeolicaaerogerador-cke.jpg>.

3.3.1.4 Impactos ambientais

De acordo com Motta (2016), a produção de energia renovável por meio de fontes eólicas, embora seja considerada uma energia limpa, no processo de instalação e produção pode gerar impactos ao ambiente. São diversos os agravantes ao meio ambiente proveniente da implantação dos parques, dentre eles, são destacados: o ruído audível, impactos visuais, mortalidade ou mudança da rota de aves e morcegos (Pereira 2013).

As partes que compõem um aerogerador e, o movimento do vento com as pás, provoca um ruído audível. A emissão do ruído por partes dos aerogeradores, atualmente, foram amenizadas devido à melhoria dos mesmos. Segundo Pereira (2013) quanto ao efeito visual existe a modificação da paisagem local podendo ocasionar ofuscamento. Além disso, as colisões de aves (Carneiro *et al.* 2016) e morcegos, pode ocasionar a morte dos mesmos (IEEE 2012).

3.3.1.5 Custos

De acordo com a IEA (2011), o custo da energia eólica depende do preço das turbinas, do custo financeiro e das condições do local de instalação, situando-se na faixa entre US\$ 40 e US\$ 160 por megawatt-hora para o caso de projetos em terra. Já em REN21 (2011), esse custo

foi estimado entre US\$ 50 e US\$ 90 por MWh. Para a faixa inferior de custos, empreendimentos eólicos já são competitivos, sem a necessidade de políticas governamentais de apoio.

Para os empreendimentos sobre o mar, essas publicações estimam os custos entre US\$ 180 e US\$ 190 por MWh (IEA, 2011) e entre US\$ 100 e US\$ 200 por MWh (REN21, 2011).

Para pequenas turbinas com capacidade entre 3 e 100 kW, estima-se o custo da energia produzida entre US\$ 150 e US\$ 200 por MWh (REN21, 2011). Considerando uma taxa de conversão de R\$ 1,75 por dólar, esta faixa estaria entre R\$ 262,50 e R\$ 437,50, que são inferiores à maior parte das tarifas residenciais pagas pelos consumidores no Brasil.

3.3.2 Energia das ondas

A natureza dinâmica do oceano apresenta uma importante força motriz por trás de outro tipo de energia renovável: a energia das ondas. Por séculos, a possibilidade de extração de energia dos oceanos tem intrigado as pessoas. No entanto, embora existam conceitos com mais de 200 anos, foi somente na segunda metade do século XX que começaram a surgir esquemas viáveis. Em geral, esses modernos esquemas de conversão de energia das ondas têm poucas desvantagens ambientais, e as perspectivas de que algumas delas possam fazer uma contribuição significativa de energia são promissoras (Boyle 2012).

A quantidade de energia produzida pelas ondas é dependente da transferência de energia recebida do sol para a atmosfera e oceano, sendo que a intensidade dos ventos incidentes, a dimensão da área sobre a qual os ventos estão incidindo (pista) e a duração desta transferência de energia são os principais fatores determinantes na área de geração de ondas (Oliveira 2008; Carvalho 2010).

A energia das ondas apresenta-se assim como particularmente atrativa para ilhas ou países com grandes faixas costeiras, pelo que, após o choque petrolífero de 1973, países que satisfazem as condições geográficas necessárias e partilham as necessidades de importação de energia elegeram a energia das ondas em programas de caráter governamental ou em instituições de investigação e desenvolvimento. Como exemplos temos os casos do Reino Unido, Noruega, Dinamarca, Suécia e Portugal, na Europa, os Estados Unidos da América na América do Norte e a China, Índia e Japão na Ásia (Sarmiento e Cruz 2004). Até 2020, espera-se que um número de esquemas comerciais esteja em operação em todo o mundo, e a experiência adquirida deverá ser superada (Boyle 2012). O recurso global atribuído à energia das ondas ronda os 2 TW, sendo

assim equiparável à potência eléctrica média anual consumida mundialmente (Sarmiento e Cruz 2004).

3.3.2.1 O que são Ondas?

As ondas, criadas pela interação dos ventos com a superfície do mar, apresentam energia cinética, que é descrita pela velocidade das partículas d'água, e energia potencial, que é uma função da quantidade de água deslocada pelo nível médio do mar (Reis 2011).

A partir do aquecimento da Terra, os ventos são formados e conforme os ventos atuam sobre a massa de água dos oceanos, acabam transferindo a energia que resulta na formação das ondas. Embora os mecanismos precisos dessa transferência de energia do vento para as ondas sejam muitos complexos, podemos identificar os seguintes aspectos (Tolmasquim 2003):

- Primeiramente, o ar escoa sobre a superfície do mar transferindo energia através da atuação das tensões cisalhantes, resultando na formação e crescimento das ondas.
- O fluxo turbulento do ar próximo à superfície livre gera uma intensa variação das tensões cisalhantes e do campo de pressões. Quando estas oscilações entram em fase com as ondas já existentes, ocorre uma intensificação no processo de geração de ondas.
- Finalmente, quando as ondas atingem um certo tamanho, o vento pode exercer uma ação mais intensa na face da onda exposta ao vento, acarretando um crescimento ainda maior das ondas. Este processo é maximizado quando a velocidade do vento e a celeridade da onda são iguais.

A energia do vento é transferida para as ondas em cada uma das etapas. Entretanto, podemos perceber claramente que a quantidade de energia transferida e, portanto, a intensidade das ondas resultantes vai depender: da velocidade do vento; do tempo de atuação do vento e da pista (*fetch*), que é a distância ao longo do qual a ação do vento ocorre. Em cada uma destas etapas, ocorre a concentração da potência de modo que níveis de potência solar da ordem de 100 W/m^2 podem eventualmente se transformar em ondas com níveis de potência acima de 1000 kW/m de comprimento de crista (Tolmasquim 2003).

As ondas que se encontram próximas ao local em que foram geradas, as ondas de tempestades (*storm waves*), formam um estado de mar complexo e altamente irregular. Estas ondas continuam a se propagar na direção principal em que foram formadas mesmo após o término da ação do vento. Em águas profundas, longe da ação dissipativa do fundo oceânico, a perda de energia é muito pequena, de modo que as ondas continuam a se propagar para fora da zona de geração, com pequena perda de energia, assumindo a forma de um estado de mar bem

mais suave e formado por ondas muito mais regulares, o chamado *swell*, Figura 8 (Tolmasquim 2003).

Outro tipo de onda, a *sea*, é muito irregular com diversos períodos e várias direções. Encontra-se este tipo de onda em locais onde são geradas, ou seja, onde o vento está soprando (Schmiegelow 2004).

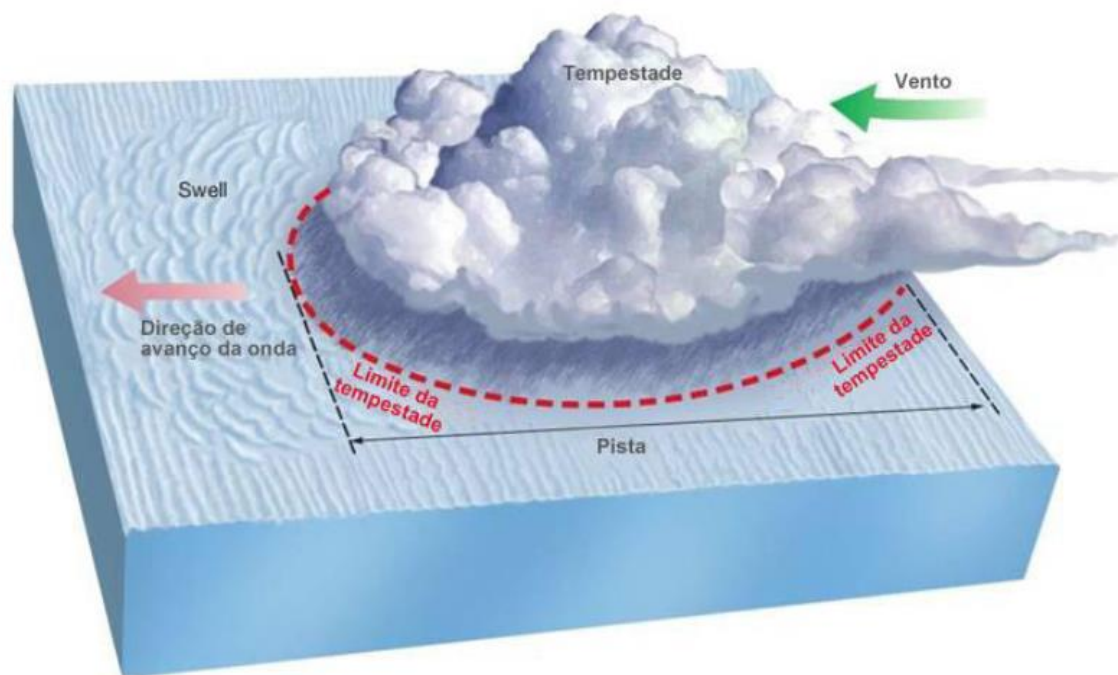


Figura 8: Condições necessárias para a formação de ondas do tipo swell.
Fonte: Trujillo e Thurman (2011).

As ondas do mar estão entre as fontes renováveis de maior densidade energética. Tem potencial energético estimado entre 2 e 3 milhões de MW. No atual estágio tecnológico de transformação em energia elétrica, admite-se que poderiam suprir cerca de 16% da demanda anual mundial de energia elétrica (PNE 2030 2007).

As ondas de maior poder energético se concentram ao sul da América do Sul, Austrália, Nova Zelândia e países da Europa banhados pelo Atlântico Norte, particularmente o Reino Unido, Figura 9. As regiões de ondas pobres em energia incluem a América Central, costa sudeste dos Estados Unidos e América do Sul, oeste da África, sudeste asiático e Japão, onde o conteúdo energético médio das ondas situa-se entre 10 e 20 kW/m. A indicação de valores médios, ainda que elevados, como ao sudoeste da Nova Zelândia, onde chegam a 100 kW/m, esconde valores extremos que podem superar 1.000 kW/m (PNE 2030 2007).

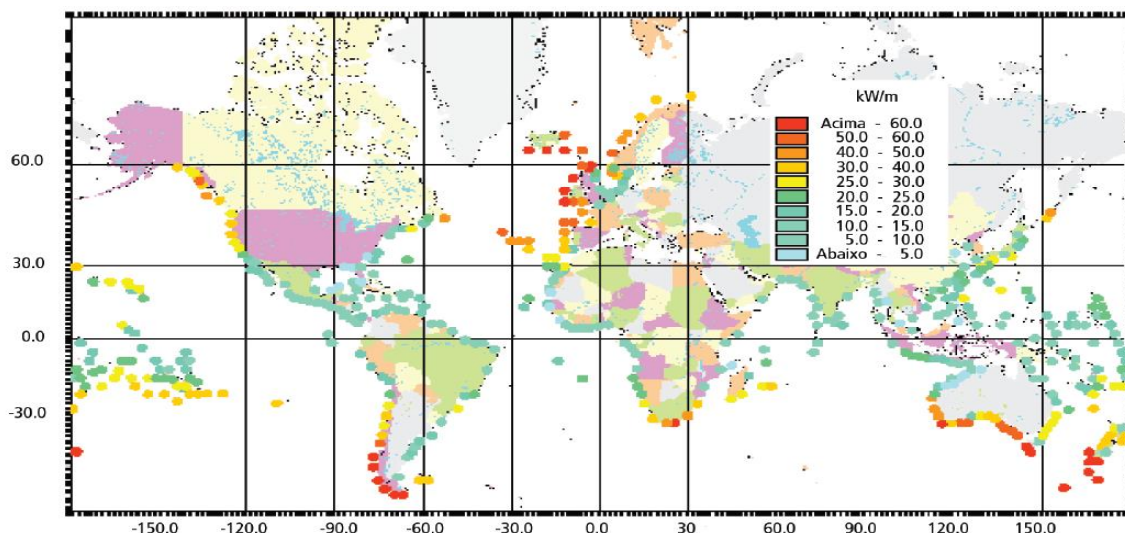


Figura 9: Distribuição mundial da densidade energética das ondas.
Fonte: PNE 2030 (2007).

3.3.2.2 Dispositivos de conversão de energia de ondas

A fim de avaliar um local marítimo para a instalação de conversores de energia das ondas, para finalidade de geração de energia elétrica, devem ser observadas a profundidade, a altura, e a distribuição das ondas. Através desses parâmetros é possível calcular os níveis de energia das ondas por área (Kawano 2015).

De acordo com o Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 (2007), pela localização relativa na costa oceânica, as tecnologias de geração de energia em desenvolvimento podem ser classificadas em três grupos:

- *onshore*, estão fixos ou incorporados à costa;
- *nearshore*, quando a geração é próxima à costa, em geral em águas com profundidades próximas a 20 metros e não superior a 40 metros;
- *offshore*, quando a geração é instalada longe da costa, em locais com profundidade superior a 40 metros.

O *World Wave Atlas* permite um cálculo bastante aproximado da quantidade de energia elétrica que pode ser gerada a partir das ondas do mar, em aproveitamentos *onshore*. Como o comprimento do litoral é de 7.367 km e assumindo uma potência média de 10 kW/m de frente de onda, já atenuada pelo atrito com o fundo mais raso do oceano, o potencial *onshore* do Brasil seria da ordem de 74 GW (PNE 2030 2007).

3.3.2.2.1 Tecnologias onshore

- OWC- Oscillating Water Column

Em português significa Coluna de Água Oscilante (CAO), é um dispositivo que utiliza o fluxo de ar para movimentar as turbinas que por sua vez estão conectadas nos geradores de energia elétrica. Sua estrutura fica parcialmente submersa tendo uma abertura na parte inferior, a qual fica em uma linha abaixo do nível do mar e em contato com a água. A região no interior da estrutura é composta por uma câmara pneumática, demonstrado na Figura 10, onde um fluxo de ar é formado devido à variação de amplitude das ondas do mar (Support Wave Energy 2013).

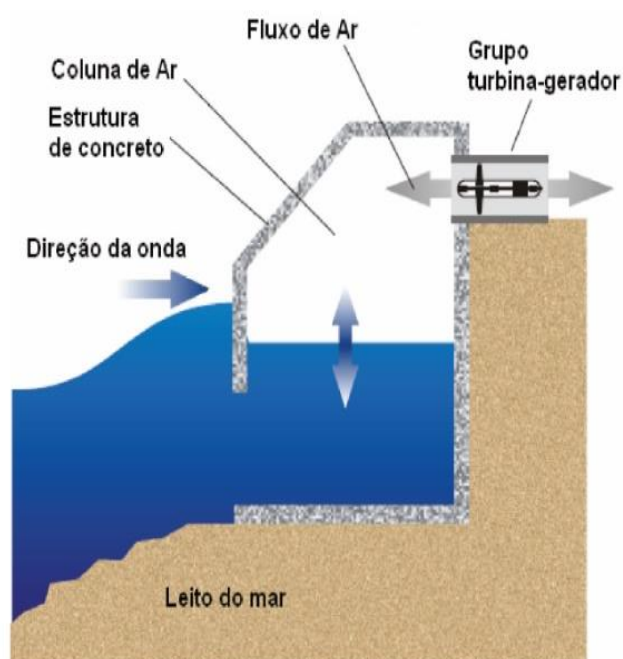


Figura 10: Princípio de operação das usinas OWC.
Fonte: PNE 2030 (2007).

O fluxo de ar ao ser pressurizado passa pela turbina, especialmente criada para este dispositivo, fazendo a turbina girar e gerar energia elétrica através do gerador conectado a esta turbina, Figura 11. A turbina que foi desenvolvida para essa finalidade é a Turbina de Wells. A inovação dessa turbina se deu no formato de suas lâminas, que se assemelham a aerofólios (ou asas de avião), mas simétricas em relação ao eixo horizontal, de modo que a força resultante gira a turbina na mesma direção independentemente do sentido do fluxo de ar (PNE 2030 2007).

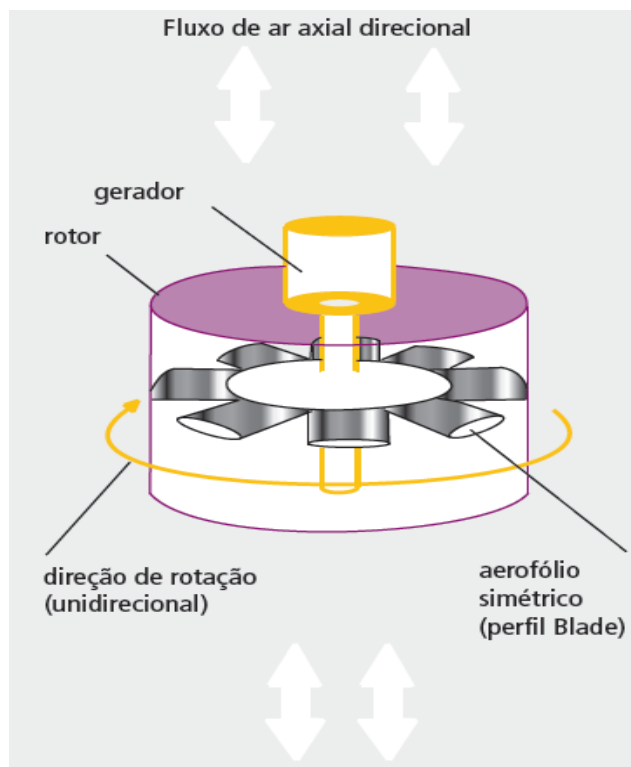


Figura 11: Turbina Wells.
Fonte: PNE 2030 (2007).

- *Tapchan*

O mecanismo *Tapchan* é um sistema composto por um canal orientado segundo a direção de propagação das ondas e por um reservatório de armazenamento de água. As ondas incidentes são conduzidas ao longo do canal que vai gradativamente diminuindo de largura e de profundidade, e abastece com água um reservatório situado num nível superior ao do mar. Posteriormente, a água é canalizada para uma turbina, situada numa cota inferior ao reservatório, cujo acionamento é conseguido pela transformação da energia potencial da água em energia cinética. Um gerador elétrico acoplado à turbina converte posteriormente a energia mecânica de rotação da turbina em eletricidade (Calejo 2012).

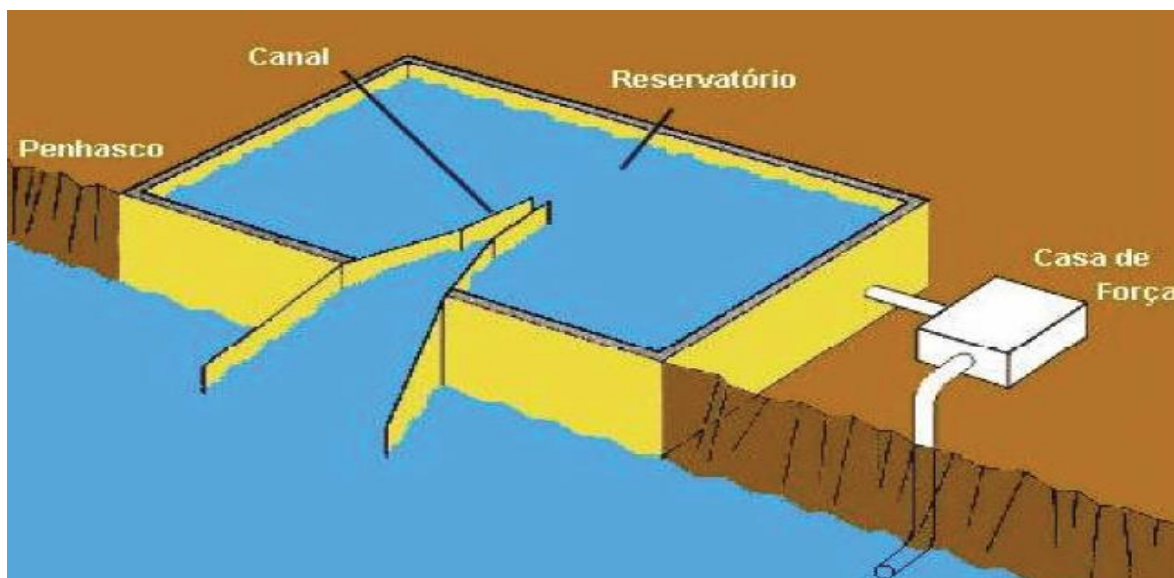


Figura 12: Idealização da tecnologia tapered channel.
Fonte: PNE 2030 (2007).

3.3.2.2.2 Tecnologias nearshore

O *Pelamis Wave Energy Converter*, tem seu nome derivado da *Pelamis Platurus*, que é uma cobra marinha venenosa encontrada nos oceanos Índico e Pacífico, é uma tecnologia emergente, desenvolvida pela escocesa Ocean Power Delivery Ltd, Figura 13. O equipamento é composto por uma série de seções cilíndricas semi submersas unidas por juntas articuladas. O movimento relativo entre as seções cilíndricas provocado pelo movimento das ondas promove a compressão e expansão de fluido biodegradável nas juntas articuladas, movendo um gerador elétrico (PNE 2030 2007).

Tolmasquim (2004), afirma que um cabo umbilical conduz ao fundo do mar energia gerada por todas as juntas. Através de um único cabo submarino, várias unidades podem ser ligadas e conectadas à costa. A expectativa para este dispositivo é que uma unidade de 150m de comprimento e 3,5 m de diâmetro possa gerar uma potência de 750 kW. Para suprir a necessidade de 20 mil residências, um conjunto de 40 unidades seria o suficiente

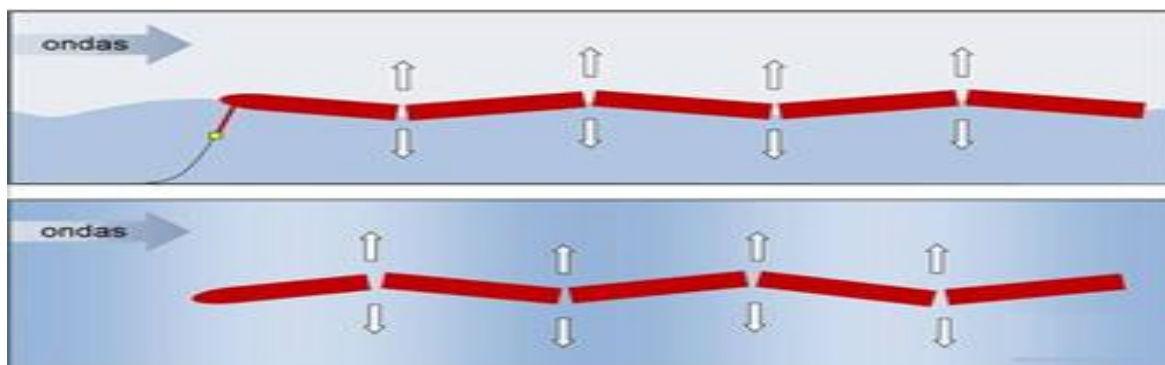


Figura 13: Vista lateral, superior, e funcionamento do dispositivo.
Fonte: Fleming (2012).

- ConWEC

O sistema ConWEC substitui a oscilação da OWC pela oscilação de um flutuador confinado. Existe então o bombeamento da água para um reservatório elevado e a partir daí escoamento através de turbina de baixa queda, conforme a Figura 14.

Na Noruega, uma companhia foi formada para explorar o conceito. O flutuador tem um diâmetro da ordem de 3 a 5 metros, o que corresponde a geração de potência entre 10 e 300 kW em ondas como as encontradas do Mar do Norte, suficiente para suprir as necessidades de até 200 residências (Tolmasquim 2003).

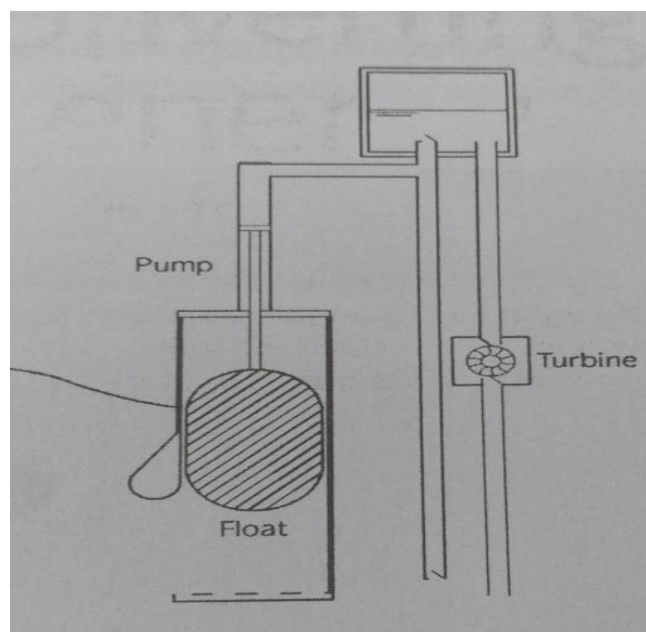


Figura 14: Sistema ConWEC.
Fonte: Tolmasquim (2003).

3.3.2.2.3 Tecnologia offshore

Um sistema voltado para a exploração *offshore* é o chamado Pato de Salter (*Salter's Duck*), Figura 15, que coloca a ancoragem em alto mar. O nome em português vem do fato de o equipamento imitar o movimento das nadadeiras de um pato. Consiste numa série de flutuadores, semelhantes ao *flap* dos aviões, ligados a um eixo paralelo à praia. A parte mais bojuda dos “patos” enfrenta as ondas, cujo movimento rítmico faz bater os flutuadores, girando o eixo que aciona a turbina como um pedal de bicicleta, que só transmite o movimento numa direção. O rendimento desse sistema promete ser excelente, pois parece capaz de aproveitar 80% da energia das ondas (Superinteressante 2016).

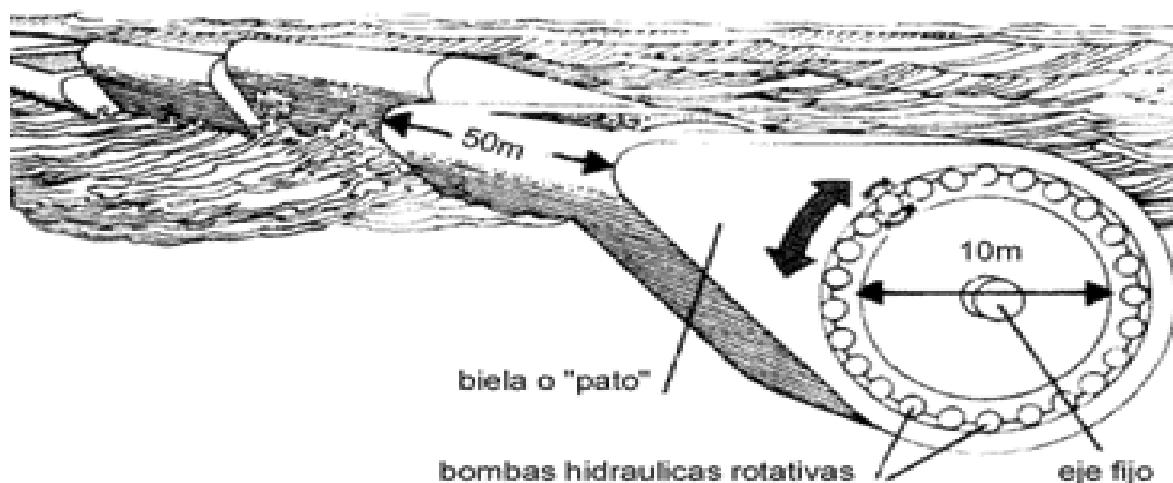


Figura 15: Dispositivo Pato de Salter.
Fonte: <https://slideplayer.es/slide/10819673/>.

O principal problema voltado para a exploração *offshore* é a transmissão de energia, pois será necessário o lançamento de cabo até o local de consumo. Segundo Tolmasquim (2003), uma possibilidade concreta é o uso do cenário com plataformas petrolíferas, tais como na Bacia de Campos, onde o consumo de energia elétrica é intenso. Os dispositivos que foram citados no item que descreve os sistemas *nearshore* podem também ser usados.

3.3.2.3 Impactos ambientais

Segundo o Relatório elaborado pelo Wave Energy Centre – Centro de Energia das Ondas (2004), os dispositivos *offshore* têm uma altura acima da superfície livre da água da ordem de poucos metros, e alguns dispositivos podem sobressair até 1 metro da água, como no caso do *Pelamis*. Em áreas costeiras, o impacto visual é de extrema importância.

Outro impacto seria na emissão de ruídos originados pelo funcionamento dos dispositivos. O ruído poderá teoricamente influenciar o afastamento de aves, produzir perda de habitat de espécies marinhas e se audível pela população a partir da costa pode reduzir a aceitação pública para este tipo de projetos. Este último aspecto certamente não acontece em projetos *offshore* dada a distância destes à costa (Wave Energy Centre 2004)

Os acidentes também seriam um importante fator que desfavorece a utilização de equipamentos utilizados na energia das ondas. Porém, da colisão de grandes navios com dispositivos de energia devem resultar apenas danos no dispositivo e não necessariamente o derrame de quantidades significativas de substâncias poluentes, ao menos por parte dos dispositivos, uma vez que os sistemas de energia das ondas poderão conter apenas uma pequena quantidade de óleo de lubrificação (Wave Energy Centre 2004).

3.3.2.4 Custos

Devido ao fato de haver pouca experiência na fabricação e implantação dessa tecnologia, os custos dos dispositivos de conversão da energia das ondas são de mais difícil avaliação. As estimativas, portanto, costumam ser baseadas na extrapolação de dados disponíveis de custos de protótipos (COPPE/UFRJ; Seahorse Wave Energy 2013).

O custo típico de uma planta de 200 MW, segundo a IEA ETSAP (2010), estaria na faixa de US\$ 6.800/kW a US\$ 9.000/kW, Tabela 1. As despesas de O&M estão estimadas em US\$ 200/kW/ano, o que seria o dobro de uma usina de marés. Por ser uma tecnologia mais incipiente, com modelos pouco consolidados, existe maior margem para aprimoramentos tecnológicos e produtivos, o que pode levar a uma maior redução de custos, em comparação com a tecnologia de geração através de marés (Ernst & Young; Black & Veatch 2010).

Num estudo encomendado pelo Electric Power Research Institute (EPRI), por exemplo, foi feita uma simulação de uma planta comercial, utilizando conversores do tipo *Pelamis*, localizada na costa da Califórnia. Para esse projeto, o custo de investimento seria da ordem de US\$ 2.600/kW (COPPE/UFRJ; Seahorse Wave Energy 2013). No entanto, um levantamento do GEA (2012) identificou que os custos da energia oceânica no ano do estudo eram maiores

do que os esperados dez anos antes. Segundo os autores, houve aumento no custo de investimento e falta de aprendizagem tecnológica nesse período.

Tabela 2: Parâmetros da geração através das ondas.

Fonte: Tolmasquim (2016).

Custo de Investimento (US\$/kW)	6.800-9.000
Custo O&M Fixo (US\$/kW/ano)	200
Custo de O&M variável (US\$/MWh)	0
Potência Típica (MW)	100
Vida útil (anos)	20
Tempo de construção (anos)	2
Fator de Capacidade Médio (%)	30
Taxa de Desconto (% a.a.)	8
Custo Nivelado (US\$/MWh)	340 - 425

3.3.3 Energia das marés

A energia das marés, também designada por energia maremotriz, é uma energia renovável e limpa, decorrente do fenómeno de maré. O potencial de utilização desta energia é elevado, contudo, seja atualmente ainda pouco explorado (Abreu 2010). As marés constituem uma fonte energética bastante promissora e, portanto, sua exploração não é recente, já que registros históricos apontam o uso de moinhos movidos a marés por habitantes da costa do Atlântico Norte durante o início da Idade Média (Bezerra 2011). Atualmente, a exploração da energia maremotriz tem sido voltada exclusivamente para a sua conversão em energia elétrica.

A energia das marés tem basicamente duas formas: a energia cinética das correntes marítimas e a energia potencial devido à mudança dos níveis de água. A primeira utiliza o movimento vertical de subida e descida do nível da maré e a outra gera energia através do movimento horizontal das correntes de marés quando estas estão no período de enchente ou vazante (Neto *et al.* 2016).

As primeiras iniciativas de aproveitamento da energia potencial da maré com fins elétricos datam da primeira metade do século XX, mas somente em 1966 a primeira usina maremotriz entrou em operação na França, com 240 MW de potência instalada (Tolmasquim 2016). Os principais projetos existentes de exploração de energia das marés no mundo estão exemplificados na Figura 16. Além de vários outros projetos em fase de planejamento, como

por exemplo: estuário de Severn – Reino Unido, Derby – Austrália, além de inúmeros projetos de protótipos para aproveitamentos das correntes de maré (King 2009).



Figura 16: Mapa mundial das instalações maremotrizes em operação comercial.

Fonte: <http://ofrioquevemdosol.blogspot.com.br/2014/11/energia-das-mares-qual-o-futuro-desta.html>.

Estima-se que o potencial energético global seja da ordem de 500 a 1000 TWh/ano. No entanto, apenas alguns poucos lugares do mundo possuem amplitudes de marés significativas, além de outras condições geográficas adequadas para este tipo de exploração, dentre esses lugares, o Reino Unido, Brasil e Chile possuem características favoráveis para esse tipo de prática energética (Bezerra 2011).

Existe uma abordagem que limita o aproveitamento da energia de variação de altura de maré a áreas com variação de maré superiores a 5 metros, conforme destacado por Fleming (2012). Essa variação mínima reduz o número de regiões nas quais a energia de variação da altura de maré poderia ser aproveitada, como mostra a Figura 17. O Brasil apresenta condições favoráveis à implementação desse sistema em locais como os litorais do Pará, Amapá e Maranhão, onde se encontram as maiores amplitudes de marés do país. Segundo estudos realizados na década 80, apenas na costa do Maranhão o potencial disponível seria de 22 TWh/ano (Bezerra *et al.* 2014).



Figura 17: Locais com altura de maré superior a 5 metros.
Fonte: Fleming (2012).

Segundo a classificação proposta por Davies (1964), que avalia os efeitos induzidos pela maré em um estuário, devido à sua amplitude; a ocorrência de marés nas regiões brasileiras pode ser definida como: macromaré (> 6 m), na região norte (AP, PA e MA), mesomaré (2 a 4 m), na região Nordeste (excetuando o MA) e micromaré (< 2 m), na região sudeste e sul. A Figura 16 apresenta as variações de maré nas regiões brasileiras.

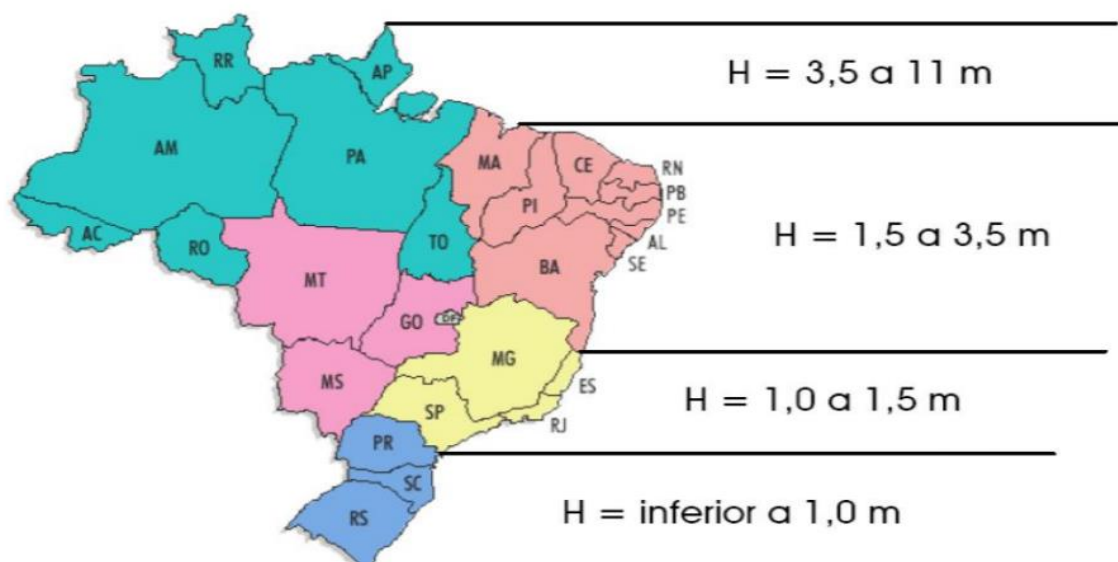


Figura 18: Valores médios de variação da maré no litoral brasileiro.
Fonte: Savedra (2016).

As perspectivas são de que essa energia, por ter a vantagem de ser uma fonte de energia abundante capaz de abastecer milhares de cidades costeiras, seja cada vez mais utilizada. Além disso, a geração maremotriz está livre de emissões de gases poluidores, poluição da água, derramamentos de óleo e produção de resíduos. Assim como, a instalação possui atrativos econômicos muito interessantes, como utilização da barragem para turismo e acesso rodoviário (Bezerra 2011).

3.3.3.1 O que são Marés?

Tolmasquim (2016) diz que as marés são movimentos oscilatórios do nível do mar observados tanto na linha de costa quanto na região oceânica, resultantes da interação entre a maré astronômica e a maré meteorológica. A maré observada é a principal componente da maré astronômica que é causada majoritariamente pela resultante gravitacional do sistema Sol-Terra-Lua, o qual depende diretamente das massas dos corpos celestes e inversamente do cubo da distância entre eles.

Nos períodos de lua cheia e lua nova ocorrem a maré com maior amplitude, pois há o alinhamento entre o Sol, a Terra e a Lua e, portanto, as forças gravitacionais exercidas pelo Sol e pela Lua sob a massa d'água da Terra são somadas. Nas luas crescente e minguante, por não estarem alinhados, a força gravitacional exercida pela Lua é influenciada pela gerada pelo Sol, resultando em uma maré de menor amplitude. Um esquema abaixo é exemplificado da interação Sol-Lua-Terra, Figura 19 (Tolmasquim 2016):

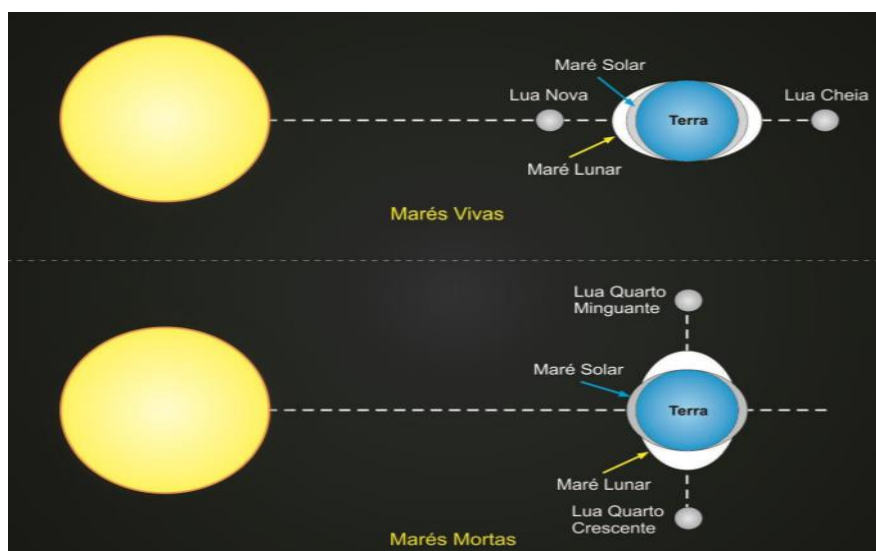


Figura 19: Maré astronômica.
Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/>.

Como resultado do movimento periódico dos astros, as marés apresentam recorrência entre 12 e 24 horas, em função da localização no globo terrestre. A amplitude da maré também varia com o tempo e em função da periodicidade e da intensidade dos fenômenos astronômicos envolvidos (COPPE/UFRJ; Seahorse Wave Energy, 2013).

A Figura 20 demonstra a distribuição global da amplitude das marés contribuída pela lua. A amplitude das marés é representada por cores diferentes. A curva sólida branca representa a chamada linha cotidal ao longo da qual a fase de maré é constante. Linhas conjuntas se juntam em vários pontos onde a faixa de maré é zero, chamados de pontos anfídromos. Os arcos curvos ao redor dos pontos anfídromos indicam a direção da corrente de maré. A amplitude das marés é um indicador importante da densidade da energia das marés (Chen 2010).

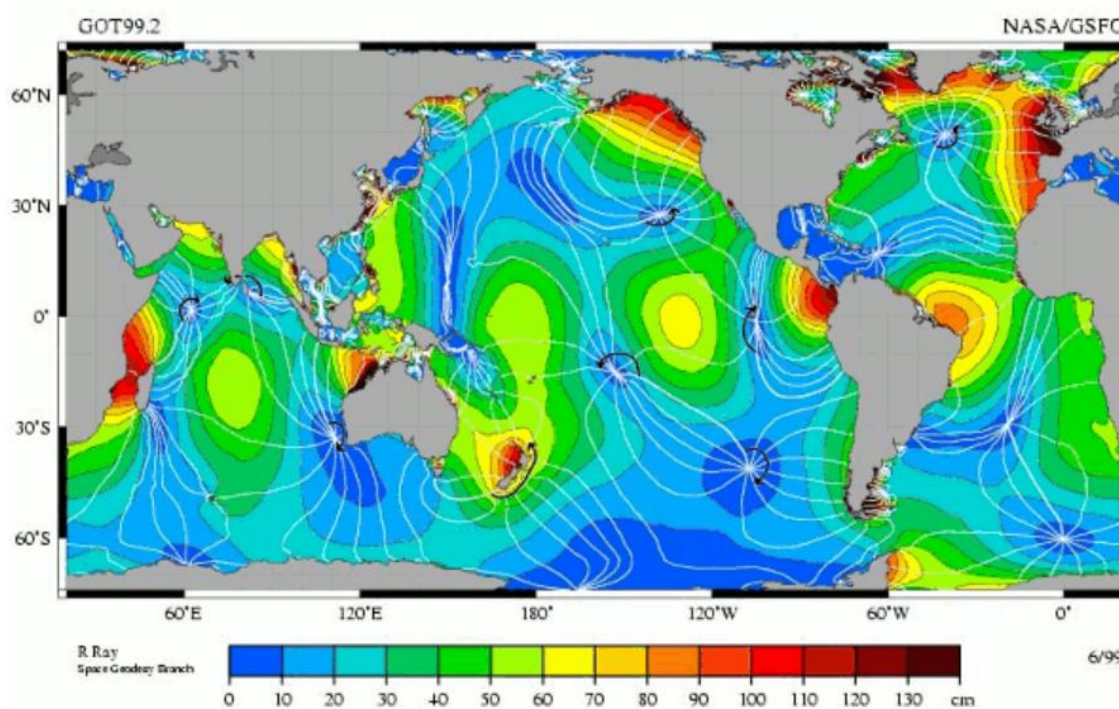


Figura 20: O componente da maré lunar medido pelo satélite TOPEX / Poseidon dos EUA / França.

Fonte: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/chenw1/>.

Alguns fatores locais também influenciam as marés, como os fenômenos meteorológicos (chamada de maré meteorológica), a forma dos litorais e a batimetria do fundo. A maré meteorológica é o resultado da interação atmosfera-oceano na maré astronômica. Esta interação é essencialmente causada por variações de pressão e vento, acarretando no aumento ou diminuição do nível do mar (Tolmasquim 2016).

3.3.3.2 Conversão de energia das marés

Para a extração deste tipo de energia existem atualmente três possibilidades: barragens de maré; lagoas de maré e turbinas ou parques de turbinas de corrente marítima. A barragem de maré consiste na construção de uma estrutura sólida que barre por completo o fluxo de água na área, seja ela um estuário, um rio, entre outros, assim como uma grande hidrelétrica (Graham *et al.* 2007). A barragem é construída, onde são instaladas as turbinas, e que muitas vezes é usada como ponte para veículos, Figura 21.

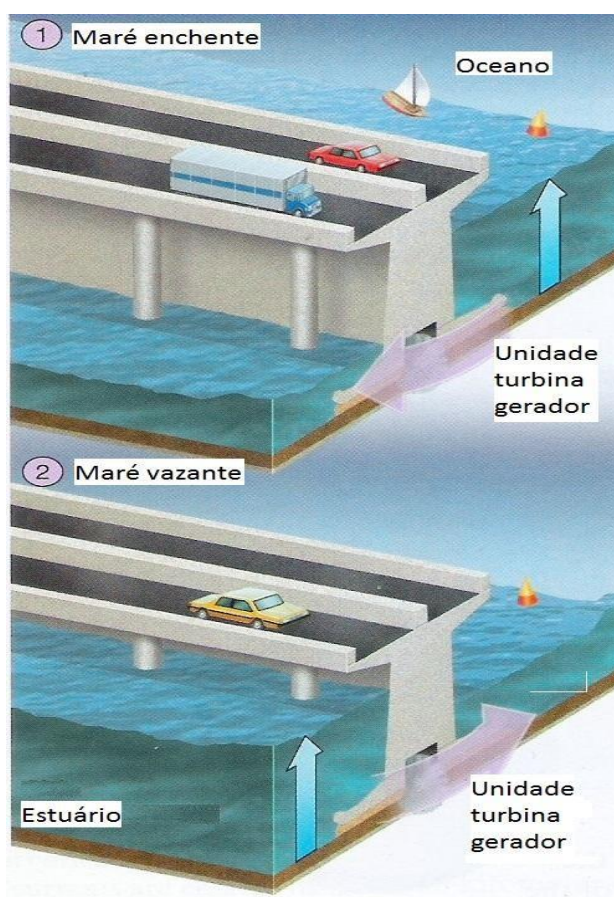


Figura 21: Barragem de La Rance, na França. Energia é gerada tanto na maré enchente (1) quanto na maré vazante (2).

Fonte: Trujillo e Thurman (2011).

Na maré enchente, o reservatório se enche e a água fica aprisionada. Neste ponto, água pode ser bombeada para dentro do reservatório em períodos de baixa demanda de energia, especialmente à noite, quando a energia é mais barata, para aumentar o desnível e, conseqüentemente, o potencial de geração (Rourke *et al.* 2009). Com o nível da maré baixa o

suficiente durante a vazante, a água represada é liberada através das turbinas (Figura 19), gerando eletricidade. Logo, quanto maior o reservatório de água e quanto maior a variação do nível de maré, mais energia será gerada (Shanahan 2009).

As usinas de marés podem gerar energia elétrica tanto na maré enchente quanto na maré vazante. Quando a barragem possui uma turbina de duplo sentido, gera energia nos dois sentidos de fluxo, o que torna possível a geração de energia duas ou quatro vezes por dia, dependendo do local (Ocean Energy Systems 2019). Devido a sua semelhança com as usinas hidrelétricas, as barragens de maré utilizam tecnologias maduras e comercialmente disponíveis (Fleming 2012).

Além das barragens de maré, existem também as Lagoas de maré que consistem em uma estrutura sólida, que não ocupa toda a extensão da bacia (estuário ou rio, por exemplo), mas somente parte dela. Pode ser também construída *offshore* (Graham *et al.* 2007) Figura 22a. Em algumas lagoas de maré (do inglês “lagoon”) são construídos represamentos adjacentes à costa, (Figura 22b) ou ao largo (Figura 22c), sem qualquer contato com a costa (Aquaret 2012).

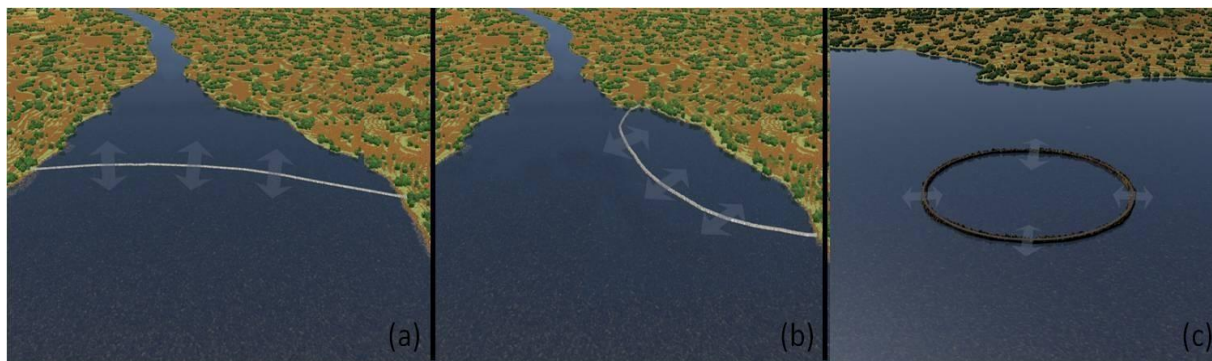


Figura 22: Possíveis aproveitamentos de energia de variação da altura de maré. (a) Barragem de maré. (b) Lagoa de maré junto à costa. (c) Lagoa de maré ao largo.

Fonte: Aquaret (2019).

Uma outra vertente que tem sido bastante estudada atualmente e que se mostra bastante promissora é a utilização das correntes de maré para a geração de eletricidade, e a tecnologia para transformação da energia cinética em energia elétrica é muito similar à da geração eólica. Este processo utiliza sistemas modulares de turbinas que podem ser colocadas diretamente no leito do mar. A movimentação das águas move a turbina ligada a um gerador que transforma esse movimento em energia (Ponta 2008). Atualmente, a maioria destes protótipos estão instalados no continente europeu. A Figura 23 mostra como esta energia é aproveitada (Neves *et al.* 2009):

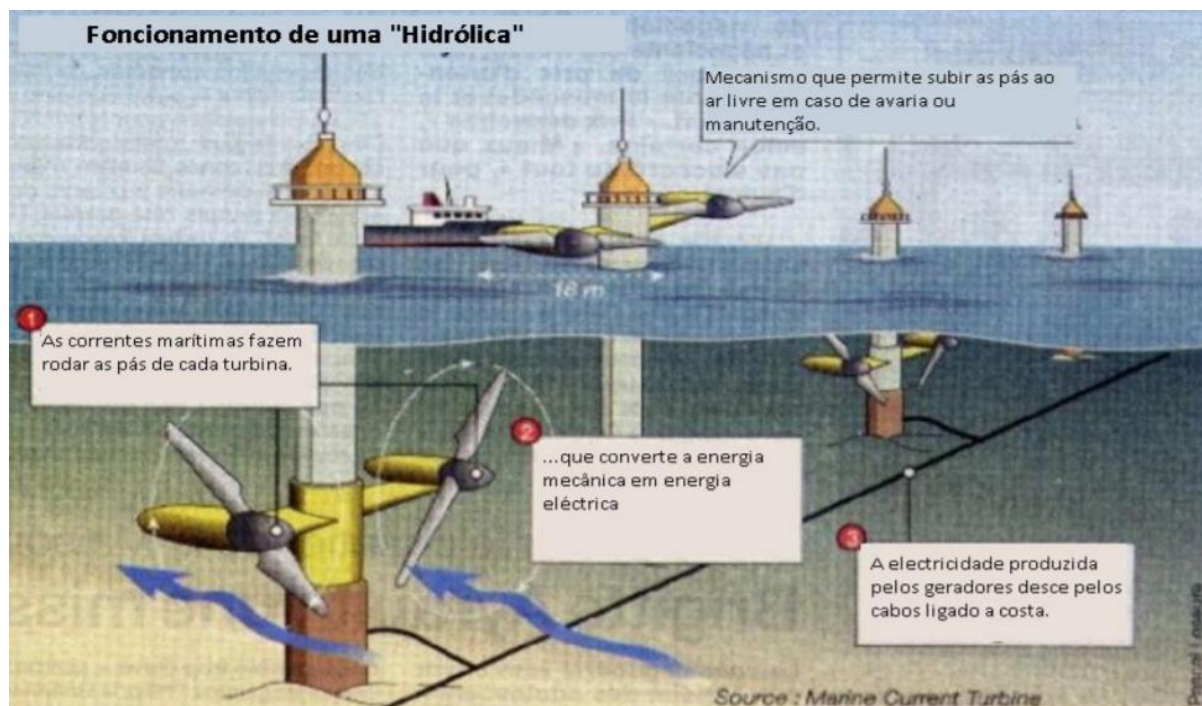


Figura 23: Funcionamento de uma central de aproveitamento da energia cinética das marés.
Fonte: Neves *et al.* (2009).

Na figura acima, podemos observar o funcionamento de uma “Hidrólica”. A produção dos dispositivos pode aumentar rapidamente conforme a velocidade das correntes, o que mostra ser interessante economicamente equipar os locais privilegiados por correntes fortes (Neves *et al.* 2009). A utilização dessa tecnologia necessita de uma velocidade mínima da corrente, cerca de 1 m/s variando com a tecnologia.

As turbinas são montadas em uma estrutura de suporte que é necessária para suportar as condições ambientais adversas. A escolha da fundação depende principalmente de condições geográficas, como a profundidade da água, condições do leito marinho, riachos, etc., e o tipo de turbina a ser instalada. Além disso, é um aspecto importante sobre a viabilidade e rentabilidade dos dispositivos (Araquistain, 2010).

Existem três estruturas principais de suporte, Figura 24. A primeira, estrutura consiste em uma grande massa de concreto e aço, que é anexado a base da estrutura para fornecer estabilidade (Callaghan 2006). A segunda opção é fixada ao fundo do mar usando uma ou mais vigas de aço ou concreto. E finalmente, a terceira opção que é geralmente ancorada no fundo do mar usando correntes ou fio. Neste caso, a turbina é fixada para baixo apontando o feixe vertical, que é fixo a uma estrutura flutuante (Araquistain 2010).

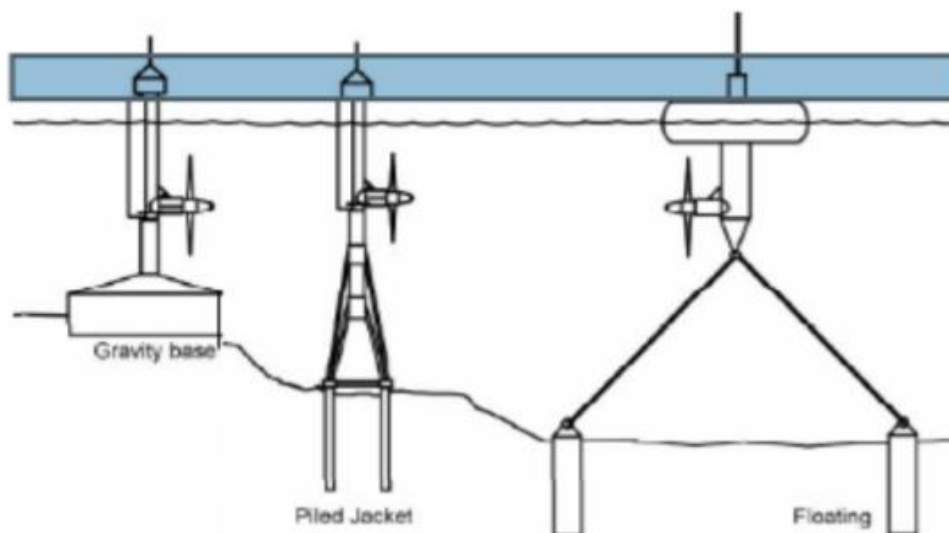


Figura 24: Tipos de estruturas.
Fonte: Frankel (2004).

3.3.3.3 Tipos de turbinas

3.3.3.3.1 Turbinas de corrente de maré de eixo horizontal

As pás da turbina giram em torno de um eixo horizontal que é paralelo à direção do fluxo de água. Eles estão dispostos debaixo de linhas, semelhantes a alguns parques eólicos. O ponto de operação ideal das turbinas é para velocidades de correntes costeiras entre 4 e 5,5 mph (milhas por hora) (Khaligh 2008).

Nessas correntes, uma turbina de maré de 15 metros de diâmetro pode gerar tanta energia quanto uma turbina eólica de 60 metros de diâmetro. Os locais ideais para as fazendas de turbinas de maré são próximos à costa em profundidades de cerca de 20 a 30 m. Turbinas horizontais têm eficiência ligeiramente superior às turbinas verticais (Araquistain 2010).

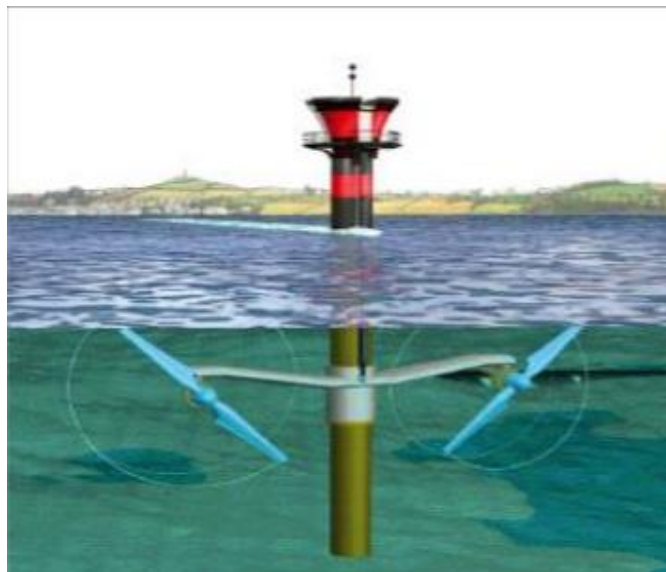


Figura 25: Turbinas de eixo horizontal.

Fonte: Araquistain (2010).

3.3.3.3.2 Turbinas de corrente de maré de eixo vertical

Turbinas de eixo vertical, Figura 26, são turbinas de fluxo cruzado, com o eixo posicionado perpendicular à direção do fluxo de água (Kiho *et al.* 2007). Turbinas de fluxo cruzado permitem o uso de um rotor orientado verticalmente que pode transmitir o torque diretamente à superfície da água sem a necessidade de sistemas de transmissão complexos ou uma barquinha submarina (Araquistain 2010).

O desenho do eixo vertical permite o aproveitamento do fluxo de maré de qualquer direção, facilitando a extração de energia não apenas em duas direções, a entrada e a saída da maré, mas fazendo uso de uma elipse do fluxo. Além disso, as pás são facilmente construídas e seu vão pode ser facilmente aumentado (Coiro 2007). No entanto, estes tipos de turbinas experimentam muitas vibrações, pois as forças exercidas sobre as bexigas são muito diferentes, consequentemente, é difícil alcançar a estabilidade. Tanto em turbinas de eixo vertical como em eixos horizontais a velocidade de rotação é muito baixa, em torno de 15 rpm (Araquistain 2010).

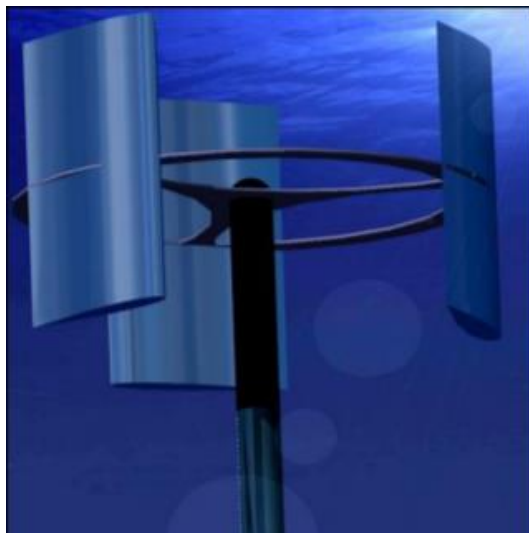


Figura 26: Turbina de eixo vertical.
Fonte: Araquistain (2010).

3.3.3.4 Impactos ambientais

Pelo fato de ser uma fonte de energia considerada limpa, a exploração de energia maremotriz não produz nenhuma poluição direta ao meio-ambiente. Porém, para a construção e operação de uma usina maremotriz é necessário que se tenha um cuidado adequado, principalmente com relação aos estuários, pois a instalação pode resultar em efeitos diretos sobre o ecossistema local e causar algumas modificações nas características naturais do local (Gonçalves *et al.* 2008).

Alguns dos aspectos que devem ser analisados são as possíveis alterações na qualidade da água, que podem gerar mudanças nas características químicas da água, como a salinização e a oxigenação; e devido a prováveis alterações nos regimes de sedimentação e erosão, é possível que haja alteração na morfologia do estuário (Neto *et al.* 2011).

Estas alterações variam de acordo com o local, entretanto, podem ser formuladas levando-se em consideração aspectos como alterações na distribuição das espécies dentro do estuário e com a composição do grupo de espécies onde algumas podem deixar de existir, enquanto novas espécies podem surgir (Gonçalves *et al.* 2008).

3.3.3.5 Custos

Segundo Tolmasquim (2016), o valor final da energia gerada por uma usina de maré depende muito das características de cada projeto. De maneira geral, o tempo e o investimento

de construção variam com o tamanho da barragem (altura e comprimento). A produção de energia, por sua vez, depende da diferença de altura entre as marés baixa e alta. A relação entre esses dois fatores pode ser expressa pelo “Gibrat Ratio”, que é dado pela divisão do comprimento da barragem (em metros) pela quantidade de energia gerada pela planta (em kWh/ano). Quanto menor o valor, melhor. A planta de La Rance (França), por exemplo, tem um Gibrat Ratio de 0,36, enquanto o projeto da usina de Severn (Reino Unido) apresenta um fator de 0,87 (Ocean Energy Council [s.d.]).

De acordo com levantamento do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (2012), com base em algumas plantas instaladas, e estimativas da Black & Veatch (2012), Tabela 3, o custo de investimento em uma usina de conversão de marés está na faixa de US\$ 4.500/kW a US\$ 6.000/kW. A usina de Sihwa, na Coreia do Sul, finalizada em 2010, teve um investimento bem inferior, de US\$ 1.170/kW. Contudo, a planta se beneficiou de uma barragem existente, construída em 1994 com fins agrícolas para recuperação de terras (Schneeberger 2008). Não se espera grandes reduções de custos nas usinas de marés nos próximos anos, por se tratar de uma tecnologia madura (Ernst & Young; Black & Veatch 2010).

O ambiente marinho traz um desafio adicional na operação e manutenção (O&M) das plantas, especialmente se a manutenção tiver que ser realizada em águas turbulentas. Essa dificuldade se traduz em um maior custo de O&M. Os custos fixos médios de O&M estão estimados em US\$ 100/kW/ano (IPCC, 2012).

Tabela 3: Parâmetros da geração de marés.
Fonte: Tolmaquim (2016)

Custo de Investimento (US\$/kW)	4.500-6.000
Custo O&M Fixo (US\$/kW/ano)	100
Custo de O&M variável (US\$/MWh)	0
Potência Típica (MW)	250
Vida útil (anos)	50
Tempo de construção (anos)	6
Fator de Capacidade Médio (%)	25
Taxa de Desconto (% a.a.)	8
Custo Nivelado (US\$/MWh)	214 - 270

4 ESTUDOS DE CASO

4.1 ESTUDOS DE CASO NO MUNDO

(a) Parque eólico offshore - Mar da Irlanda

O maior parque eólico *offshore* (em alto-mar) do mundo, Figura 27, foi inaugurado em setembro de 2018, na costa noroeste da Inglaterra, pelo grupo de energia dinamarquês *Orsted*. É o projeto *Walney Extension* (Época Negócios 2018).



Figura 27: O Walney Extension, maior parque eólico marítimo do mundo.

Fonte: <https://marsemfim.com.br/conheca-o-maior-parque-eolico-maritimo-do-mundo/>.

Com uma área de 145 km², equivalente a 20.000 campos de futebol, o parque eólico tem uma capacidade de 659 MW, o suficiente para abastecer 600 mil casas, ultrapassando o outro parque eólico *offshore* chamado *London Array*, na costa leste da Inglaterra, que tem 175 turbinas e uma capacidade de 630 MW (Ambiente Brasil 2018). As 40 maiores turbinas eólicas em operação global serão produzidas pela *MHI Vestas*, cada uma com 8 MW e 195 metros de altura. A *Orsted* afirma que essas turbinas foram projetadas para otimizar energia e gerar até 8,25 MW (Brasil Agro 2018).

A *Walney Extension* tem 87 turbinas construídas pela multinacional espanhola a *Siemens Gamesa* e a produtora de turbinas eólicas *MHI Vestas*. O contrato da *Walney Extension* precifica a eletricidade com um mínimo de £ 150, algo em torno de US\$ 195, por megawatt hora (MWh) durante 15 anos. Desde que foi concedido, o custo de energia eólica *offshore* caiu drasticamente para um mínimo de £ 57,70 libras por MWh no último leilão realizado em 2017.

(b) Projeto *Mighty Whale* (Gokasho – Japão)

O Projeto *Mighty Whale*, Figura 28 que se encontra em *Gokasho* no Japão é uma balsa com 50 metros de comprimento, 30 metros de largura e 12 metros de profundidade, dividida internamente em três compartimentos contendo ar. Segundo Ambiente Brasil, este projeto foi implementado pela *Japan Marine Science and Technology Center* (Centro de Ciência e Tecnologia da Marinha do Japão). O *Might Whale* não é mais que um dispositivo de CAO, pelo que todo o seu funcionamento é em tudo semelhante. No entanto, a sua possibilidade de instalação em zonas de maior profundidade permite-lhe beneficiar de ondas mais poderosas (Cruz e Sarmiento 2004).

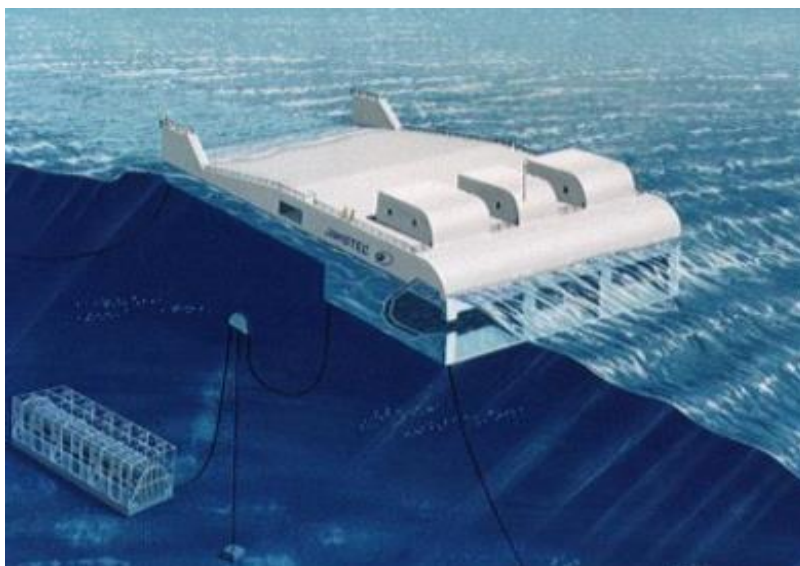


Figura 28: Exemplo de uma antevisão do *Mighty Whale*.
Fonte: Sesmil (2013).

Cruz e Sarmiento (2004) afirmaram que, o *Mighty Whale* foi produzido para operar ao largo da costa e sua aplicação estava destinada ao fornecimento de energia a pisciculturas instaladas nas águas calmas que ficariam a jusante dos dispositivos, além de destinar-se à purificação da água do mar e permitir atividades de recreio.

O protótipo, ancorado na entrada da baía de *Gokasho*, Japão, a uma profundidade de 40 m operou entre 1998 e 2002. O sistema de ancoragem do *Mighty Whale* foi concebido para suportar 50 anos de ventos e tempestades. Devido à baixa densidade de energia das ondas no Japão, Figura 29, o dispositivo mostrou uma eficiência não satisfatória, sendo inferior ao que se considera o limiar necessário para atingir a viabilidade econômica, tendo sido posteriormente desmantelado (Godinho 2010).

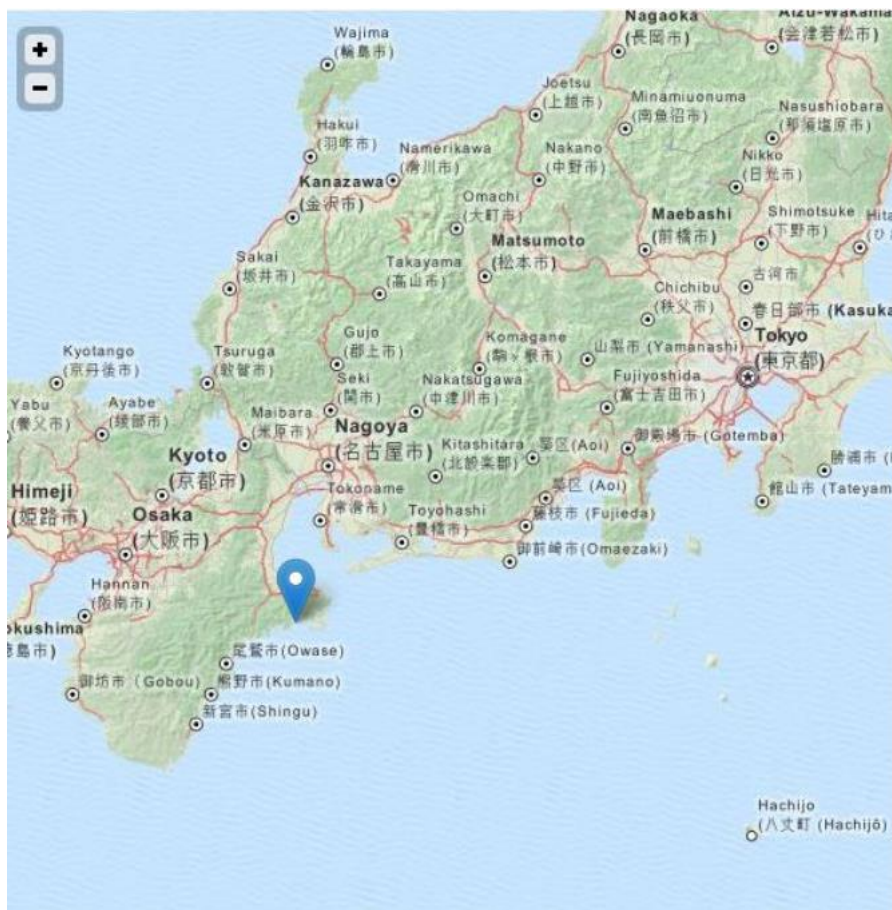


Figura 29: Local de operação do projeto Mighty Whale.
Fonte: Sesmil (2013).

(c) Barragem *La Rance* – França

De acordo com Quirino *et al.* (2017), o projeto de ***La Rance***, Figura 30, foi a primeira usina maremotriz de que se tem notícia. Inaugurado em 26 de novembro de 1966, no estuário do rio Rance, localizado no Norte da França, que é uma zona em que a amplitude das marés é muito considerável e a isto se deveu a escolha do local. Atualmente é operada pela empresa *Electricité de France*.

Terminada no ano de 1967, conta com 24 turbinas, cada uma capaz de produzir 10 MW o que totaliza um pico de geração de 240 MW e uma produção anual de quase 600 GWh. Segundo Sesmil *et al.* (2017), a barragem tem comprimento total de 750 metros, e levou 20 anos para pagar o custo de implantação, estimado em 94,5 milhões de euros. A área total inundada é de 22,5 km². A diferença entre o nível do mar na maré alta e na maré baixa chega a

13 metros, mas normalmente fica pouco acima dos 8 metros. Foram necessários 25 anos de estudos intensivos e 6 anos de construção até esta central estar pronta (Neves *et al.* 2014).

De acordo com Charlier e Finkl (2009), as atividades pesqueiras na região não foram prejudicadas com a presença da usina. A geração de eletricidade é o principal benefício observado pela construção da usina maremotriz de La Rance, mas atrelado a isso, vieram outros fatores positivos, como a intensificação do turismo, pois a usina tornou-se um atrativo turístico na região (Quirino *et al.* 2017).



Figura 30: Vista aérea da usina de La Rance.
Fonte: Sesmil (2013).

(d) Projeto *Meygen*

MeyGen é atualmente o maior projeto de corrente de maré planejado no mundo, e é o único arranjo comercial de múltiplas turbinas que iniciou a construção. O local, Figura 31, de 3,5 km abrange algumas das águas mais rápidas do Reino Unido, e está a apenas 2 km da ponta nordeste da Escócia. Ao Norte do local se encontra a ilha desabitada de *Stroma*, que cria um canal natural com o continente que acelera milhões de toneladas de água que flui entre o Mar do Norte e o Oceano Atlântico todos os dias (Simec Atlantis Energy 2019).

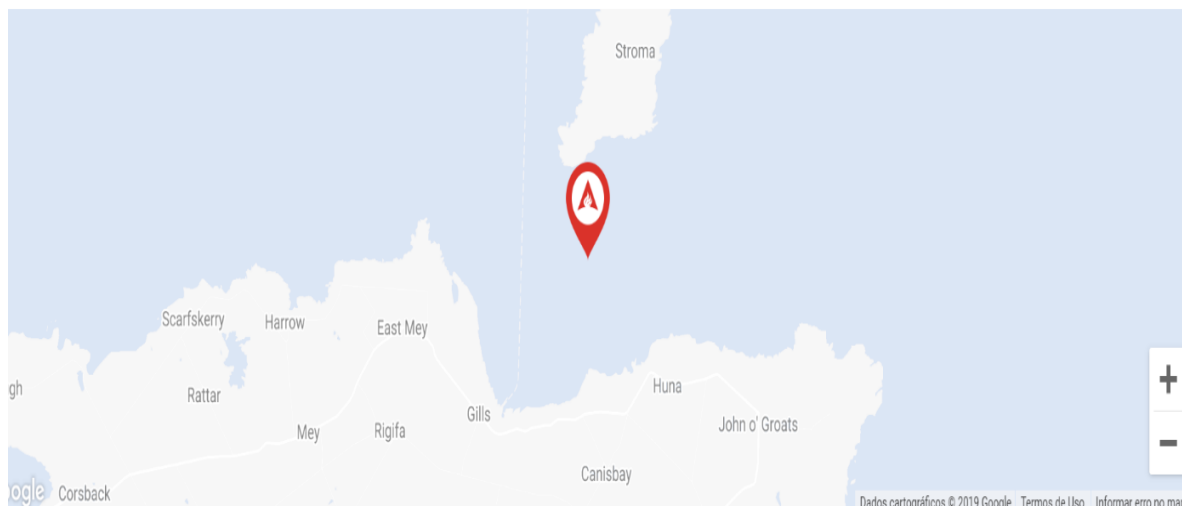


Figura 31: Local de instalação da usina MeyGen.

Fonte: <https://simecatlantis.com/projects/meygen>.

A usina MeyGen, que terá uma capacidade instalada de 398 MW e passará a ser a maior usina maremotriz em operação no mundo. Financiada pelo Fundo de Investimento em Energia Renovável do Reino Unido, o projeto faz parte de um programa de energia limpa que prevê a produção de 190 GW de energia renovável até 2050 (Nascimento, 2017). O projeto será composto por 269 turbinas, gerando até 398 MW suficiente para abastecer 175.000 lares do Reino Unido. A Figura 32 mostra um desenho esquemático das turbinas.

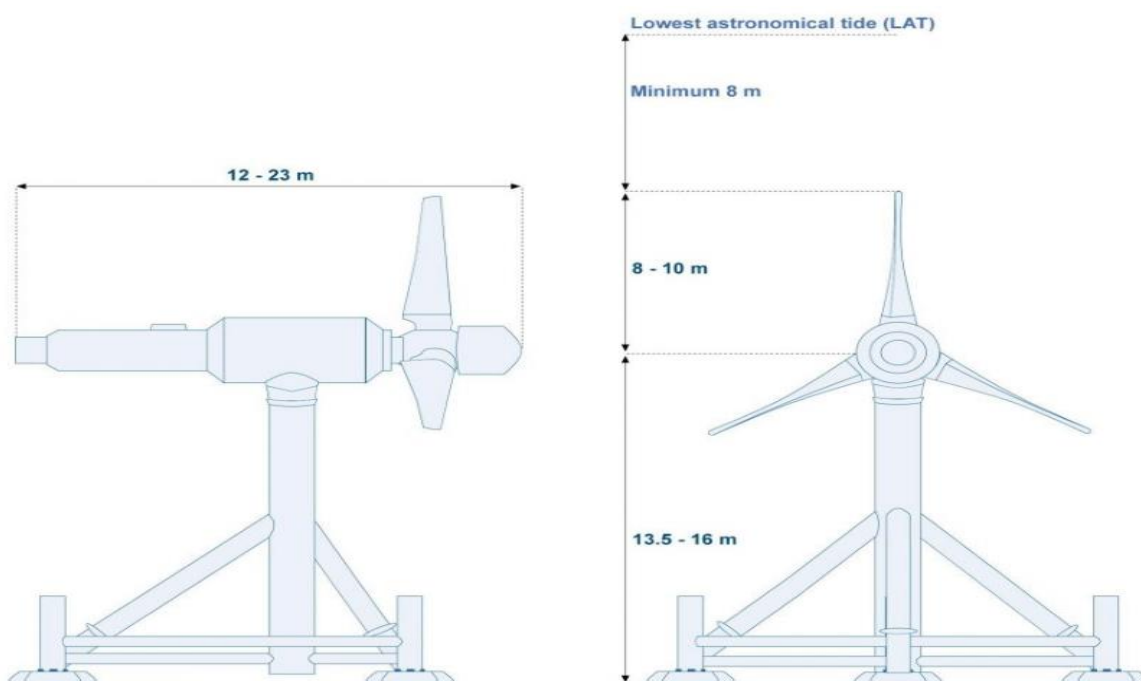


Figura 32: Desenho esquemático das turbinas de maré do projeto MeyGen.

Fonte: <https://engenhariae.com.br/meio-ambiente/meygen-maior-projeto-de-energia-das-mares-do-mundo-foi-lancado-na-escocia>.

Segundo *Simec Atlantis Energy* (2019), o projeto é composto por 3 fases, sendo a primeira fase dividida em 1A, 1B, e 1C, onde incorporará duas tecnologias diferentes de turbina (*Atlantis Resources AR1500* e *Andritz Hydro Hammerfest AH1000 MK1*), com equipamentos de monitoramento ambiental instalados que avaliarão a interação entre as turbinas de maré e o ambiente marinho, incluindo mamíferos marinhos. Os resultados do trabalho de monitoramento serão usados para informar as fases subsequentes do projeto. A primeira fase *MeyGen* (1A) envolve a implantação de 4 turbinas de 1.5 MW instaladas em estruturas de apoio a turbinas gravitacionais como parte da estratégia de implantação e monitoramento do *MeyGen*, e atuará como um precursor para o desenvolvimento das restantes projeto de 86 MW. A segunda fase (1B) do projeto *MeyGen* envolverá a instalação de mais turbinas de 4 * 1.5 MW instaladas (*Simec Atlantis Energy* 2019).

Na fase (1C) serão construídas mais 49 turbinas (73,5 MW) turbinas a um custo estimado de £ 420m, com instalação a partir de 2019. Já nas duas últimas fases do projeto (2 e 3), o contrato de arrendamento *offshore MeyGen* permite atualmente até 398MW de capacidade de fluxo de maré a ser instalado dentro do site. Embora atualmente a *MeyGen* tenha capacidade de grade de até 252 MW, o local é capaz de suportar todo o projeto. Isso implica um potencial projeto de Fase 3 de 146 MW que, sujeito a conexão à rede, disponibilidade de turbinas e velocidade de instalação está programada para implantação após a conclusão da Fase 2 (*Simec Atlantis Energy* 2019).

4.2. ESTUDOS DE CASO NO BRASIL

(a) Complexo Eólico Osório – Rio Grande do Sul

Pelo seu bom potencial eólico associado às boas condições de infraestrutura e conexão à rede elétrica, foi escolhido o município de Osório para implantação deste projeto que, imediatamente, passou a ser identificado como Parques Eólicos de Osório, Figura 33. Nos anos de 2009, 2010 e 2011, através de leilões de energia promovidos pelo Governo Federal, foi possível realizar a ampliação do empreendimento. Atualmente, a potência instalada alcança 375,4 MW em operação, a qual compreende os parques eólicos no Município de Osório e no município vizinho Palmares do Sul, ambos controlados pelo Centro Integrado de Operações e Controle de Osório, que atua de maneira contínua. Além disso, a potência unitária de 2 MW das turbinas eólicas e sua avançada tecnologia fez deste empreendimento o primeiro do gênero na América Latina (*Enerfim* 2019).



Figura 33: Complexo Eólico de Osório- RS.

Fonte: http://complexoeolicodeosorio.com.br/br/coplexo_eolico_de_osorio.php.

A potência é gerada a partir do funcionamento dos 148 aerogeradores do Complexo Eólico de Osório somadas aos 25 aerogeradores do Complexo Eólico de Palmares, município vizinho à Osório. Nos últimos doze meses, a energia produzida por este conjunto de usinas superou um milhão de megawatts/hora, resultando em quantidade equivalente ao consumo residencial anual de 525.000 famílias, aproximadamente 1,75 milhão de pessoas (ENERFIM, 2019).

(b) Projeto Porto Pecém – Ceará

Localizado em Pecém, 60 km a norte de Fortaleza – CE, o projeto, Figura 34, foi desenvolvido pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia (COPPE), órgão suplementar da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O conceito desenvolvido pela COPPE/UFRJ é o uso de um sistema de alta pressão para movimentar a turbina e o gerador. O conjunto consiste em um flutuador e um braço mecânico que, movimentados pelas ondas, acionam uma bomba para pressurizar água doce e armazená-la num acumulador conectado a uma câmara hiperbárica ($P = 200$ e 400 mca (metro coluna de água)) (Quirino *et al.* 2017). A câmara, que libera jato d'água, com pressão e vazão controladas, aciona uma turbina acoplada a um gerador, produzindo eletricidade. Cada unidade de bombeamento, possui 50 KW de potência, com o flutuador, o braço, a estrutura de fixação e a bomba.

Sua principal vantagem é possibilitar a simulação de elevadas quedas d'água sem que para isso seja necessário ocupar áreas de grande extensão, como exigem as hidrelétricas (Sesmil 2013).

De acordo com o pesquisador do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ, o Doutor em Engenharia Oceânica Eliab Ricarte Beserra, esse projeto não conseguiu gerar a quantidade prometida de energia, e nem de forma contínua, então foi abandonado após a quebra de um componente estrutural, pelo fim do contrato de pesquisa com a Tractebel, multinacional que investiu R\$ 15 milhões no empreendimento, e por necessitar de melhorias tecnológicas (Quirino *et al.* 2017).



Figura 34: Imagem do projeto de Pecém.

Fonte: <https://www.revistaplaneta.com.br/energia-que-vem-do-mar/>.

(c) Barragem de Bacanga - MA

Situada na cidade de São Luís, no estuário do Bacanga, a barragem de Bacanga, Figura 35, foi construída na década de 70, planejada para ser a primeira usina de marés brasileira. As condições favoráveis associadas com as alturas de marés consideráveis, podendo chegar a 6,5 m, fez deste um local ideal para a construção de uma planta-piloto. (Lima *et al.* 2003).

A barragem também foi construída com o intuito de ligar a cidade de São Luís e o Porto de Itaquí, reduzindo a distância de 36 km para 9 km, além de propiciar o crescimento urbano em direção ao Porto e a formação do lago artificial que auxiliaria no processo de urbanização e de saneamento da cidade. Além disso, na época da construção da barragem já se pensava em aproveitá-la para geração de eletricidade (Neto *et al.* 2011).

Entre os anos de 1977 e 1978, a Eletrobrás tendo em vista a grande importância de pesquisa sobre geração maremotriz, deu início a primeira fase de estudos do aproveitamento hidroenergético do estuário, que aproveitaria as estruturas já existentes da Barragem. Outro aspecto que influenciou esta motivação foi o projeto de La Rance, na França.

O projeto executivo previa construção de uma eclusa junto ao vertedouro, bem como o alargamento do coroamento da obra que era inicialmente de 10m para 20 m. Com vista nas visitas feitas a usinas em operação e em fábricas de equipamentos, ficou decidida a utilização de duas alternativas: 1. grupo turbogerador bulbo; 2. grupo com gerador periférico (Quirino *et al.* 2017). Por razões geotecnológicas e construtivas, a usina seria implantada à margem esquerda do estuário, pois teria que ser construída a "seco", com o mínimo de interferência ao tráfego local, além de utilizar geradores da mesma potência. O anteprojeto definia para a alternativa 1, o uso de 6 turbogeradores bulbo de 4,5 MW com geração de 56,3 GWh/ano; e para alternativa 2, três grupos periféricos de 11,34 MW com geração de 59,6 GWh/ano, por contar com a possibilidade da fabricação Nacional (Lima *et al.* 2003).

Embora fosse um projeto bastante promissor, a sua implantação tornou-se inviável economicamente devido a uma série de fatores posteriores: ocupação urbana desordenada em áreas do reservatório e a criação de uma avenida que também margeia o reservatório obrigaram que este fosse mantido, através do controle das comportas da barragem, a uma cota máxima bem inferior ao previsto no projeto inicial (Neto *et al.* 2011).

Atualmente, entretanto, existem propostas da criação de uma usina-piloto para fins de pesquisa apenas, tendo em vista que este conhecimento possa ser revertido para outras regiões do Brasil que possuam potencial mais significativo (Neto *et al.* 2011).



Figura 35: Vista aérea da barragem Bacanga -MA.
Fonte: <http://kamaleao.com/saoluis/1287/barragem-do-bacanga>.

(d) Correntes de maré na Foz do Rio Amazonas

O projeto desenvolveu tecnologia para gerar eletricidade em pequena escala para comunidades isoladas da região amazônica usando a energia das correntes de maré (Fleming 2012). O local escolhido foi Ilha do Combu na foz do rio Amazonas. É situada numa comunidade rural distante a meia hora de barco de Belém. A amplitude da maré nesta região varia de 1,5 a 3,5 m, conforme a fase da lua e época do ano. Por causa da imensa vazão do rio Amazonas, a água da maré na região é doce o ano inteiro (Anderson 2006).

Foi desenvolvida uma turbina helicoidal pequena e que pode ser montada, instalada e operada pela população local, Figura 36. Ela é instalada em uma estrutura construída em madeira que força a passagem da corrente pela turbina conectada a uma polia que gira um alternador de carro, utilizado turbina como gerador, Figura 37 (Fleming 2012).



Figura 36: Artesãos locais com a helicoidal.
Fonte: Fleming (2012).



Figura 37: (a) Estrutura onde foi instalada a turbina. (b) Polia conectada à turbina. (c) Alternador conectado à polia, utilizado como gerador.
Fonte: Fleming, (2012).

Segundo Anderson (2006), a tecnologia foi desenvolvida em estreita colaboração com técnicos, oficinas e artesões rurais da região, e desta forma é acessível aos residentes rurais. Em torno de 90% da estação de geração movida a maré pode ser construído usando mão-de-obra, materiais e equipamentos disponíveis na região. Somente as pás da turbina helicoidal, tecnicamente aprimoradas, são componentes externos.

5 ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA

Segundo Souza Filho (2000), a Zona Costeira Amazônica (ZCA), Figura 38, está geograficamente situada entre a Ponta de Tubarão, no Maranhão (4° S, 43° W) e o cabo Orange, Amapá (5° N, 51° W); possui aproximadamente 2.250 km de extensão, excluindo as reentrâncias do litoral e as ilhas. Nesta faixa territorial encontram-se ainda as regiões metropolitanas de Macapá-Santana (AP), Belém (PA) e São Luís (MA).

Está inserida no contexto das regiões conhecidas como tropicais úmidas. Os trópicos úmidos são caracterizados por precipitação alta e constante (> 1.500 mm/ano), altas temperaturas (> 20°) com baixa variação térmica e elevada nebulosidade (Nittrouer *et al.* 1995). Nesta região destaca-se a influência do Rio Amazonas que despeja um volume de água médio de 6,3 trilhões m³/ano, o que representa aproximadamente 16% de toda a água doce descarregada nos oceanos (Oltman 1968), apresentando uma descarga líquida máxima de 220 mil m³/s (Richey *et al.* 1986).

Pereira (2007) afirma que o principal sistema meteorológico que causa chuvas na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo o período chuvoso compreendido entre os meses de janeiro a maio, quando a ZCIT se move em direção a área costeira e oceânica dos Estados do Maranhão, Pará e Amapá. No segundo semestre a ZCIT se desloca para o Hemisfério Norte e as poucas chuvas registradas neste período estão relacionadas às influências das linhas de instabilidade associadas à brisa marítima, aos vórtices ciclônicos de ar superior e às ondas de leste (Figuerola e Nobre 1990; Marengo 1995). A temperatura é típica de ambiente equatorial alcançando médias mensais entre 24 e 28 °C, entretanto, as temperaturas máximas e mínimas podem ser superiores a 30 °C e inferior a 22 °C. Com relação à umidade relativa, a média anual varia entre 80 e 91% (Martorano *et al.* 1993).

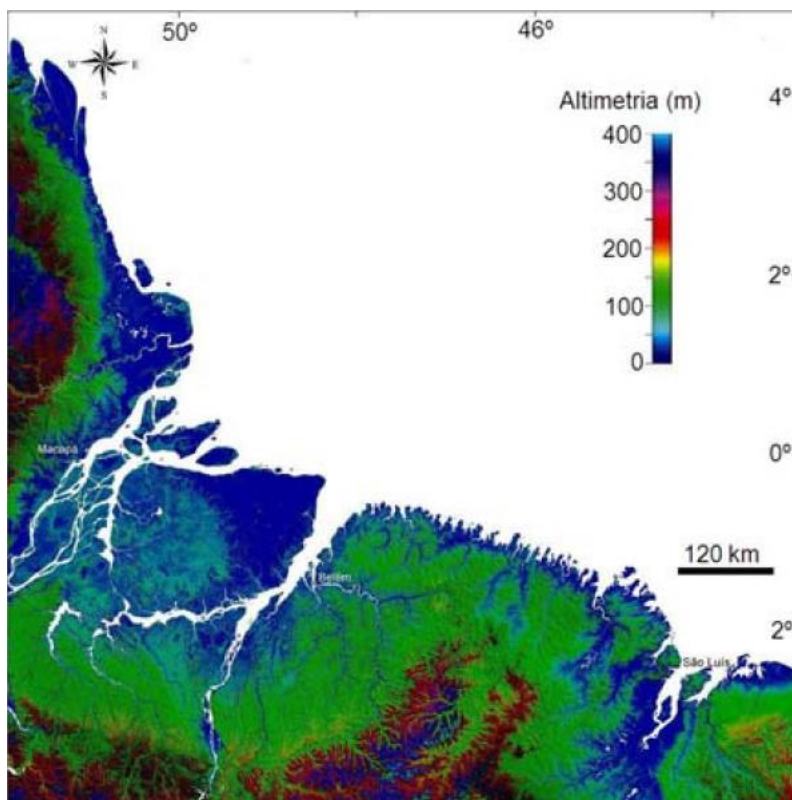


Figura 38: Zona Costeira Amazônica Brasileira.
Fonte: Souza Filho *et al.* (2005).

As marés são semi-diurnas com alturas que podem variar entre 8 m no Maranhão a 12 m no Amapá, podendo adentrar dezenas de quilômetros nos estuários e rios da região. Entre as correntes costeiras, as correntes de marés são as mais importantes, alcançando 2 m/s em frente a foz do Amazonas (Beardsley *et al.* 1995).

A CCNB (Corrente Costeira Norte Brasileira) influencia altamente a região Norte, que transporta as águas da plataforma continental externa e do talude na direção noroeste, com uma velocidade que chega até 1,2 m/s (Richardson *et al.* 1994). Para Metcalf (1968), a CCNB, varre a plataforma continental, na direção NW, com uma velocidade em superfície maior que 75 cm.s⁻¹. Medidas de direção de Flagg *et al.* (1986), mostram-se a mais ou menos de 20°N da CCNB e 100-200 km de extensão. Em geral, o limite mais interno da corrente situa-se dentro de uma faixa distante de 20 a 40 km da linha da costa, enquanto que as velocidades máximas desenvolvem-se numa faixa, que dista entre 150 a 200 km da costa. De acordo com Luedemann (1967), a velocidade média combinada da CCNB é de cerca de 110 cm/s entre março e abril.

Na plataforma Continental do Amazonas, as correntes de maré são dominadas por dois componentes em fluxo de maré: um fluxo de submaré paralela à costa e um semidiurno, barotrópico, cruzando as isóbatas. As correntes de maré semidiurnas mostram uma variação

pronunciada de sizígia e quadratura, com uma velocidade máxima na plataforma continental interna alcançando 2 m/s durante a maré de sizígia e 0,7 m/s durante a maré de quadratura (Geyer *et al.* 1991). O fluxo de submaré sofre um intenso cisalhamento com as fortes correntes superficiais em direção a noroeste que alcançam velocidade de 1,5 m/s. Ao contrário, o fluxo de submaré de fundo é fraco, com velocidade de 0-0,2 m/s (Geyer *et al.* 1991).

De acordo com El- Robrini *et al.* (2006), no litoral norte brasileiro, o vento segue a circulação de grande escala, com predominância de fluxo zonal de leste e atingindo uma velocidade média em torno de 5m/s. Com a proximidade do litoral, a velocidade do vento aumenta, devido ao efeito de brisa acentuado. A velocidade do vento aumenta satisfatoriamente com a chegada da primavera e o início do verão, em função da influência dos ventos alísios, que passam a soprar mais sobre a região tropical. Esses ventos são caracterizados como um presságio ao aumento das precipitações, e ficam bem definidos pelo perfil do vento próximo a superfície (El- Robrini *et al.* 2006).

O Litoral Norte, incluído na ZCA, está subdividida em três macros compartimentos: o litoral do Amapá, o litoral do golfo Amazônico e o litoral de “rias” (Barbosa & Pinto 1973) ou das reentrâncias Pará-Maranhão (El- Robrini *et al.* 2006).

5.1 ZONA COSTEIRA DO AMAPÁ

Com cerca de 750 km de extensão a Zona Costeira do Amapá (ZCEA), Figura 39, é considerada a mais preservada e menos densamente povoada do país. É subdividida em duas áreas influenciadas predominantemente pelas marés. Estes dois setores são: (1) A zona costeira estuarina ou amazônica, influenciada pelo Canal do Norte do rio Amazonas, e (2) A zona costeira oceânica ou atlântica de frente para o oceano Atlântico. A foz do rio Araguari constitui um marco divisório entre a zona costeira oceânica ao norte, que tem regime de macro a mesomarés, e a zona costeira estuarina ao sul, que exhibe mesomarés (Torres & El-Robrini 2006).

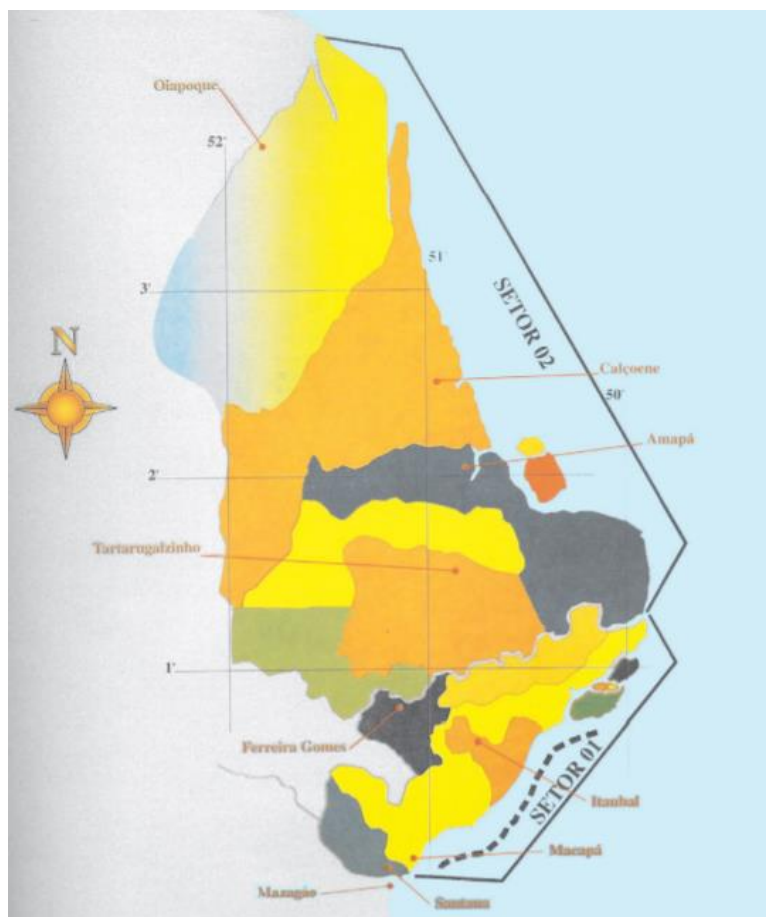


Figura 39: Mapa de localização da Zona Costeira do Estado do Amapá (ZCEA): Setor 1 – Amazônico e Setor 2 – Atlântico.

Fonte: Torres & El-Robrini (2006).

A ZCEA é caracterizada por apresentar uma costa baixa, com largura variando de 10 a 120 Km, mais ou menos retilínea, com poucas reentrâncias, sendo o resultado de acreção, devido à sedimentação fina do rio Amazonas. Nesta área, os manguezais representam 76% (7.700 km²) do total da área de manguezais do país (Herz 1991).

A ZCEA possui um clima quente, úmido e está localizada na região equatorial. Possui duas estações bem distintas de precipitação: (i) a estação seca de setembro a novembro (com precipitação em torno de 50 mm/mês) e (ii) a estação chuvosa de fevereiro a maio com precipitações maiores que 250 mm (Torres & El-Robrini 2006). De acordo com Nimer (1991), a precipitação pluviométrica anual varia de 2.750 a 3.500 mm anuais.

É uma região que não apresenta variações de temperatura, e a temperatura média anual, fica em torno de 26° e 27°C. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de setembro e novembro e as menores entre os meses de janeiro e março (INMET, 2004). Segundo CRESESB (2001) a 50 m de altura, os setores 1 e 2 da ZCEA apresentam velocidades médias de vento entre 8 m/s e 9 m/s.

A ZCEA é representada por uma costa baixa, cujas altitudes se enquadram na faixa de – 5 m e 5 m (Batista *et al.* 2005), onde a maré exerce um papel importante na dinâmica costeira. A maré nesta costa exhibe valores de macromarés, como no Igarapé do Inferno (7,38 m), na Ilha de Maracá (9,87 m) e na Barra Norte (4,33 m), e de mesomarés, como na Baía de Oiapoque (2,76 m) e Ponta do Céu (3,96 m) (Torres & El-Robrini 2006). Entretanto no interior da zona estuarina do Amapá, a mesomaré alcança 2,82 m em Macapá e 3,22 m no Porto de Santana (FEMAR 2000).

As correntes de maré ocasionam duas vezes por dia consideráveis modificações no volume de água do estuário do Amazonas e variação no valor superficial da salinidade, próximo à costa do Amapá (Beardsley *et al.* 1995). Próximo da desembocadura do rio Amazonas, medições foram feitas e indicam velocidades superiores a 100 cm/s (Curtin 1983). Ao Norte da ZCEA, no entanto, correntes de maré semidiurnas superiores a 35 cm/s (Allison *et al.* 1994) contribuem no deslocamento das suspensões lamosas para o litoral (Torres & El-Robrini 2006).

Na costa do Amapá, é intensamente ativo na foz do rio Amazonas o regime de ondas superficiais, bem como na plataforma interna adjacente (Torres & El-Robrini 2006). Essas ondas são geradas pelos ventos alísios de nordeste sobre as águas superficiais (Nittrouer *et al.* 1986). Tem amplitude média entre 1 e 2 m, porém podem alcançar em fevereiro amplitudes de 3 m e velocidades próximas a 30 cm/s (Cachione *et al.* 1995). Apresenta moderada energia das ondas que são moduladas pela presença de bancos/barras arenosas, a presença de ventos alísios, entre outros (Lam-Hoai *et al.* 2006, Pereira *et al.* 2012a, b, 2013a, b).

5.2 ZONA COSTEIRA MARANHENSE

De acordo com El-Robrini *et al.* (2006), Zona Costeira Maranhense (ZCEM) apresenta 5 setores, Figura 40, com características fisiográficas bem diferenciadas: (1) Golfão maranhense; (2) Litoral oriental; (3) Litoral ocidental; (4) Baixada maranhense e (5) Parque Estadual Marinho do Parcel Manuel Luís. O litoral do estado do Maranhão enquadra-se na costa do tipo *amero edge trailing* e configura-se como um litoral de “falsas rias”, com vales afogados, bastante ativos.

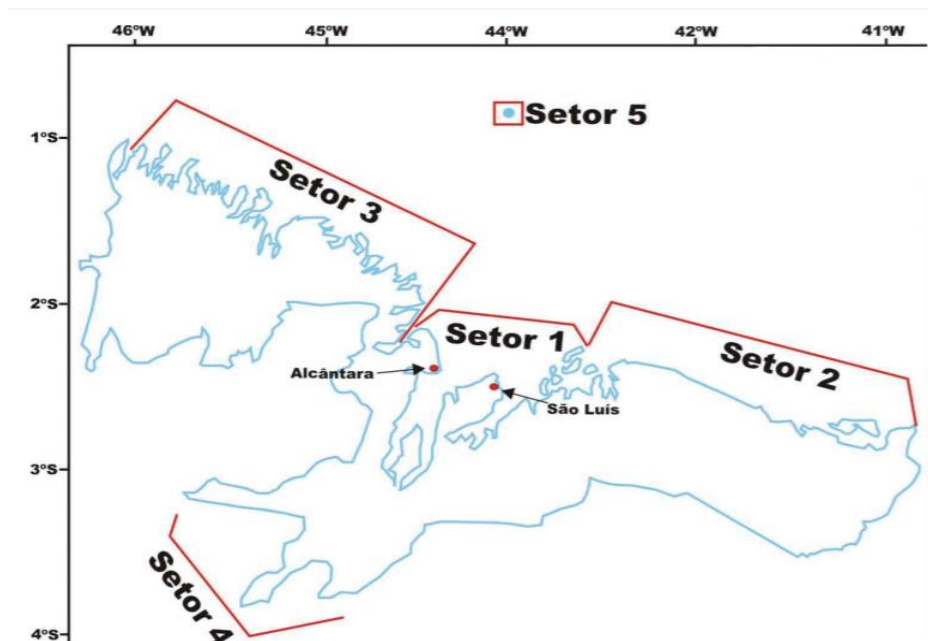


Figura 40: Mapa de Setorização da Zona Costeira do Estado do Maranhão (ZCM): 01. Golfão maranhense, 02. Litoral oriental, 03. Litoral ocidental, 04. Baixada maranhense e, 05. Parcel Mauel Luís. Fonte: El-Robrini *et al.* (2006).

De acordo com Rocha *et al.* (no prelo), a ZCM está associada à temperaturas elevadas durante o ano todo, com amplitudes térmicas máximas em torno de 6°C. A precipitação média anual no litoral N-NEB é de aproximadamente 1600 mm. Os máximos são observados no litoral norte com precipitações superiores a 2500 mm por ano.

A Plataforma Continental Interna do Maranhão está limitada externamente pela isóbata de 20 m, possuindo um relevo suave, com gradiente de 1:2250 e apresenta uma continuidade com o litoral das “falsas rias” da região (El-Robrini *et al.* 2006).

Em função da influência dos ventos alísios a velocidade do vento aumenta satisfatoriamente com a chegada da primavera e o início do verão, que passam a soprar mais sobre a região tropical. Esses ventos são caracterizados como um presságio ao aumento das precipitações, e ficam bem definidos pelo perfil do vento próximo a superfície. Medições feitas no litoral norte da Ilha de São Luís indicam velocidades entre 6.0 e 31 km/h (Feitosa 1996).

Viana (2000) afirma que, o litoral norte da Ilha de São Luís sofre efeito de ventos constantes, com a combinação dos ventos alísios de NE.

A região entre a fronteira do Estado do Pará e a baía de São Marcos representa a costa oeste do Maranhão. Essa região, conhecida como “Reentrâncias do Maranhão” é caracterizada por numerosas baías, que formam pequenas ilhas com vegetação típica de manguezal. As velocidades do vento da região têm as intensidades mais suaves da costa do Estado, com

velocidades predominantes entre 5,5 m/s e 7 m/s (Pinto Jr. *et al.* 2018). Em geral, a costa do Maranhão apresenta velocidades de vento entre 6,5 m/s e 7,5 m/s (CRESESB, 2001). Segundo Bittencourt *et al.* (1990), os ventos alísios de NE e E predominam durante o ano.

As características de seu litoral favorecem de exploração energética de energia das marés, mas apenas a costa oeste do Estado, da Baía de São Marcos ao rio Gurupi, onde estão localizadas as reentrâncias do Maranhão, oferece as características necessárias para a geração deste tipo de energia (Pinto Jr. *et al.* 2018).

Observações realizadas pelo FEMAR (1997) permitiram observar que as médias das preamares de sízigia (MHWS) e as médias das preamares de quadratura (MHWN) diminuem do (i) litoral NW (Setor 3, Figura 40) (respectivamente de 6,12 m e 4,79 m na Baía de Mutuoca e 6,65 m e 5,24 m em Turiacu); (ii) Golfão Maranhense (setor 1, Figura 40) (5,63m e 4,49 m em Alcântara, 6,48 m e 4,98 m na Ilha do Cajual e 6,02 m e 4,87 m em São Luís) para (iii) o litoral Leste (setor 2, Figura 40) (3,83 m e 3,03 m em Primeira Cruz, 3,15 m e 2,41 m em Tutoia, 2,78 m e 2,20 m na Barra do Estuário do rio Preguiça). Contudo, no Recife Manuel Luís (Setor 5, Figura 40), as médias das preamares de sízigia (MHWS) e as médias das preamares de quadratura (MHWN) são respectivamente de 2,02, e 1,57 m.

A Baía de Turiacu apresenta a maior área inundada pela maré no Estado, com 616 km² de área alagada, daí a área com maior quantidade de energia estimada extraída (Pinto Jr. *et al.* 2018). Com relação as correntes de maré, na Baía de São Marcos, as correntes atingem velocidades de até 2,5 m/s no canal do Boqueirão (Morais 1977). A leste do Banco dos Cavalos as correntes de maré atingem a velocidade de 2,3 m e 1,2 a 1,5 m/s na parte interna (El-Robrini *et al.* 2006). Trabalhos realizados nos manguezais da Ilha de São Luís (Melo 2002) apontam velocidades variando de 0 a 0,8 m s⁻¹ (quadratura) e 0 a 1,3 m s⁻¹ (sízigia).

El- Robrini *et al.* (2006), afirma que existe uma significativa refração das frentes-de-ondas de leste com os seus percentuais anuais de ocorrência no litoral oriental do Maranhão (Setor 2, Figura 40) N (N0⁰), NE (N45⁰) e E (N90⁰), com percentuais relativos entre si de 7%, 23% e 70% para as ondas com período de 5 seg. e alturas de 1 m. No Golfão maranhense, atribui-se valores entre 0.6 e 1.4 m, com média geral de 1 m (Feitosa 1989).

5.3 ZONA COSTEIRA PARAENSE

A Zona Costeira Paraense (ZCP) é distribuída em três setores: setor 1 (Costa Atlântica do Salgado Paraense); setor 2 (Continental Estuarino) e setor 3 (Insular Estuarino) (Figura 41),

além de ser composta legalmente por 40 municípios (Lei Federal n. 7.661/88; Decreto n. 5.300/2004).

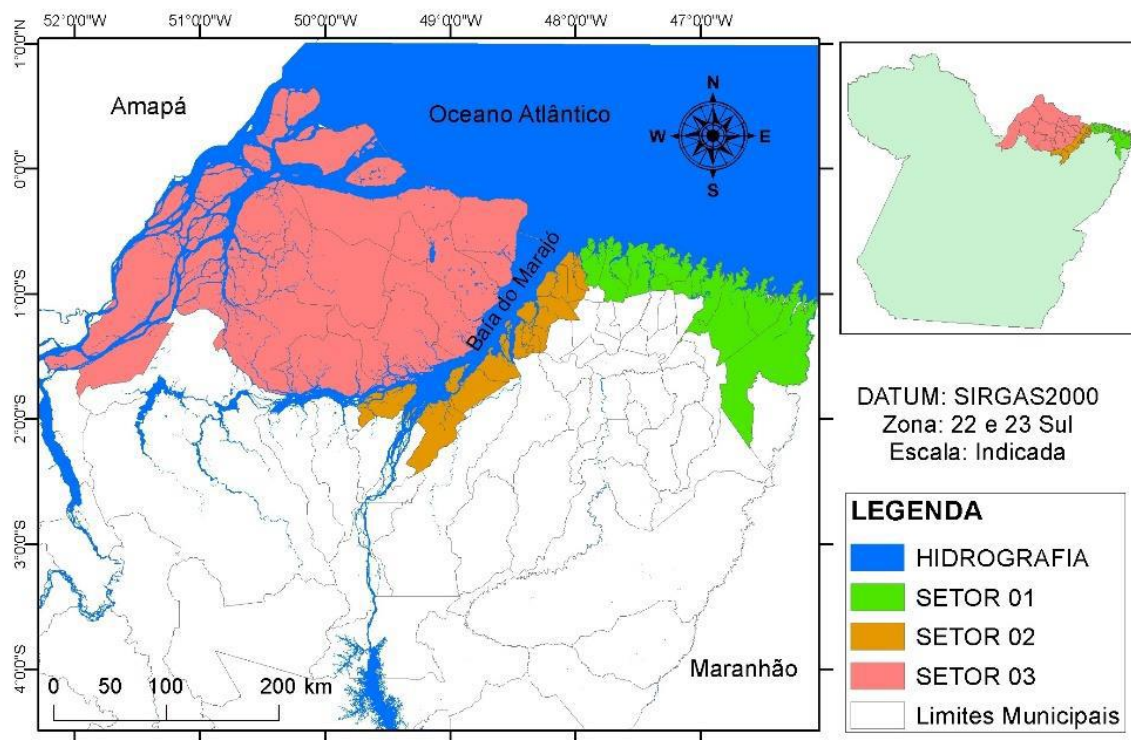


Figura 41: Mapa de localização dos municípios na zona costeira do Estado do Pará e seus setores 1 (Costa Atlântica do Salgado Paraense), 2 (Continental Estuarino) e 3 (Insular Estuarino).
Fonte: Progênio *et al.* (2017).

Costa *et al* (1996), afirma que o litoral nordeste do Pará possui um clima do tipo AWA'A', que apresenta características: megatérmico; um clima muito úmido; e deficiência de água moderada nos períodos de julho a dezembro.

A temperatura oscila entre 18°C (mínima) e 33°C (máxima), com média de 27°C, sendo, os valores mais elevados, observados nos meses de agosto a outubro, com valor máximo de 42°C (El-Robrini *et al.* 2006).

A média anual de pluviosidade gira em torno de 2.500 mm/ano, apresentando uma pluviosidade elevada. É observada a existência de duas épocas com características distintas, uma época chuvosa (dezembro a junho), e outra seca (julho a dezembro) (El-Robrini 2006).

A Plataforma Continental Interna do Pará é desenvolvida na faixa de profundidade de 0 a 30m e apresenta um gradiente bastante suave de 3,5°, com uma largura máxima de 90km.

Os ventos alísios são os principais ventos que atingem a Costa Atlântica do Salgado Paraense, com uma direção preferencial de NE, e com variações para N e E (El-Robrini *et al.* 2006). O setor 1 apresenta velocidades de vento entre 9 m/s e 7,5 m/s; o setor 2, entre 9 m/s e 7,5 m/s; e o setor 3 com velocidades entre 8 m/s e 6 m/s (CRESESB 2001).

Com relação as marés e correntes de maré a média das Preamares de Sízigia (MHWS) e a Média das Preamares de Quadratura (MHWN) no setor 1, alcançaram valores máximos, respectivamente em Salinópolis e no estuário do rio Caeté de 5 m e 3,98 m. A Média das Baixamares de Sízigia (MLWS) e as Média das Baixamares de Quadratura (MLWN) apresentam valores altos, respectivamente na Ilha dos Guarás e no Cabo Maguari de 5,2 m e 2,8 m (FEMAR 1997). No setor 2, a média de amplitude de maré fica em torno de 3,16 m em São Caetano de Odivelas, e no setor 3, por volta de 3 m na cidade de Soure (Progênio, *et al.* 2017).

A velocidade das correntes de maré pode alcançar 1.5 cm/s^{-1} (Lara *et al.*, 1999) nas “falsarias”, em particular no estuário do rio Caeté e $108,0 \text{ cm/s}$ (6 horas antes da preamar nas marés de sízigia), e mínimas de $97,7 \text{ cm/s}$ (4 horas depois da preamar nas marés de quadratura) em Salinópolis, com direções E-NW e NE (DHN 1962).

Já as ondas, segundo Pinheiro (1987), na baía de Guajará (setor 2), quebram com altura de 1m e períodos em torno de 8 segundos. Contudo, apenas na preamar. A superfície das águas na Ilha do Mosqueiro, em condições de baixamar, caracteriza um sistema relativamente tranquilo, com presença de pequenas ondulações, que não chegam a 0.3 m de altura. Assim como em Soure (setor 3). As alturas de ondas nas praias de Ajuruteua (setor 1) são moduladas por bancos e barras arenosas, localizadas nas adjacências da praia, e podem atingir 1,5 m de altura durante a preamar (Monteiro *et al.* 2009, Pereira *et al.* 2013a, 2014b).

5.4 POTENCIAIS ÁREAS PARA IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS EÓLICOS, ONDOMOTRIZ E MAREMOTRIZ NA ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA

Considerando um valor mínimo a partir da literatura de velocidade dos ventos de 7 m/s a 50 m de altura, amplitude de maré de 5 m, e amplitude de ondas de 1 m, foi possível estimar um mapa da Zona Costeira Amazônica identificando potenciais áreas para a instalação de dispositivos que utilizem esses tipos de energia, Figura 42.

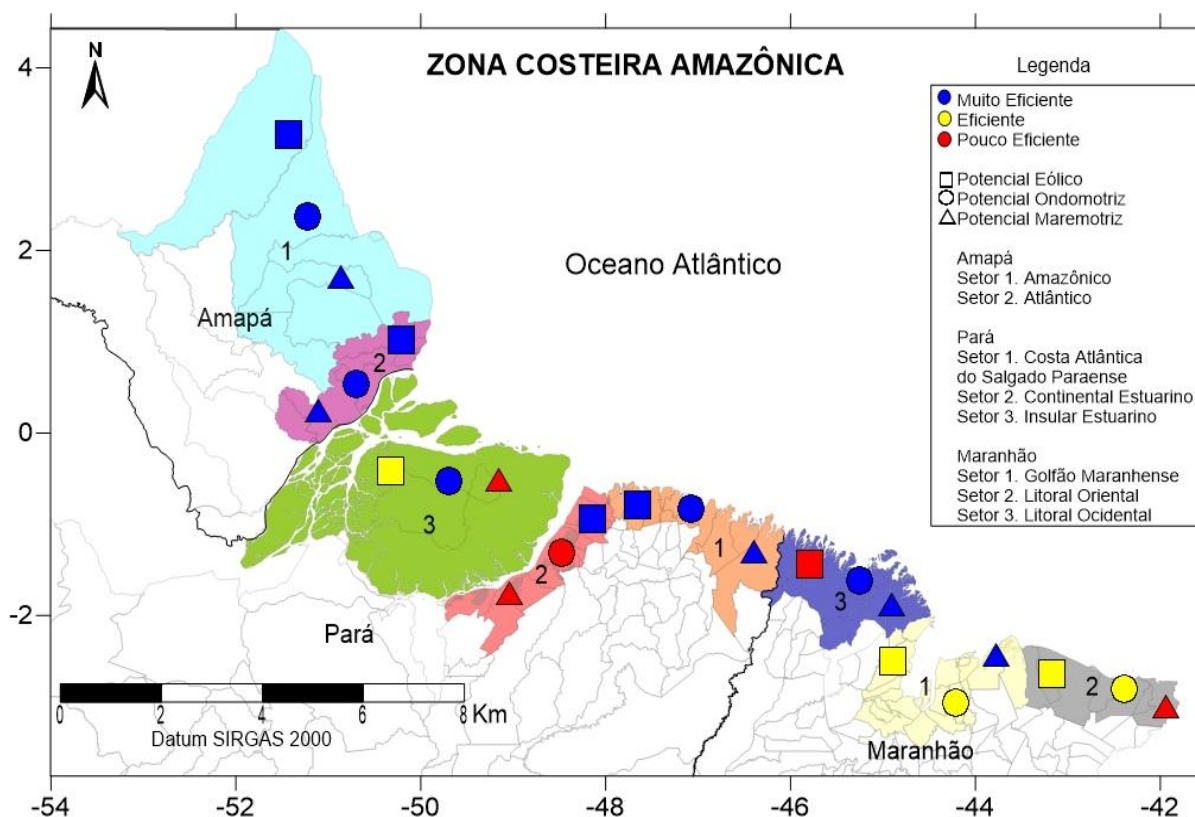


Figura 42: Potenciais áreas para implantação de projetos eólicos, ondomotriz e maremotriz, Na Zona Costeira Amazônica.
Fonte: Autoria própria.

Os setores 1 e 2 do estado do Amapá, se mostraram bastante favoráveis para implantação de usina eólicas e maremotriz. Nessa localidade os ventos foram estimados com velocidades entre 8 m/s e 9 m/s a 50 m de altura segundo CRESESB (2001). O Igarapé do inferno, localizado no setor 1 apresenta amplitude de maré 7,38 m (Torres & El-Robrini 2006). Já no setor 2, no Canal do Guimarães, a amplitude ficou em torno de 5,08 m (MMA, 2017), ou seja, é uma área considerada Muito Eficiente. Na costa do Amapá, as ondas obtiveram uma altura entre 1 m e 2 m (Torres & El-Robrini 2006), com média de 1,5 m sendo considerada uma zona Muito Eficiente para implantação de dispositivos.

No Pará, o setor 1 apresenta velocidades de vento entre 9 m/s e 7,5 m/s; o setor 2, entre 9 m/s e 7,5 m/s; e o setor 3 com velocidades entre 8 m/s e 6 m/s (CRESESB 2001). Com bases nessas velocidades de vento, os setores 1 e 2 foram classificados como Muito Eficiente, contudo o setor 3 foi considerado uma zona Eficiente. As amplitudes de maré na Ilha dos Guarás, no setor 1, possui a média de altura em 5,2m (FEMAR 1997), sendo então classificada como uma zona Muito Eficiente. No setor 2, em São Caetano de Odivelas maré chega a 3,16 m de amplitude e 3 m em Soure no setor 3 (Progênio, *et al.* 2017). Sendo então consideradas zonas

Pouco Eficientes. A amplitude de ondas no setor 1, em Ajuruteua, obteve uma média de 1,5 m (Monteiro *et al.* 2009, Pereira *et al.* 2013a, 2014b), e foi classificada como uma área Muito Eficiente; no setor 2, na Ilha de Mosqueiro, pequenas ondulações foram identificadas com altura média de 0.3m (El-Robrini *et al.* 2006), portanto, sendo uma zona Pouco Eficiente para a instalação de dispositivos ondomotriz; e por fim, no setor 3 em Soure a média fica em 1,5 m (CPTEC/INPE 2019) sendo a área também considerada Muito Eficiente.

O setor 3 do Maranhão, apresenta uma média de ventos de 6,25 m/s (Pinto Jr. *et al.* 2018), sendo considerada uma área de Pouca Eficiência, já os setores 2 e 1 apresentam a média de 7 m/s sendo inferidos como zonas Eficientes. Com relação a energia maremotriz, no setor 1, em Alcântara, a maré chega a uma altura média de 5,73 m, sendo considerada Muito Eficiente. No setor 2, em Primeira Cruz, a amplitude média é de apenas 3,43m, ou seja, é uma área Pouco Eficiente. Na Baía de Mutuoca, no setor 3, a média da maré chega a 5,45 m sendo Muito Eficiente. No contexto da energia ondomotriz, no setor 1, a amplitude é de 1 m (Feitosa 1989) assim como o setor de número 2 (El-Robrini *et al.* 2006), sendo consideradas zonas Eficientes. Por fim, o setor 3 apresentou as maiores amplitudes, com 1,75 m (Surf-Guru 2019), sendo então Muito Eficiente.

Vale ressaltar, que além de dados sobre intensidades de ventos, corrente e amplitude de maré e ondas, para a instalação principalmente de grandes projetos, é necessária também uma investigação geológica e geomorfológica da área, para analisar a viabilidade de instalação dos empreendimentos.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma visão geral dos principais aspectos sobre as fontes renováveis de energia na composição da matriz elétrica mundial e nacional através de uma revisão bibliográfica existente. A energia eólica, ondomotriz, e maremotriz, apresentam uma importante alternativa para o atendimento da contínua demanda elétrica global considerando a crescente preocupação com as mudanças climáticas, e a consequente busca por fontes renováveis de energia.

Em comparação ao resto do mundo, o Brasil segue uma característica diferenciada em sua matriz elétrica, pela presença principal da utilização da energia hidrelétrica, enquanto que demais países as termoeletricas ainda representam mais da metade da energia gerada. Assim, há necessidade de sua diversificação por outras fontes renováveis, visto que atualmente, o Brasil tem passado por uma escassez de chuvas, que tem causado uma diminuição no volume de água

dos reservatórios, diminuindo a potência gerada. Pesquisas sobre energias renováveis têm se desenvolvido e os países que obtiverem estas tecnologias desenvolvidas a seu favor, terão grandes benefícios no futuro. Este desenvolvimento tecnológico pôde ser observado neste trabalho devido à diversidade de dispositivos de geradores ondomotriz e maremotriz, por exemplo, e a quantidade de países que estão investindo neste sistema. Inicialmente, os custos, dos dispositivos de energias renováveis, ainda possuem custos elevados.

Uma dificuldade encontrada foi número de referências específicas para o Brasil que é muito limitada, não possibilitando uma ampla comparação de dados, restringindo os resultados.

As regiões com regimes de vento favoráveis à implantação de parques eólicos consistem de estados do Sul e Nordeste do Brasil, considerando o parâmetro de velocidade média anual dos ventos para os níveis entre 40 e 70 metros de altura. Embora, quando a altura é superior a 70 metros, a velocidade do vento entre 8 m/s e 10 m/s, está restrita à região Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul, a maior parte do território do Estado do Rio Grande do Norte, metade do Estado de Alagoas e Maranhão, além dos estados da Bahia e Ceará. A Zona Costeira Amazônica possui um bom potencial a 50m de altura.

Existe um bom cenário para implantação de projetos de aproveitamento da energia potencial e cinética das marés no Norte, especialmente no Amapá, e Maranhão, apesar de não existir nenhuma usina efetiva brasileira, assim como a energia das ondas. Com relação à energia de ondas, a Zona Costeira Amazônica não possui um bom potencial de geração considerando apenas a altura das ondas, mas ainda é um potencial menor se comparado com outras regiões do Brasil, principalmente Sul, Sudeste, e no mundo, como o extremo sul do continente americano e a costa oeste da América do Norte e da Europa.

Vale ressaltar que até o presente momento, os combustíveis fósseis ainda são os principais concorrentes dos recursos renováveis em termos de geração de energia. Uma outra competição que é vital para a utilização das energias renováveis, seria a área espacial. No continente, as energias renováveis competem com a utilização da agricultura, já no litoral, entra em conflito com a pesca.

Para que se possa avançar no aproveitamento dessas energias, principalmente à ondomotriz e maremotriz, é necessário investir em pesquisas, de forma a identificar os potenciais de utilização destas fontes, bem como para desenvolver as tecnologias necessárias para seu aproveitamento. Uma possibilidade seria destinar recursos do Programa de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para pesquisas associadas à fonte de energia renovável do litoral.

REFERÊNCIAS

Alves, J. J. A. 2010. Análise regional da energia eólica no Brasil. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional – G&DR*. **6** (1):165-188. Disponível em: <<http://rbgdr.net/012010/artigo8.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2019.

Ambiente Brasil. 2018. *O maior parque eólico offshore do mundo será inaugurado no Mar da Irlanda*. Disponível em: <<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2018/09/13/146276-o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo-sera-inaugurado-no-mar-da-irlanda.html>>. Acesso em: 6 de jun. 2019

Anderson, S., 2006. *The Tide-Energy Project near the Mouth of the Amazon: Applying helical turbine technology at a small scale for rural communities*. Disponível em: <globalcoral.org/Tide_Energy_Overview_English.doc>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

Andrews, J., & Jelley, N. A. 1. 2013. *Energy science: principles, technologies, and impacts*. Oxford University Press- Oxford, 412p.

Anhalt, J. 2013. *Fundamentos e Aplicações de Energia Heliotérmica*. Apresentação realizada no BNB/ETENE. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/810469/Ano_IX_n5_dez_2015.pdf/dea37c2a-7c3e-4e97-a3cd-92c6653d3b78>. Acesso em: 16 mar. 2019.

Aquaret. 2019. Disponível em: <http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=224&Itemid=221&lang=pt>. Acesso em: 13 Mar. 2019.

Araquistain, M. T. 2010. TIDAL POWER: Economic and Technological assessment. Master thesis, Department of Thermal Engineering, Tsinghua University, Tsinghua, 2010. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14731/Master%20Thesis_%20TIDAL%20POWER_%20Economic%20and%20Technological%20assessment_%20Tatiana%20Montl lonch.pdf>. Acesso em: 3 de jun. 2019.

Barbosa, G.V. & Pinto, M.N., 1973. Geomorfologia. In: Projeto RADAM BRASIL. *Folha SA-23 São Luís e parte da Folha SA-24 Fortaleza*. Rio De Janeiro: MME. Cap.2: 3-26b. (Levantamento de Recursos Naturais).

Batista, E. Das M.; Souza Filho, P.W.M. & Silveira, O.F.M. 2005. Fusão de dados SRTM com dados LANDSAT TM5 para estudo geomorfológico: Região dos Cabos Orange e Cassiporé, Amapá, Brasil. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. *Anais*. 16-21.

Beardsley, R. C.; Candela, J.; Limeburner, R.; Geyer, W. R.; Lentz, S. J.; Castro, B. M.; Cacchione, D.; Carneiro, N. 1995. The M2 tide on the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, **100** (C2):2283-2319.

Bezerra L. N., P. et al. 2011. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, **19**(2):219-232. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052011000200007>. Acesso em: 14 fev. 2019.

Bezerra N. P., Amaral, O. L., Saavedra R. O., Dos Santos M. V., Filho, T.G.L., Corrêa S.T. 2014. Avaliação Revisitada do Potencial Maremotriz do Estuário do Bacanga. *In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Disponível em: <<http://www.sbse.org.br/anais/PDF/SBSE2014-0409.pdf>> Acesso em: 24 mar. 2019.

BEZERRA, F. D. 2015. *As fontes renováveis de energia solar e eólica no Nordeste: oportunidades para novos negócios & inovação*. Banco do Nordeste. Ano IX, n. 5. 63p. Informe técnico. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/DCOM_Miolo_Rotas_Migrat%C3%B3rias_2016_final.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2019.

Bittencourt, A.C., Da S. Dominguez, J.M.L.; Moita Filho, O. 1990. Variações texturais induzidas pelo vento nos sedimentos da face da Praia de Atalaia, Piauí. *Revista Brasileira de Geociências*, **20**(1-4):201-207.

Black & Veatch. 2012. Cost and Performance Data for Power Generation Technologies: Cost Report. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.bv.com/docs/reports-studies/nrel-cost-report.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2019.

Boyle, G. 2012. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future (3rd ed.)*. Oxford: Oxford University Press and Open University, 566p.

Brant, L. N. 2016. *Desenvolvimento Sustentável e Matriz Energética na América Latina: a universalização do acesso à energia limpa*. Belo Horizonte, Konrad-Adenauer-Stiftung, 390p.

Brasil Agro. 2018. *O maior parque eólico offshore do mundo será inaugurado no Mar da Irlanda*. Disponível em: <<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo-sera-inaugurado-no-mar-da-irlanda.html>>. Acesso em: 6 de jun. 2019.

Brasil. 2005. *Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL)*. Banco de Informações de Geração: BIG. Brasília. Disponível em: <www.aneel.gov.br/15.htm>. Acesso em 2 mai. 2019.

Brasil. 2019. *Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL)*. Banco de Informações de Geração: BIG. Brasília. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 23 de mai. 2019.

Brasil. 2019. *Empresa de Pesquisa Energética. 2019*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt>>. Acesso em: 2 mai. 2019.

Brasil. 2018. Ministério de Minas e Energia. *Balanço energético nacional - BEN*. Brasília: MME.

Brasil. 2019. Ministério de Minas e Energia. *Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro*. Brasília: MME, 2019.

Brasil. Ministério de Minas e Energia. *Energia no Mundo 2015-2016*. Brasília: MME, 2017.

Cachione, D.A.; Drake, D.E.; Kayen, R.W.; Sternberg, R.W.; Kineke, G.C. & Tayle, G.B. 1995. Measurements in the Bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. *Marine Geology*, (125):235-239.

Callaghan, J., Boud, R. 2006. Future marine energy: results of the marine energy challenge: cost competitiveness and growth of wave and tidal stream energy, Technical report, The Carbon Trust. Disponível em:< <https://pt.calameo.com/books/00067241914359b82308f>>. Acesso em: 5 mai. 2019.

Carneiro et al. 2016. Relatório Anual de Rotas e Áreas de concentração de Aves Migratórias no Brasil Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/DCOM_Miolo_Rotas_Migrat%C3%B3rias_2016_final.pdf. Acessado em 16 fevereiro de 2017.

Carneiro, P. L. C. 2007. A zona costeira amazônica brasileira: limite e características. In: Simpósio Zona Costeira Amazônica, da 59ª Reunião Anual da SBPC - Belém, PA. *Anais*. Disponível em:< <http://www.sbpnet.org.br/livro/59ra/pdf/Luci.pdf>>. Acesso em: 24 de mai. 2019.

Carvalho, J. T. 2010. *Simulação da distribuição de energia das ondas oceânicas ao largo do litoral brasileiro*. MS Dissertation, Curso de Pós Graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 143 p.

Charlier, R.H.; Finkl, C.W. 2010. *Ocean Energy. Tide and Tidal Power*. Germany, 330p.

Chen, W. 2010. Tidal Energy. Stanford University. Disponível em:< <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/chenw1/>> Acesso em: 14 abr. 2019.

Coiro D.P. 2007. Horizontal and Vertical Axis Turbines for Wind and Marine Current Energy Exploitation: Design, Developments and Experimental Test. Disponível em:< https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14731/Master%20Thesis_%20TIDAL%20POWER_%20Economic%20and%20Technological%20assessment_%20Tatiana%20Montlloch.pdf> Acesso em: 14 abr. 2019.

COPPE/UFRJ; SEAHORSE WAVE ENERGY. 2013. Fontes de energia renovável do mar: Panorama no Brasil. [s.l.] Grupo de Energias Renováveis do Mar - Laboratório de Tecnologia Submarina.

Costa A.C.L., Ribeiro J.B.M., Filho J.D.C. 1996. Estudo micrometeorológico em manguezais. Projeto de Pesquisa. MADAM/UFPA/ZMT. Belém- Pará: 9p.

CRESESB, CEPEL. 2001. Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Disponível em:< http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2019.

Cruz, J. M. B. P., Sarmiento, A. J. N. A. 2004. Energia das Ondas: Introdução aos Aspectos Tecnológicos, Económicos e Ambientais, Ed. Instituto do Ambiente, Portugal, Amadora. (in Portuguese). Disponível em:<<https://pt.scribd.com/document/352939093/05-Energia-das-ondas-introducao-aos-aspectos-tecnologicos-economicos-e-ambientais-pdf>>. Acesso em: 3 de jun. 2019.

Curtin, T.B. 1983. The Amazon Plume Region: Physical observations and dynamics. EOS (American Geophysical in the Bottom boundary layer on the Amazon subaqueous delta. *Marine Geology*, **46**(125): 235-239.

Durigon J.C. 2008. Estudo Da Viabilidade Econômica Da Implantação De Sistemas Eólicos em Propriedades Rurais. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí. Disponível em:<<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp055465.pdf>> Acesso em: 8 de mar. 2019.

Da Silva, A.B. 2013. Projeto aerodinâmico de turbinas eólicas. Monografia (TCC) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 76p. Disponível em:<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005359.pdf>>. Acesso em:17 mai. 2019.

Davies, J. L. 1964. A Morphogenic Approach To World Shorelines. *Zeit. F. Geomorphy*. **8**: 27-142.

Departamento De Hidrografia E Navegação (DHN). 1962. Cartas de Correntes de Maré: rio Pará de Salinópolis a Belém, Marinha do Brasil, Hidrografia e Navegação, 22p. Disponível em:<<https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/u1974/ccm-salinopolis-a-belem.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

Dewi, E. O. N., Ewi, Rwe Transport Grid, Ve Transmission. 2005. Planning of the Grid Integration of Wind Energy in Germany Onshore and Offshore up to the year 2020. *Colonia. International Journal of Global Energy Issues*, **25**(3-4):257-275. Disponível em:<<http://www.inderscience.com/offer.php?id=8995>>. Acesso em: 3 jun. 2019.

EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION (EWEA); GREENPEACE. 2004. Wind force 12: a blueprint to achieve 12% of the world's electricity from wind power by 2020. London: EWEA,. Disponível em: Acesso em: 2 mai. 2019.

Ernst & Young; Black & Veatch. Cost and financial support for wave, tidal stream and tidal range generation in the UK. [s.l: s.n.].

EPE. 2007. Empresa De Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030, Rio de Janeiro. Disponível em:<<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030>>. Acesso em: 14 mai. 2019.

Época Negócios. 2018. O maior parque eólico offshore do mundo será inaugurado no Mar da Irlanda. Disponível em:<<https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2018/09/o-maior-parque-eolico-offshore-do-mundo-sera-inaugurado-no-mar-da-irlanda.html>>. Acesso em: 8 de jun. 2019.

El-Robrini M., Alves M.A.M.S., Souza Filho P.W.M.e, El-Robrini M.H.S., Silva Jr O. G., França C.F. 2006. Pará. In: Dieter Muehe. (org.). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 46p.

Enerfim. 2019. Disponível em:<http://complexoelicoeosorio.com.br/br/coplexo_eolico_de_osorio.php>. Acesso em: 14 jun. 2019.

- FEMAR, 1997. Catálogo das Estações Maregráficas do Brasil. Disponível em: <<http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html>>. Acesso em: 7 mar. 2019.
- FONSECA, E. G. 1992. Meio Ambiente e contas nacionais: a experiência internacional. *In*: São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. Contabilização Econômica do Meio Ambiente. Série Seminários e Debates, São Paulo, pp. 29-43.
- Filho A. V. 2009. NAIPPE- O Brasil no Contexto Energético Mundial. Disponível em: <naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol6.pdf>. Acesso em: 3 de mar. 2019.
- Fleming, F. P. 2012. *Avaliação do Potencial de Energias Oceânicas no Brasil*. MS Dissertation. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 85p.
- Fraenkel, P. 2004. Marine current turbines: feedback on experience so far, *Energies Renouvelables*.
- Figueroa, S.N., Nobre, C.A. 1990. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, **5**(6):36-45.
- Feitosa, A.C., 1989. *Evolução Morfogenética do Litoral Norte da Ilha do Maranhão*. MS MS Dissertation. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 210p.
- FEMAR. 2000. Catálogo De Estações Maregráficas Brasileiras. Disponível em: <<http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/indice.html>>. Acesso em: 7 mar. 2019.
- Figueiredo, A.G. Importance of tropical coastal environments. *Geo-Marine Letters*, **15**(3):121-126
- Nimer, E. 1991. Climatologia. *In*: Geografia do Brasil. Região Norte. Rio de Janeiro, *IBGE*. **3**:61-72.
- Flagg, C.N.; Gordon, R.L.; Mc. & Dowell, S. 1986. Hydrographic and current observations on the continental slope and shelf in the western equatorial Atlantic. *Journal Of Physical Oceanography*, **16**(8):1412-1429.
- Goldemberg, J. 1998. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: USP, 400p.
- GEA. 2012. Global Energy Assessment: Toward a Sustainable Future. Cambridge University Press. Disponível em:< <http://www.globalenergyassessment.org/>>. Acesso em: 24 mai. 2019.
- Graham NAJ, Wilson SK, Jennings S, Polunin NVC, Robinson J, Bijoux JP, Daw TM. 2007. Lag effects in the impacts of mass coral bleaching on coral reef fish, fisheries, and ecosystems. *Conservation Biology*. **21**(5):1291-1300.
- Gonçalves, W. M; Feijó, F.T; Abdallah, P.R. 2008. *Energia de ondas: aspectos tecnológicos e econômicos e perspectivas de aproveitamento no Brasil*. Disponível em:< <http://www.semengo.furg.br/2008/17.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2019.
- Geyer, W.R., Beardsley, R.C., Lentz, S.J., Candela, J., Limeburner, R., Johns, W.E., Castro, B.M E Soares, I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, **16**(5-6): 575-616. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0278434395000518>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

Herz, R. 1991. Os Manguezais do Brasil. São Paulo, IOUSP-CIRM, 233p.

Hinrichs, R., Kleinbach, M. H. 2004. *Energia e meio ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 543 p.

International Energy Agency (IEA-OES). 2019. *Ocean Energy Systems*. Disponível em: <<http://www.ocean-energy-systems.org/index.php>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

International Energy Agency (IEA). 2011. *Key World Energy Statistics*. Disponível em: http://www.iea.org/publications/free_new_desc.asp?pubs_ID=1199>. Acesso em: 15 fev. 2019.

IPCC. 2012. *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, 1075p. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>> Acesso em: 6 mai. 2019.

J. King, T. Tryfonas. 2009. Tidal stream power technology - state of the art. In: OCEANS 2009-EUROPE, Bremen, Germany, 8p. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5278329>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

Lam-Hoai T., Guiral D., Rougier C. 2006. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River Estuary (French Guiana). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **68**(1-2):47-61.

Luedmann, E.F. 1967. Preliminary results of drift-bottle releases and recoveries on the western tropical Atlantic. *Bol. Inst. Oceanogr.*, **16**(1):13-22.

Marengo, J. 1995. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal Climatology*, **15**(9): 995-1010.

Martins, F. R.; Guarnieri, R. A.; Pereira, E. B. 2008. O aproveitamento da Energia Eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **30**(1): 1304.

Martorano, L. G.; Pereira, L. C.; Cezar, E. G. M.; Pereira, I. C. B. 1993. *Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather)*. Belém, SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 53 p. Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=328300&biblioteca=CPAO&busca=autoria:%22PEREIRA,%20I.C.B.%22&qFacets=autoria:%22PEREIRA,%20I.C.B.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>> Acesso em 15 mar. 2019.

Mauad, F. F., Ferreira, L. C., Trindade, T. C. G. 2017. E-book. ISBN 978-85-8023-052-9

Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. Disponível em: <<http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/168>>. Acesso em: 24 de mai. 2019

Metcalf, W.G., 1968. Shallow currents along the northeastern coast of South America. *Journal of Marine Research*, **26**(3):232-243.

Morais, J.O., 1977. O Processo de Sedimentação na Baía de São Marcos. Estado do Maranhão, Brasil. *Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza*, **17**(2):153-164.

Motta M. 2016. Avaliação de Riscos geológicos no planejamento energético eólico no Rio Grande do Norte Brasil. *Mercator, Fortaleza*, **15**(1):117-129. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/mercator/v15n1/1984-2201-mercator-15-01-0117.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

Nascimento, T. C.; Mendonça, A. T. B. B.; Cunha, S. K. 2012. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. *Cad. EBAPE.BR*, **10**(3):630-651. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/cebape/v10n3/10.pdf>> Acesso em: 12 jun. 2019.

Neves, F. N. R, Dos Santos, D. A., Santos, T. A. R. 2009. PDIS-Energia das Marés e Ondas. Disponível em: < https://paginas.fe.up.pt/~ee02035/Energia_Mares.pdf>. Acesso em: 25 de mar. 2019.

Nascimento, R. L. 2017. *Aproveitamento Da Energia Dos Oceanos Para Produção De Eletricidade – Consultoria Legislativa*. Estudo técnico. Disponível em: <http://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32821/aproveitamento_energia_nascimento.pdf?sequence=1>. Acesso em 14 jun. 2019.

Nittrouer, C.A; Curtin, T.B. & Demaster, D. J. 1986. Concentration and flux of suspended sediment on the Amazon continental shelf. *Continental Shelf Research*, **6**(1-2):151-174.

Nittrouer, C.A.; Brunskill, G.J.; Figueiredo, A.G. 1995. Importance of tropical coastal environments. *Geo-Marine Letters*, **15**(3-4):121-126.

Ocean Energy Council. 2019. Tidal Energy. Disponível em: <<http://www.oceanenergycouncil.com/ocean-energy/tidal-energy/>>. Acesso em: 29 mar. 2019.

OECD. 1997. *Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods*. Series F, No. 67, United Nations, New York. Disponível em:< <http://stats.oecd.org/glossary/>> Acesso em 14 Fev. de 2019.

OEE – Ocean Energy Europe. 2015. Draft Ocean Energy Strategic Roadmap, building ocean energy for Europe. Disponível em:<<http://docplayer.net/10638517-Draft-ocean-energy-forum-draft-ocean-energy-strategic-roadmap-building-ocean-energy-for-europe.html>>. Acesso em: 23 jun. 2019.

Oliveira, M. P. 2008. *Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos de um evento de maré meteorológica ocorrido em Tramandaí*. Monografia (Especialização) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17346/000653541.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em:15 jun. 2019.

Pereira L.C.C., Oliveira S.M. de O., Costa R.M., Costa K.G., Vila-Concejo A. 2013a. What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season? *Estuarine Coastal Shelf Science*, **135**:116-127. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771413003399>> Acesso em: 13 mar. 2019.

Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Costa K.G., Vila-Concejo A., Costa R.M. da. 2012b. Oceanographic conditions and human factors on the water quality at an Amazon macrotidal beach. *Journal of Coastal Research*, **28**(6):1627-1637. Disponível em:< <https://www.jcronline.org/doi/pdf/10.2112/JCOASTRES-D-11-00032.1>>. Acesso em: 6 mar. 2019.

Pereira, L.C.C., Silva, N.I.S. da, Costa R.M., Asp N.E., Costa K.G. da, Vila-Concejo A. 2012a. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern Brazil. *Continental Shelf Research*, 43:95-106. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434312001197>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

Pereira, L.C.C., Vila-Concejo, A., Costa, R.M., Short, A. 2014b. Managing physical and anthropogenic hazards on macrotidal Amazon beaches. *Ocean & Coastal Management*, 96: 149-162. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569114001501>>. Acesso em: 3 mar. 2019.

Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Short A.D. 2013b. Influence of subtidal sand banks on tidal modulation of waves and beach morphology in Amazon macrotidal beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 65: 1821-1826 1995. 756-764. 1986. Disponível em:< https://www.researchgate.net/profile/Ana_VilaConcejo/publication/236894075_Influence_of_subtidal_sand_banks_on_tidal_modulation_of_waves_and_beach_morphology_in_Amazon_macrotidal_beaches/links/0deec51a002c0e7e58000000/Influence-of-subtidal-sand-banks-on-tidal-modulation-of-waves-and-beach-morphology-in-Amazon-macrotidal-beaches.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2019.

Pinheiro, R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará (PA)*. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 163p.

Pinto Junior, J. V., Oliveira, C. B. M., Parente, N. V., & Mendez, O. R. S. 2018. Analysis of the potential of wind and ocean energy in the State of Maranhão. In: 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON). Disponível em:< <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8627305>>. Acesso em: 4 mar. 2019.

Pereira W. B. F. 2013. Impactos ambientais em usinas eólicas. In: Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural – X AGRENER GD, Itajubá, Minas Gerais. Disponível em:<<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/ag-267.pdf>>. Acesso em: 10 mar. de 2019

Progênio, M. F., Barbosa, R. N. S., Souza, M. J. R. 2017. A Energia Marémotriz E Sua Perspectiva De Oportunidade No Estado Do Pará. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, **6**(2):245-259. Disponível em:< <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/47765/pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

Ponta, F.L.; Jacovkis, P.M. 2008. Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines. *Renewable Energy*, **33**(4):665-673. Disponível em:<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107001218>>. Acesso em: 28 mai. 2019.

Reis, L. B. 2011. *Geração de Energia Elétrica*. Ed. Ver. e atual. – Barueri, SP, 484p.

REN21. 2012. Renewables 2012: Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Disponível em: <<http://www.ren21.net>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

REN21. 2011. Renewables 2011: Global Status Report. Disponível em: <<http://www.ren21.net>>. Acesso em: 8 mar. 2019.

Ribeiro, H. C. M.; Pierot, R. M.; Corrêa, R. 2012. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Um Estudo de Caso na Empresa de Energia Eólica do Estado do Piauí. *REUNIR–Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, 2(2): 61-75. Disponível em:<<https://pdfs.semanticscholar.org/6de3/b71044f19ea1d6d83a39a3f23dd3d2469e2d.pdf>>. Acesso em: 9 mar. 2019.

Richardson, P.L.; Arnault, S.; Garzoli, S. & Brown, W.S., 1994. North Brazil Current Retroflection Eddies. *Journal of Geophysical Research*, 99(C3): 5081-5093. Disponível em:<<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/93JC03486>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

Schmiegelow, J.M.M. 2004. *O PLANETA AZUL- Uma Introdução às Ciências Marinhas*. Rio de Janeiro, Interciência, 202p.

Schneeberger, M. Sihwa. 2008. Tidal - Turbines and Generators for the World's Largest Tidal Power Plant Bristol, 18 set.

Senhoras, E. M., Fabiano M., Claudete, C. S. M. 2009. *A agenda exploratória de recursos naturais na América do Sul: da empiria à teorização geoestratégica de assimetrias nas relações internacionais*. Selected works. Disponível em: <<http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1122&context=eloi>> Acesso em 14 fev. 2019.

Sesmil, E. L. F. 2013. Energia Maremotriz: Impactos Ambientais e Viabilidade Econômica no Brasil. Monografia, Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em:<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/4529/1/TCC_Energia%20maremotriz%3A%20impactos%20ambientais%20e%20viabilidade%20econ%C3%B4mica%20no%20Brasil>. Acesso em: 23 mai. 2019.

Shanahan, G., 2009. Tidal Range Technologies. *In: 2008 Annual Report. International Energy Agency Implementing Agreement on Ocean Energy Systems (IEA-OES)*. p.26-29.

Simec Atlantis Energy. 2019. Disponível em: <<https://simecatlantis.com/projects/meygen/>>. Acesso em: 13 jun 2019.

Souza Filho, P. W. M. 2000. *Análise Multitemporal e Multisensor (TM Landsat e Radarsat) da Dinâmica de Ambientes Costeiros dominados por macromaré na Planície Costeira Bragantina-Pará*. Tese de Doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 236 p., CD-ROM.

Surfguru. 2019. Central de previsões. Disponível em:<<https://www.surfguru.com.br/previsao>>. Acesso em; 28 abr. 2019.

Tester, W., Drake, E. M., Driscoll, M. J., Golay, W. M., and Peters, W. 2005. *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. Cambridge, MA: MIT Press, 872 p.

Tolmasquim, M. T. 2005. *Geração de Energia Elétrica no Brasil*. Interciência, Rio de Janeiro, 198p.

Tolmasquim, M. T. 2003. *Fontes renováveis de energia no Brasil*. Interciência, Rio de Janeiro, Cinergia, 516p.

Tolmasquim, M.T. 2004. *Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil.: Relume Dumará* - Rio de Janeiro, 486p.

Tolmasquim, M.T. *Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar*. E-book. ISBN 978-85-60025-06-0. Disponível em:<file:///C:/Users/J%20C3%A9ssica%20Arag%20C3%A3o/Downloads/DOC_PARTICIPANTE_EV T_3374_1466012044450_K-Comissao-Permanente-CMMC-20160615REU006_parte6522_RESULTADO_1466012044450%20(16).pdf>. Acesso em 15 fev. 2019.

Trujillo A. P. E., Thurman H. V. 2011. *Essentials of Oceanography*. 10. USA: Prentice Hall. 551 pp.

Washington DC, U.S. 1968. Geological Survey. 16p.

Wave Energy Centre – Centro De Energia Das Ondas. 2004. *Potencial e Estratégia de desenvolvimento da energia das ondas em Portugal*, 70p.

Wind Power Monthly, 2003. *Wind Statistic*. Windpower monthly news magazine. [Knebel]: Windpower Monthly, **19**.

Torres, A. M.; El-Robrini, M. Amapá. 2006. Pará. *In: Dieter Muehe. (org.). Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 40p.