EDSON LUÍS FERNANDES SESMIL

ENERGIA MAREMOTRIZ: IMPACTOS AMBIENTAIS E VIABILIDADE ECONÔMICA NO BRASIL

LAVRAS – MG

2013

EDSON LUÍS FERNANDES SESMIL

ENERGIA MAREMOTRIZ: IMPACTOS AMBIENTAIS E VIABILIDADE ECONÔMICA NO BRASIL

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Fontes Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Dr. Egberto Gomes Franco

LAVRAS – MG

2013

EDSON LUÍS FERNANDES SESMIL

ENERGIA MAREMOTRIZ: IMPACTOS AMBIENTAIS E VIABILIDADE ECONÔMICA NO BRASIL

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu em Fontes Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Fontes Alternativas de Energia.

APROVADA em _____ .

Prof. Dr. Gilmar Tavares

Prof. Dr. Egberto Gomes Franco

Prof. _____

Prof. Dr. Egberto Gomes Franco

Orientador

LAVRAS – MG

2013

RESUMO

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a origem da energia, sua utilização pelo homem ao longo dos séculos, a situação atual de predomínio do uso das fontes de energia fóssil e a necessidade da modificação dessa matriz energética, substituindo ao menos parte dessas fontes não-renováveis por outras consideradas "verdes". A pesquisa aprofundou-se na energia maremotriz, estudando a origem desta fonte e suas formas de geração, quais sejam, pelas correntes marítimas, pelas ondas e pelas marés. Verificou-se que a origem dessa energia encontra-se nas posições relativas da Terra, do Sol e, principalmente da Lua, gerando forças de atração capazes de atrair, além dos oceanos, também os continentes e a atmosfera, alterando inclusive as suas formas de acordo com as fases lunares. Foram pesquisados os principais projetos a nível mundial que utilizam a energia maremotriz para geração de energia elétrica, além do projeto experimental brasileiro do Porto de Pecém, no estado cearense, buscando concluir sobre os impactos reais e os potenciais sobre o meio ambiente de cada um desses projetos. Finalmente, pesquisou-se sobre a viabilidade econômica de projetos que utilizam essa tecnologia para implantação no Brasil. Considerando o pequeno número de projetos já implantados, a falta de dados econômicos desses projetos, a grande diversidade de técnicas utilizadas por eles, e que o potencial maremotriz do litoral brasileiro fica em torno de 19 kW por metro linear de frente de onda, valor inferior à média mundial, concluiu-se que a viabilidade econômica no Brasil só poderá ser verificada analisando todas as características do projeto e do local onde se pretende implantá-lo, e mesmo assim, de forma hipotética.

Palavras-chave: Energia maremotriz. Impactos ambientais. Economia.

ABSTRACT

Was performed a literature search of the source of energy, its use by man over the centuries, the current prevalence of the use of fossil energy sources and the need for modification of this energy matrix, replacing at least some of these non-renewable sources by others considered "green." The research deepened in tidal energy, studying the origin of this source and its forms of generation, namely, by sea currents, waves and tides. It was found that the source of this energy is in the relative positions of the Earth, the Sun and especially the Moon, generating forces of attraction that can attract, beyond the oceans, continents and atmosphere too, including changing their shapes according with the lunar phases. We surveyed major projects worldwide that use tidal power to generate electricity, and experimental design Brazilian Port Pecém in Ceará state, seeking to conclude about the actual and potential impacts on the environment of each projects. Finally, it was researched on the economic viability of projects using this technology for deployment in Brazil. Considering the small number of projects already implemented, the lack of economic data of these projects, the great diversity of techniques used by them, and that the tidal potential of the Brazilian coast is around 19 kW per meter of wave front, below the world average, it was concluded that economic feasibility in Brazil can only be verified by analyzing all the features of the project and where they want to deploy it, and even then, hypothetically.

Keywords: Tidal energy. Environmental impacts. Economics.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**6**
2	**ENERGIA**	**7**
2.1	**Definição de energia**	**7**
2.2	**A utilização da energia pelo homem**	**12**
2.2.1	**As primeiras fontes de energia utilizadas pelo homem**	**13**
2.2.2	**A demanda atual de energia pelo homem e a busca por outras fontes**	**14**
2.3	**Energias renováveis**	**17**
3	**ENERGIA MAREMOTRIZ**	**20**
3.1	**A origem da energia das marés**	**21**
3.1.1	**As correntes marinhas**	**22**
3.1.2	**Marés**	**25**
3.1.3	**Ondas**	**29**
3.2	**Métodos de aproveitamento da energia maremotriz**	**32**
3.3	**Características da energia maremotriz**	**32**
3.3.1	**Potencial energético**	**33**
3.3.2	**Vantagens e Desvantagens**	**34**
4	**PROJETOS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL E NO MUNDO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**	**35**
4.1	**Projeto *La Rance* – França**	**35**
4.2	**Projeto de Coluna de Água Circulante (Açores – Portugal)**	**39**
4.3	**Projeto Pelamis (Varzim – Portugal)**	**43**
4.4	**Projeto Archimedes Wave Swing (Portugal)**	**45**
4.5	**Projeto Mighty Wale (Gokasho – Japão)**	**48**
4.6	**Projeto Wave Dragon (Nissum Bredning - Dinamarca)**	**50**
4.7	**Projeto Brasileiro do Porto de Pecém – Ceará**	**53**
5	**VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL**	**55**
6	**CONCLUSÃO**	**57**
	REFERÊNCIAS	**58**

1 INTRODUÇÃO

Geologicamente, a presença do homem na Terra é recente. Ele surgiu e evoluiu muito rapidamente, adquirindo as características atuais há apenas 200 mil anos. Mas a sua grande capacidade intelectual o fez prosperar e adaptar-se ao ambiente de forma espetacular, subjugando as outras espécies e o próprio ambiente em seu proveito (Arthus-Bertrand).

Segundo Arthus-Bertrand, nos primeiros 180 mil anos de sua presença, o homem era nômade, não alterando decisivamente o ambiente ao seu redor. Porém, tornando-se sedentário, com o desenvolvimento da agricultura e técnicas de criação animal, passou a atuar fortemente nas relações naturais dos ecossistemas, transformando, ainda mais, o meio ao seu redor. Ocupou principalmente as regiões costeiras e margens dos rios e lagos. A agricultura possibilitou a produção excedente e a formação das civilizações, permitindo a grande concentração humana, impossível em épocas anteriores, onde o sustento era obtido da caça, pesca e coleta de alimentos, sistema que exigia grandes espaços territoriais por indivíduo.

Ainda segundo o mesmo autor, diversos grupos humanos passaram a fazer uso dos combustíveis fósseis, possibilitando um excedente agrícola ainda maior, e aglomerações humanas também aumentadas. O modo de vida da maioria dos humanos mudou: buscou-se cada vez mais o conforto e o atendimento de necessidades supérfluas. Porém, esse processo gerou um aumento da concentração de dióxido de carbono e outros resíduos de origem antrópica na atmosfera, além do descarte de grande quantidade de resíduos sólidos, causando um impacto muito negativo sobre o meio ambiente.

A partir de meados do século passado, a sociedade percebeu que essa forma de crescimento era insustentável: os recursos naturais passaram a escassear, as águas superficiais tornaram-se cada vez mais inadequadas ao

consumo humano e os níveis de poluentes no ar atingiram valores prejudiciais à saúde da população em muitas cidades.

Em função desta nova realidade, diversos setores de cunho social e econômico iniciaram uma busca pela implantação de processos denominados "verdes", que tentavam conciliar o desenvolvimento econômico com a manutenção/recuperação dos ecossistemas. Nesse contexto, as fontes de energia limpas e renováveis surgiram como a grande solução para a demanda energética mundial, em substituição à energia de origem fóssil.

2 ENERGIA

A energia é fundamental para a sociedade humana. Nos dias de hoje, é impossível imaginarmos desenvolvimento sem um aporte adequado de energia. Muitos países têm desenvolvido estratégias para garantir quantidades suficientes de energia para a manutenção da sua economia por longo prazo. Um exemplo disso é a China, que tem buscado diversificar a sua matriz energética, evitando com isso o esgotamento prematuro das suas reservas carboníferas, em virtude da grande expansão industrial que experimenta atualmente.

2.1 Definição de energia

Segundo o dicionário online Michaelis, energia tem por significados:

> **1** Capacidade dos corpos para produzir um trabalho ou desenvolver uma força. **2** Modo como se exerce uma força; eficácia. **3** Qualidade do que é enérgico; resolução nos atos; firmeza. **4** Atividade diligente. **5** Força física. **6** Força moral. **7** Vigor. **8** Força em ação. *Antôn* (acepções 3, 5, 6 e 7): *fraqueza. E. absorvida, Eletr:* energia gasta por uma máquina ou mecanismo durante o seu funcionamento. *E. a ponto zero:* energia cinética remanescente numa substância sujeita à temperatura de zero absoluto. *E. atômica, Fís:* energia liberada por alterações no núcleo de um átomo

> (como, *p ex*, pela fissão de um núcleo pesado por um nêutron ou pela fusão de núcleos leves em mais pesados), acompanhada de perda de massa; também chamada *energia nuclear*. *E. calórica:* energia desenvolvida pela ação do calor; energia térmica. *E. cinética, Fís:* energia mecânica de um corpo em movimento. *E. de choque, Fís:* energia cinética de um projétil no instante do impacto. *E. de escape, Astronáut:* energia por unidade-massa que deve ser comunicada ao projétil a fim de lhe ser dada a velocidade de escape. *E. de ligação, Fís:* energia que mantém juntos os nêutrons e prótons de um núcleo atômico. *E. disponível, Fís:* parte da energia de corpos ou sistemas que existe em condições tais que teoricamente pode ser derivado trabalho dela. *E. elétrica:* energia proporcionada pela eletricidade. *E. eólia:* energia derivada dos ventos. *E. específica:* energia interna por unidade de massa de um corpo. *E. estelar:* a) energia interna de uma estrela; b) energia irradiada por uma estrela. *E. fornecida, Eletr:* energia fornecida por uma máquina ou sistema (a um acumulador, *p ex*). *E. latente:* o mesmo que *energia potencial*. *E. livre, Fís:* a) parte da energia de uma porção de matéria que pode ser alterada sem variação de volume; b) potencial termodinâmico interno; c) o mesmo que *energia disponível*. *E. luminosa, Fís:* energia transferida por radiação visível ou na sua forma. *E. mecânica, Fís:* capacidade para produzir trabalho. *E. megacíclica:* energia elétrica de freqüência muito elevada. *E. nuclear:* o mesmo que *energia atômica*. *E. potencial, Fís:* energia de um corpo que depende de sua posição em relação a outros corpos e das forças ativas em relação a um estado normal; também chamada *energia latente*. *E. química:* energia liberada ou formada em uma reação química. *E. radiante:* energia que se propaga em forma de ondas; especificamente, a energia de ondas eletromagnéticas (como as de rádio, raios infravermelhos, luz visível, raios ultravioleta, raios X e raios gama).

No dicionário online Aurélio, encontramos definições similares para a energia. A saber:

> Faculdade que possui um sistema de corpos para fornecer trabalho mecânico ou seu equivalente; força, potência: energia elétrica. / Fig. Firmeza, rigor, determinação: agir com energia. / Vigor, força física ou moral. // Energia cinética, a que possui um corpo em virtude de sua velocidade. // Energia potencial, a que possui um corpo em

> função de sua posição. // Fontes de energia, o carvão e a linhita, a eletricidade, o petróleo e o gás natural, e as que são fornecidas pelas marés e pelo átomo. &151; Além da energia mecânica, que pode apresentar duas formas, a energia potencial (peso erguido, mola distendida, gás comprimido) e a energia cinética (massa em movimento), podem-se mencionar a energia calorífica, a energia elétrica, a energia radiante, a energia química, a energia nuclear. A energia total de um sistema isolado permanece constante, quaisquer que sejam as transformações que ele sofra (conservação da energia). Mas o calor é uma forma degradada de energia.

Percebe-se então que a energia pode ser entendida de duas formas:

a) na forma ativa: como a capacidade que um corpo ou um sistema tenha para realizar e fornecer trabalho ou calor; e

b) na forma passiva: trabalho ou calor recebido por um corpo ou por um sistema.

Por Tardioli (2011) percebemos que as definições anteriores consideram apenas a energia na sua análise macroscópica, onde o que interessa é a energia que é transferida de (ou para) um corpo/sistema. Tardioli (2011) ainda considera que a energia pode ser analisada sob o aspecto microscópica, onde ela pode ser dividida em três formas:

a) Energia potencial intermolecular: relacionada às forças entre as moléculas do corpo/sistema;

b) Energia cinética molecular: associada à velocidade de translação das moléculas; e

c) Energia intramolecular: relacionada com a estrutura molecular e atômica de cada molécula.

Verifica-se que o dicionário Michaelis apresenta algumas das mais variadas formas (ou fontes) de energia. Porém, o dicionário Aurélio também apresenta o calor como “uma forma **degradada** de energia” (grifo do autor). Para compreender essa definição, faz-se necessária uma pesquisa mais profunda

sobre como outros autores entendem essa questão. Para isso, precisamos considerar alguns aspectos de Termodinâmica.

Tardioli (2011) apresenta a primeira e a segunda leis da Termodinâmica. Pela primeira lei, a energia pode assumir várias formas (como interna, cinética, calor e trabalho), mas a quantidade total de energia de um sistema fechado é constante. Caso a energia de uma forma desapareça, ela reaparecerá simultaneamente em outra(s) forma(s). Essa lei é conhecida como a lei da conservação da energia.

Ghirardi também trata da lei da conservação da energia, onde afirma que "é **incorreto** falar em **consumo de energia**. Energia pode ser usada, mas nunca consumida". E continua ainda explicando que "a perda que ocorre numa transformação refere-se à conversão de energia de uma forma 'mais útil' para outras 'menos úteis' ".

O grau de conversibilidade da energia em trabalho útil é às vezes denominado **disponibilidade**. Nele, temos que as formas de energia podem ser divididas em **nobres** e **pobres**. As formas nobres, segundo Ghirardi, são aquelas com alta disponibilidade, ou seja, que podem ser convertidas em trabalho útil com grande facilidade. Já as formas pobres não apresentam essa característica. Quando uma forma nobre de energia transforma-se em uma forma pobre, considera-se que a energia sofreu **degradação**.

Sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, Tardioli (2011) apresenta alguns enunciados, concluindo que é possível gerar-se trabalho a partir de calor, mas sempre uma parte desse calor será "perdida". Ou seja, é impossível que uma determinada quantidade de calor seja convertida totalmente em trabalho.

Ghirardi analisa a segunda lei e insere o conceito de **entropia**:

> Todos os processos, naturais ou fabricados, ocorrem de forma tal que a disponibilidade da energia diminui. O que se consome ao usarmos energia não é a energia em si, mas sua disponibilidade para se converter em trabalho útil. (...) A relação formal entre ordem e disponibilidade de energia é

> estabelecida em termodinâmica através do conceito de **entropia.** Entropia é uma medida de desordem e que pode também medir a indisponibilidade de energia. Pode-se formular a segunda lei como: todos os processos físicos acontecem de forma que a entropia total do universo aumenta. (...) Decorre das leis da termodinâmica que toda a energia usada na terra, qualquer que seja sua origem, terminará **degradada** em calor (grifo do autor).

Em Odum et al. (1987), temos que, pela Segunda Lei da Termodinâmica, "a disponibilidade para que a energia realize algum trabalho se esgota devido à sua tendência à dispersão (se degrada)". Consta ainda que a energia também se dispersa dos depósitos de energia.

Odum et al. (1987) também inserem um novo conceito que relaciona energias de qualidades diferentes: a **Emergia Solar**. Podemos entender emergia como uma unidade de medida da energia necessária para produzir um determinado produto final. Quanto mais industrializado for esse produto, maior será a emergia contida nele. Além disso, quanto mais energia for gasta para produzi-lo, também maior emergia ele conterá. Em Odum et al. (1987), encontramos:

> Toma-se muita energia de baixa qualidade (solar) para fazer energia de alta qualidade (combustível fóssil). Portanto, para compararmos diferentes formas de energia, deve-se fazer um cálculo. Este é geralmente realizado usando os joules de energia solar como ponto de partida para determinar quantos joules de energia solar é tomado para produzir outra fonte de energia. Usamos a palavra **eMergia** para expressar a quantidade de energia solar utilizada para fazer um produto. Ela é expressa em **eMjoules**. Por exemplo, são tomados 40.000 joules de luz solar para produzir 1 joule de carvão. A eMergia de um joule de carvão é 40.000 eMjoules solar.

Odum et al. (1987) complementam com o conceito de **Razão de EMergia Líquida**, que é a soma das energias obtidas por uma fonte menos o somatório das energias gastas para gerar essa energia. Esse conceito é importante, pois os autores argumentam que existem **"fontes"** de energia que na

realidade são **consumidores** de energia, pois apresentam Razão de EMergia Líquida negativas. Ou seja, a energia só é gerada por essa "fonte", caso ela seja subsidiada por outra fonte.

Em Mourão (2002), temos uma análise macroscópica do sistema Planeta-Terra e sua conversão de energia solar, considerada pelo autor como de alta qualidade, em radiação infravermelha, essa segunda forma de energia tida como de baixíssima qualidade:

> A Terra absorve 120.000 TW de radiação solar e emite a mesma quantidade de radiação térmica. Embora a quantidade seja a mesma, a qualidade se deteriorou. Como se sabe, a entropia da radiação infravermelha longínqua da Terra é 20 vezes maior que a entropia da radiação solar.(...) Resumindo, o planeta Terra transforma 120.000 TW da radiação solar de alta qualidade em calor e emite radiação infravermelha de muito baixa qualidade. A Terra é um gigantesco transformador e danificador de energia.

2.2 A utilização da energia pelo homem

Hinrichs e Kleinbach (2003) apresentam claramente a relação entre a sociedade e a energia:

> A energia permeia todos os setores da sociedade – economia, trabalho, ambiente, relações internacionais -, assim como as nossas próprias vidas pessoais – moradia, alimentação, transporte, lazer e muito mais. O uso dos recursos energéticos nos libertou de muitos trabalhos penosos e tornou nossos esforços mais produtivos. Os seres humanos já dependeram de sua força muscular para gerar a energia necessária para a realização de seus trabalhos. Hoje, menos de 1% do trabalho feito nos países industrializados depende da força muscular como fonte de energia.

Percebe-se que a energia, especialmente a elétrica, facilita enormemente o dia-a-dia das pessoas, no conforto de suas casas, especialmente nos países tropicais como o Brasil. Nos países de clima mais frio, percebe-se um aporte expressivo da energia fóssil no aquecimento residencial. No nível industrial,

temos grande ênfase nas energias elétrica, térmica e fóssil. Enquanto isso, vemos que a agricultura tem na energia fóssil sua principal fonte energética.

2.2.1 As primeiras fontes de energia utilizadas pelo homem

Conforme Palz (1995), apenas duzentos anos atrás, o homem utilizava recursos quase que exclusivamente derivados do sol: a madeira era de uso geral para aquecimento, e os animais eram usados para o transporte. A madeira é proporcionada diretamente pela fotossíntese, enquanto que os animais também são resultado da fotossíntese, só que indiretamente. O uso de combustíveis fósseis até o século XVIII era insignificante, apesar de serem conhecidos desde a antiguidade: os babilônios conheciam e faziam uso do petróleo para iluminação e construção, na forma de asfalto. O carvão era conhecido e utilizado há muitos séculos, para a produção de ferro fundido, vidro e tijolos.

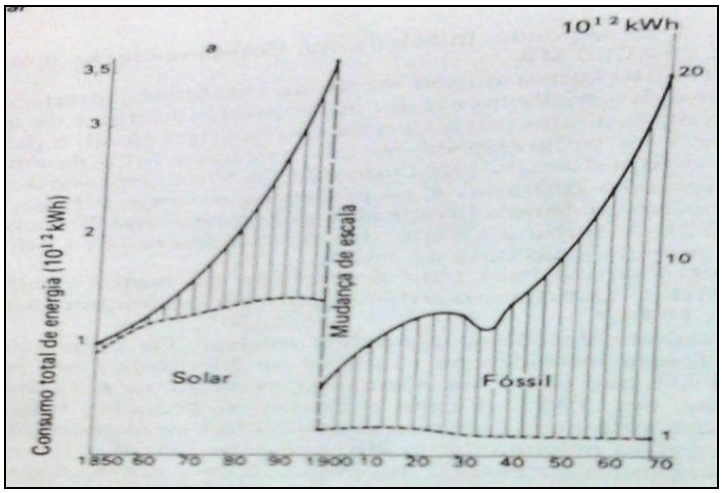
Palz (1995) continua, explanando que a substituição da energia solar pela fóssil ocorreu de forma maciça no século XIX, tendo como marco a descoberta de petróleo acidentalmente, durante uma perfuração no estado americano da Pennsylvania, em 12 de agosto de 1859. O grande motivo da modificação da matriz energética mundial para os combustíveis fósseis foi o desenvolvimento de motores a combustão interna, para substituir a mão-de-obra humana.

Para termos uma noção da diferença entre a capacidade de trabalho de um homem e dos combustíveis fósseis empregados no ciclo econômico, basta citar que um litro de petróleo, no setor agrícola, realiza o mesmo trabalho que 100 homens em 24 horas (Arthus-Bertrand).

O gráfico apresentado na Figura 1 permite identificar a evolução do consumo energético estadunidense no período entre 1850 e 1970. Percebe-se

claramente o aumento exponencial do uso fóssil, enquanto o consumo de origem solar permanece em torno de 1 x 10^{12} kWh durante todo o intervalo de tempo.

Figura 1 – Variação do consumo de energia solar
e fóssil nos EUA de 1850 a 1970



Fonte: Palz, 1995.

2.2.2 A demanda atual de energia pelo homem e a busca por outras fontes

Em Biodiesel.com, temos um panorama da evolução das reservas de petróleo no mundo, a sua concentração sob o domínio dos países da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e a necessidade da diversificação da matriz energética global:

> Antes de sua exploração, estima-se que existiam reservas de 2,3 trilhões de barris de petróleo. As atuais reservas comprovadas do mundo somam 1,137 trilhões de barris, 78% dos quais no subsolo dos países do cartel da OPEP. Essas reservas permitem suprir a demanda mundial por 40 anos, mantido o atual nível de consumo. (...) Cotejando-se com o crescimento da demanda, variável entre 1,5 e 1,9% a. a., dependendo do cenário adotado, resulta que, abstraindo-se as alterações na matriz energética, o ocaso da era do petróleo está contratado para meados do presente século.

> Existe uma enorme dependência energética do mundo, tanto em petróleo quanto em gás, em relação a uma concentração geográfica (Oriente Médio) e em relação ao cartel dos países exportadores (OPEP), que dominam 78% das reservas mundiais. Este fato, aliado à finitude das reservas e à concentração da matriz em petróleo, carvão e gás, impõe a busca de alternativas rumo a uma transição segura para um ambiente de oferta energética sustentável.

A *International Energy Agency* (IEA) lançou, em 12 de novembro de 2012, a nova versão do *World Economic Outlook*, relatório anual que apresenta o painel mundial da área energética. Pelo relatório, apesar do cenário de crise internacional, a China continuará sendo o maior consumidor mundial, usando 70% a mais de energia do que os Estados Unidos, país segundo colocado mundial. Conforme o documento, a procura mundial por energia primária registrou um incremento de 5% em 2010, o que provoca um aumento nas emissões de dióxido de carbono. Observa ainda que as taxas de crescimento do consumo de energia na Índia, na Indonésia, no Brasil e no Oriente Médio aumentaram ainda mais que as taxas chinesas. A energia global crescerá um terço entre 2010 e 2035, sendo a China e a Índia responsáveis por metade disso.

A agência aponta que a era dos combustíveis fósseis está longe de ter acabado, mas a sua predominância tende a declinar. O anuário aponta que enquanto os subsídios destinados a energias renováveis foram de US$ 66 milhões em 2010, os destinados a combustíveis fosseis foram US$ 409 milhões. Apesar disso, a percentagem de combustíveis fósseis no consumo global de energia primária registrou uma ligeira queda. O estudo sugere que o gás natural será o único combustível fóssil cuja percentagem aumentará, no combinado energético global, até 2035. No setor de eletricidade, as tecnologias das energias renováveis, lideradas pelas energias hidroelétrica e eólica, constituem metade da nova capacidade instalada para responder à procura crescente. Os investimentos em geração de energia que terão maior crescimento serão destinados à solar e

eólica. Os 60% dos investimentos nessa área corresponderão a 30% da geração adicional. Apesar do custo elevado, a agência acredita que os benefícios serão duradouros em matéria de segurança energética e proteção do meio ambiente.

Quanto ao Brasil, a IEA considera que houve avanço significativo no conhecimento e no desenvolvimento em diferentes campos de tecnologia. No entanto, pondera que a demanda primária de energia crescerá 78% entre 2009 e 2035, e será o segundo crescimento mais rápido em nível mundial, sendo superado apenas pela Índia.

Outro órgão internacional que analisa a questão energética mundial é o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), entidade da Organização das Nações Unidas (ONU), com foco nas energias renováveis. Em seu relatório do ano de 2012, o IPCC observa que o aumento substancial das fontes renováveis é tecnicamente e potencialmente muito desafiador, sendo que quase a metade dos investimentos atuais em geração de eletricidade já é voltada para as fontes renováveis, e que as tecnologias renováveis podem prover 80% das necessidades de energia do planeta até a metade do século XXI.

Ainda de acordo com o IPCC, atualmente, as tecnologias renováveis suprem 12,9% da demanda global de energia. No entanto, segundo a entidade, a maior fonte, responsável por cerca de metade do total global, ainda é a queima de madeira para aquecimento e preparo de alimentos nos países em desenvolvimento, não sendo verdadeiramente renovável, já que nem sempre são plantadas novas árvores para compensar as que são derrubadas.

O IPCC aponta que a tecnologia que cresce mais rapidamente é a energia gerada por painéis solares conectados, que teve um aumento de 53% na capacidade instalada de 2009. No entanto, indica que esta tecnologia continuará sendo uma das mais caras pelos próximos anos. Das várias tecnologias disponíveis, a bioenergia é considerada a de maior potencial de crescimento em longo prazo, seguida pela energia solar e pela energia eólica. O relatório afirma

ainda que os governos terão de acelerar suas políticas para estimular o investimento em fontes renováveis se quiserem que esta indústria cresça substancialmente. O estudo também conclui que há mais que o necessário para atingir as necessidades de energia atuais e futuras do planeta. O relatório claramente demonstra que as tecnologias renováveis podem suprir o mundo com mais energia do que ele pode vir a necessitar e a um custo altamente competitivo.

2.3 Energias renováveis

Odum et al. (1987) analisam as principais fontes de energia renováveis, suas características e a eMergia envolvida, da seguinte forma:

a) energia solar: argumentam que diversos processos naturais na biosfera concentram energia solar em energias de alta qualidade a custos consideráveis. Como exemplo, Os autores esclarecem que a eficiência da conversão da luz solar em madeira é de 0,1%, podendo ser esta a mais alta que se pode obter, para converter energia solar em matéria orgânica sem usar bens e serviços baseados em outras fontes de energia. A energia solar é citada como uma fonte viável para muitos países: na produção vegetal, aquecimento e geração de ventos. Mas a capacidade de operar diretamente a economia com a tecnologia solar é muito limitada;

b) células fotovoltaicas: são comparadas aos cloroplastos verdes das espécies autotróficas, que realizam a fotossíntese. Porém, a eMergia dessa fonte é muito variável, pois depende fortemente da análise da tecnologia utilizada para a fabricação dos componentes, da vida útil desses componentes, entre outras particularidades;

c) biomassa: utilizar estes produtos para gerar combustíveis líquidos, gás ou eletricidade é viável, mas como requer muita concentração, são necessárias grandes extensões de terra. Mas observam que a eMergia líquida de produção de biomassa depende da intensidade com que ela é administrada. A eMergia líquida diminui quando aumenta a intensidade de manipulação. Os autores expõem que os subprodutos madeireiros e os resíduos de agricultura podem ser queimados para produzir energia. Mas outros materiais orgânicos cultivados especificamente para a produção de energia podem ter a sua eMergia líquida negativa, se forem considerados todos os insumos necessários para a sua produção, como fabricação de equipamentos de manejo, transporte e beneficiamento, assim como combustível e eletricidade. Logo, a energia pode ser produzida por essas culturas, mas com subsídio de outras fontes energéticas;

d) turfa: é a decomposição parcial da matéria orgânica. Possui energia concentrada, em valores superiores aos das plantas verdes, e inferiores aos da madeira. Pode render eMergia líquida positiva, desde que seja manipulada por métodos naturais de secagem. Os autores recomendam que seu emprego seja cuidadosamente analisado, pois trata-se de um material encontrado normalmente em pântanos e várzeas, onde a sua retirada pode gerar desequilíbrio e a perda de outros produtos e serviços ambientais valiosos;

e) hidroeletricidade: obtida com o represamento de cursos d'água e a conversão de sua energia potencial. É muito favorecido, sob o ponto de vista energético, pelo ciclo natural da água. Desde que sejam utilizadas áreas de relevo e pluviosidade favoráveis, pode, segundo os autores, apresentar eMergia próxima a 10;

f) ventos: utiliza a energia cinética dos ventos para a sua conversão em energia útil. Os autores observam que em áreas com ventos menores que 15 km/h, existe um baixo rendimento líquido de eMergia. Além disso, para ser energeticamente viável, é fundamental a utilização de materiais de baixa eMergia, ou seja, baixo custo energético de produção;

g) geotermia: baseia-se no uso da energia calorífica da Terra para a sua transformação em energia útil. Os autores selecionam as regiões próximas a vulcões como locais adequados a esse tipo de geração, com eMergia líquida útil, como na Califórnia, Nova Zelândia e Islândia;

h) conversão termoelétrica dos oceanos (OTEC): consiste na exploração do gradiente entre a superfície morna da água marítima e as águas profundas geladas, abaixo de mil metros de profundidade. Odum et al. (1987) não consideram que esta fonte tenha eMergia líquida adequada para a sua exploração;

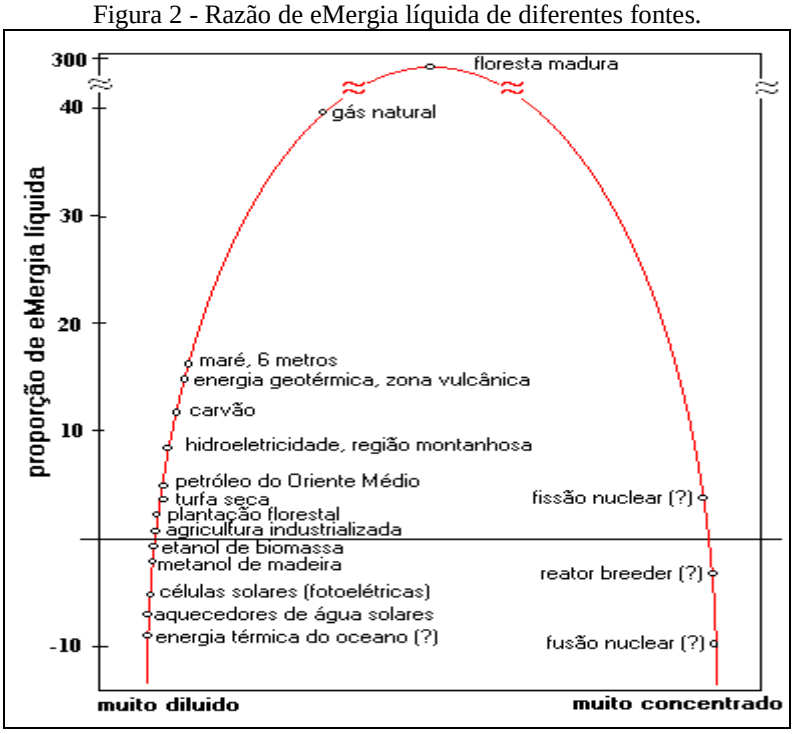
i) ondas: as ondas realizam grande trabalho sobre as costas, formando praias e sedimentando rochas. Porém, os autores argumentam que é de difícil uso para operações industriais, em virtude da dispersão e da sua grande variabilidade de um dia para o outro;

j) marés: baseia-se na ascensão e declínio do nível de água devido ao fenômeno das marés. Citam que existem casos de exploração com eMergia líquida positiva em algumas partes do mundo, especialmente onde temos marés de 6 metros ou mais.

Odum et al. (1987) também comparam as eMergias das fontes renováveis, conforme o gráfico da Figura 2. Os autores explicam que as fontes que possuem rendimento positivo de eMergia líquida estão acima da linha horizontal. Uma das maiores fontes de energia são as florestas nativas, pois não

necessitam de muita retroalimentação econômica para serem utilizadas. Fontes abaixo da linha e do lado esquerdo são aquelas que, por serem tão diluídas, requerem mais eMergia para serem concentradas do que rendem. As fontes também abaixo da linha horizontal, mas do lado direito, as nucleares, são um caso à parte: são tão concentradas e quentes que suas energias não são facilmente utilizáveis na Terra. Muita da sua energia precisa ser utilizada no esfriamento e redução de sua concentração a níveis mais aceitáveis.

Figura 2 - Razão de eMergia líquida de diferentes fontes.



Fonte: Odum et al. (1987).

3 ENERGIA MAREMOTRIZ

Conforme Planeta COPPE – UFRJ, a energia contida nas ondas do mar é atualmente estimada em cerca de 10 Terawatts, equivalente a todo o consumo de

eletricidade do planeta. Considerando as restrições existentes no uso de grandes áreas dos oceanos, devido às rotas de navegação, regiões turísticas e de lazer, assim como pelos decréscimos associados ao rendimento dos conversores, considera-se como realista um aproveitamento da ordem de 10%, o que representa uma possibilidade de incremento de cerca de 1000 Gigawatts na matriz energética mundial.

3.1 A origem da energia do mar

Segundo Leinz & Amaral (1998), as águas oceânicas podem ser divididas didaticamente em três regiões, ou camadas, horizontais:

a) região nerítica: com profundidade de até 200 metros. Apresenta íntima relação com as condições continentais. Tem grande importância nos estudos relacionados com o meio marítimo, pois os sedimentos marinhos passados, em sua grande maioria, foram formados nessa região, inclusive os petrolíferos;
b) região batial: fica abaixo da região nerítica, até 1000 metros de profundidade. Apresenta vida bem reduzida, concentrada nas suas maiores profundidades; e
c) região abissal: localiza-se abaixo da região batial, apresentando formas de vida pouco conhecidas. Também é pouco habitada, especialmente pelas condições extremas de escuridão e pressão. Os únicos alimentos são os restos mortais vindos das camadas superiores.

Segundo Turekian (1988), a dinâmica dos oceanos engloba três tipos de movimentos: a **circulação oceânica**, as **marés** e as **ondas**. Já Engel (1972) e Leinz & Amaral (1998) denominam a circulação oceânica como **correntes marinhas**. Essa denominação foi escolhido por este autor.

3.1.1 As correntes marinhas

A circulação oceânica é explicada por Turekian (1988) como se segue:

> Fundamentalmente, o calor do sol é o responsável pela circulação dos oceanos. Os oceanos circulam respondendo a duas diferentes expressões da interação da energia solar com a superfície da Terra: (1) Os ventos, gerados na atmosfera por aquecimento diferencial, combinam-se com as camadas superficiais dos oceanos para produzir um sistema de circulação dirigido. (2) A evaporação e refrigeração produzem variações na densidade causando reajustamentos no campo gravitacional da Terra pelo movimento das massas de água; este movimento dirige a circulação oceânica de profundidade e é chamado sistema de circulação.

Turekian (1988) divide a circulação oceânica em dois sistemas:

a) superficial (dirigido pelo vento): a circulação atmosférica é resultado do movimento do ar combinado com a rotação do planeta. Em cada lado da linha do Equador, os ventos movimentam-se em geral de leste para oeste, e são denominados **ventos alísios**. Próximos dos paralelos de 40º de latitude, os ventos mudam de direção, passando a soprar de oeste para leste, os chamados **ventos-oeste predominantes**. A rotação da Terra tem influência direta sobre a circulação oceânica superficial, mas a ação indireta dos ventos é o maior responsável pelos padrões de correntes superficiais; e
b) circulação em profundidade (termossalina): ocorre em função da diferença de densidade entre as camadas do oceano, resultado das taxas de evaporação diferentes nas diversas partes do globo, além das diferenças de temperaturas entre as massas de água oceânicas, as quais geram verdadeiros “rios” dentro dos próprios oceanos.

Leinz & Amaral (1998) também tratam das correntes marinhas, onde encontramos:

> Imensos volumes de água acham-se em circulação, sendo que a conhecida *Gulfstream* movimenta em certos trechos muito mais água do que todos os rios do mundo reunidos. Sua velocidade média é de 5 km/h. A quantidade de água é tão grande que o nível do mar na costa ocidental da Flórida se acha 18 cm mais elevado em relação à costa voltada para o mar aberto.

Em Engel (1972), temos que a *Gulf Stream* (Corrente do Golfo) foi documentada pela primeira vez pelo estadunidense Benjamin Franklin, no século XVIII, conforme apresentado na Figura 3.

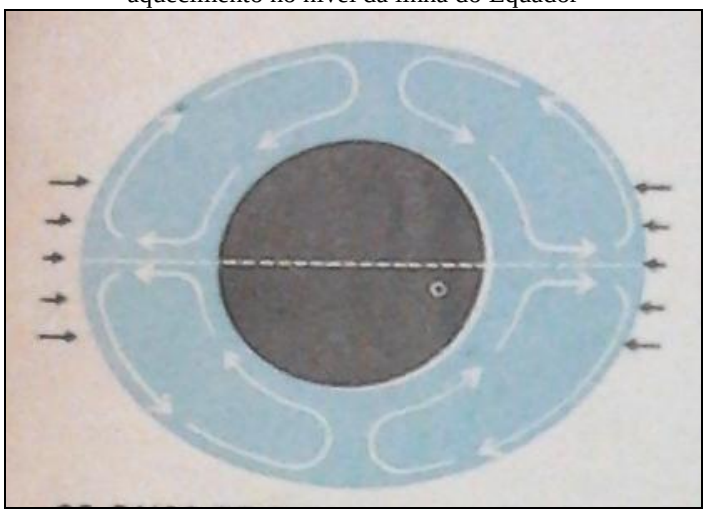
Figura 3 – Mapa de Benjamin Franklin, do século XVIII, retratando a Corrente do Golfo

Fonte: Engel (1972).

Ainda em Engel (1972), encontramos que a circulação das águas superficiais e profundas é o resultado do aquecimento pela radiação solar de forma diferenciada nas diversas latitudes, além do **Efeito de Coriolis**, fruto da

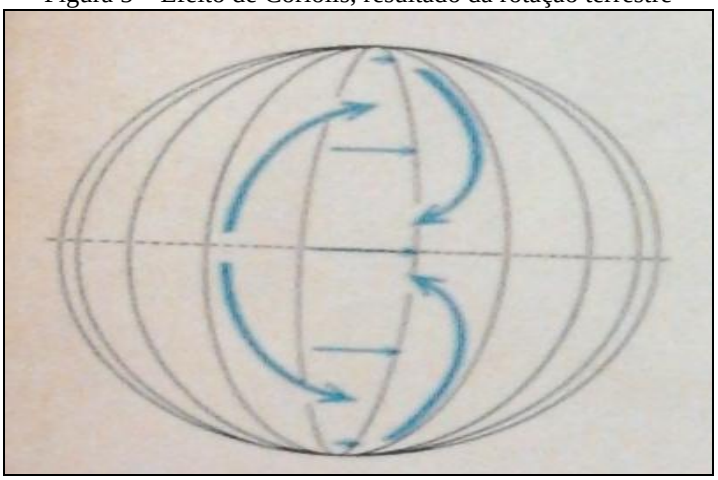
rotação do planeta em torno de si mesmo. As figuras 4 e 5 evidenciam esses fenômenos.

Figura 4 – Circulação das massas de água pelo aquecimento no nível da linha do Equador



Fonte: Engel (1972).

Figura 5 – Efeito de Coriolis, resultado da rotação terrestre



Fonte: Engel (1972).

O esquema das correntes marítimas pode ser verificado na Figura 6.

Figura 6 – Correntes marinhas

Fonte: Leinz & Amaral (1995).

3.1.2 Marés

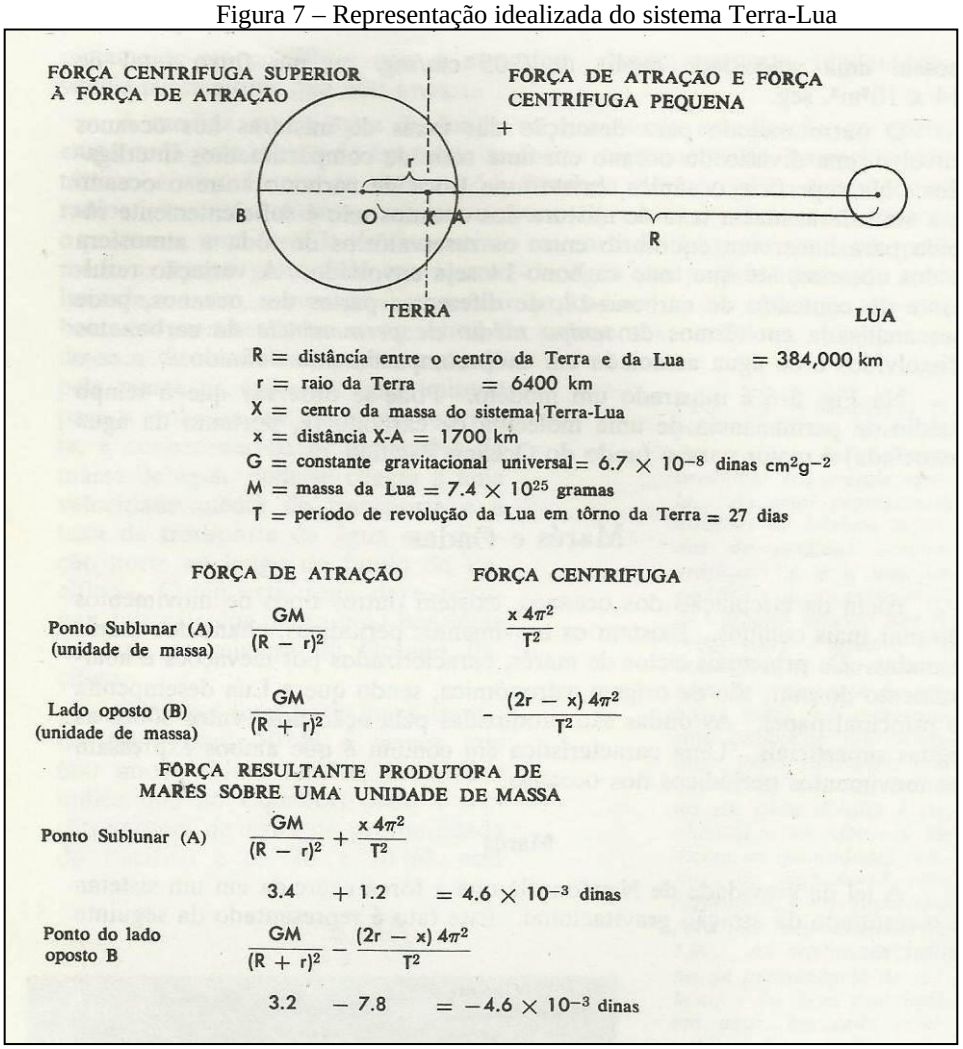
Em Turekian (1988) temos uma explicação sobre a origem das forças que geram as marés:

> A lei da gravidade de Newton diz a força exercida em um sistema é o resultado da atração gravitacional. Este fato é representado da seguinte maneira:
> $F = (G.m_1.m_2) / r^2$; onde:
> F é a força;
> G é a constante de gravitação universal;
> m_1 e m_2 são as massas dos dois corpos; e
> r é a distância entre os centros das massas dos dois corpos.

Em Turekian (1988) ainda temos que a lei de Newton também diz que dois corpos irão girar em torno de um centro comum de gravidade, se suas forças centrífugas se equilibrarem com a força de atração. Apesar de termos a

impressão que só a lua gira em torno da Terra, na realidade existe um movimento quase invisível da Terra em torno da Lua. O eixo de rotação desse sistema é de 1.700 km abaixo da superfície terrestre. As forças envolvidas neste sistema estão apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Representação idealizada do sistema Terra-Lua



Fonte: Turekian (1988).

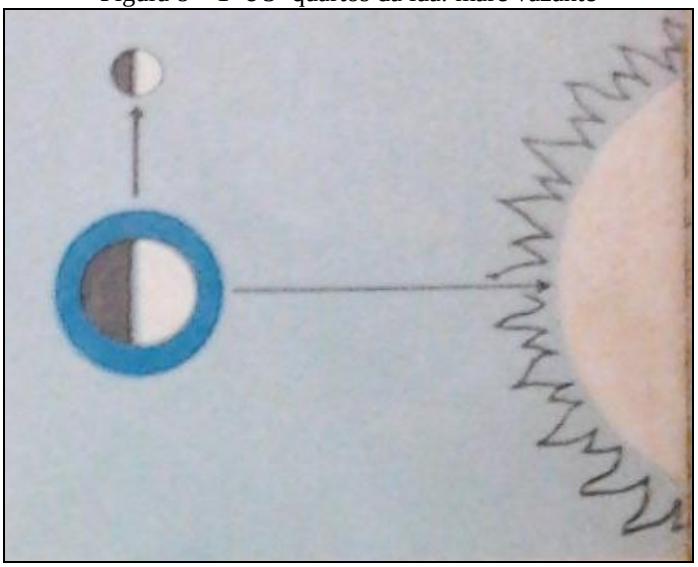
Turekian (1988) ainda explica que, pelo modelo exposto na Figura 7, os oceanos tendem a se mover em direção ao ponto sublunar e ao ponto diametralmente oposto. Um determinado ponto da superfície da Terra irá sofrer, no período de 24 horas, duas marés altas e duas marés baixas. Este fato é denominado ciclo semi-diurno da maré. Temos que o dia solar é de 24 horas, enquanto que para a Lua retornar ao mesmo ponto na Terra leva 24 horas e 50 minutos, devido à revolução da Lua em torno da Terra. Logo, o início de um determinado ciclo para um ponto terrestre específico, se dará 50 minutos após o fim do dia anterior.

Conforme Engel (1972), o Sol também exerce influencia sobre as marés, mas com aproximadamente metade da intensidade do efeito lunar, em função de sua grande distância. Dependendo da posição relativa desses três corpos celestes, o efeito sobre as marés pode ser aumentado ou diminuído:

a) quando a Lua, o Sol e a Terra ficam diretamente em linha, como acontece nas luas nova e cheia, as forças de atração da Lua e do Sol se somam e temos as ressacas de grande violência; e
b) quando os três corpos ficam em ângulos retos em relação uns aos outros, como no primeiro e no terceiro quarto da lua, as forças de atração da Lua e do Sol se anulam e temos as marés vazantes, também chamadas de marés mortas.

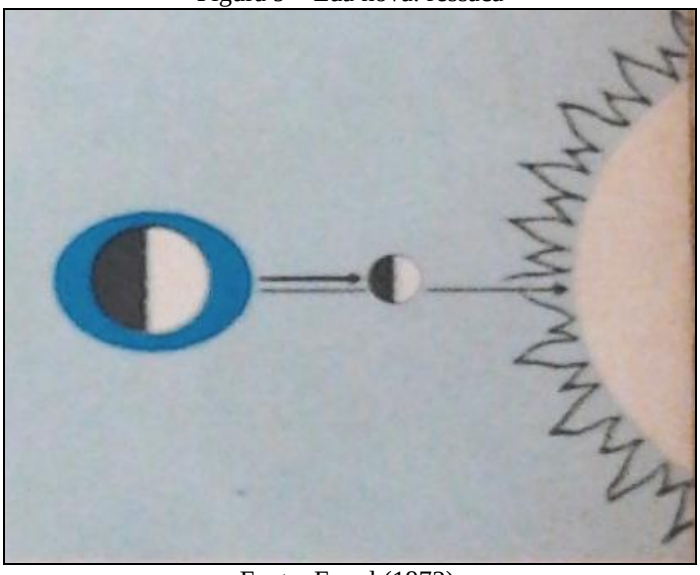
Engel (1972) ainda argumenta que as marés movimentam não só os oceanos, mas também a terra e o ar: exemplifica que quando a maré sobe 3 metros, os continentes se elevam em 15 centímetros, e a atmosfera que envolve a Terra dilata-se em direção à Lua e ao Sol numa distância de muitos quilômetros. As figuras 8 e 9 apresentam essas situações.

Figura 8 – 1º e 3º quartos da lua: maré vazante



Fonte: Engel (1972).

Figura 9 – Lua nova: ressaca



Fonte: Engel (1972).

Em Engel (1972) consta também que regiões que reúnam todas as características ideais para a grande variação da maré podem conviver com

proporções fantásticas desse fenômeno marítimo: a baía de Fundy, em New Brunswick, no Canadá, tem uma diferença de maré em trono de 12 metros, onde a água marítima invade a baía e seus estreitos braços. A cada maré, a baía recebe mais de 104 bilhões de metros cúbicas de água.

Em Leinz & Amaral (1998) temos que, se a maré for auxiliada por fortes ventos, capazes de empurrar grandes massas de água, a soma desses fatores pode gerar um verdadeiro represamento: no Canal da Mancha, a amplitude da maré pode atingir 10 metros, enquanto que esses autores também citam a baía de Fundy, registrando que, na maré cheia, a massa de água chega a deslocar-se a 15 km/h.

3.1.3 Ondas

Em Leinz & Amaral (1998) consta que as ondas são o resultado da força de atrito do vento em contato com a superfície do mar, e essas podem chegar a 30 metros de altura, dependendo da intensidade dos ventos e da profundidade da água. Na obra, consta ainda que quando a profundidade passa a ser menor que o comprimento de onda, ou seja, que a distância entre duas cristas, esse comprimento vai gradativamente aumentando nas mesmas proporções, aumentando o atrito com o fundo, diminuindo a velocidade. Então, a onda se curva até cair, arrebentando-se.

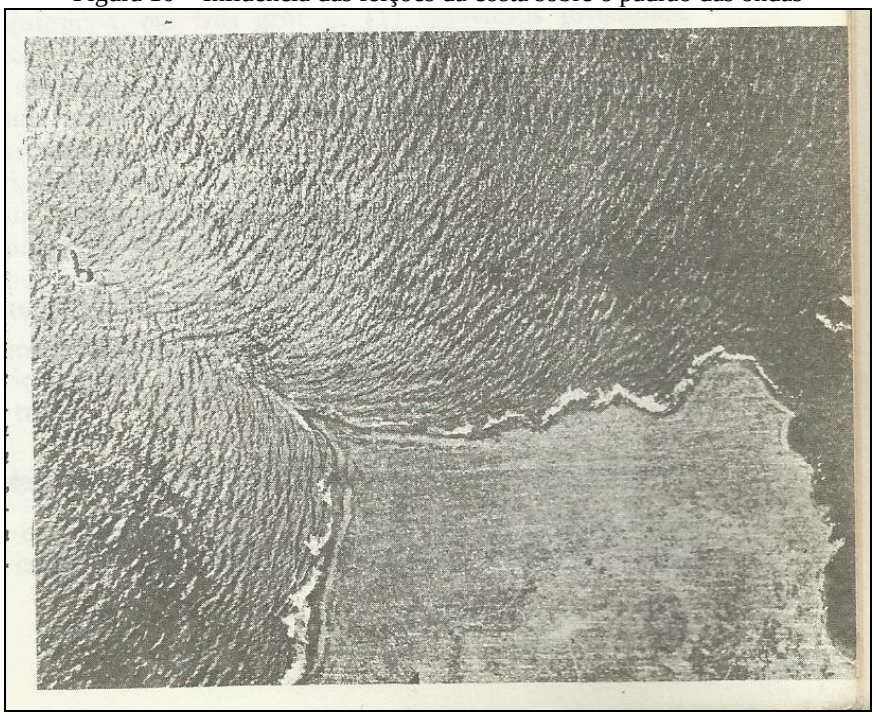
Turekian (1988) descreve como as ondas, ao aproximar-se da costa, sofrem a sua influência, alterando-se:

> À medida que as ondas se aproximam da linha costeira com as suas baías e promontórios, a frente de onda (ou a linha imaginária que delimita a tendência linear principal das ondas modificadas) adota um novo padrão, reproduzindo as feições submersas da costa. Este desvio que sofre a onda é denominado refração. É causada pelo movimento diferencial em uma onda, isto é, a crista de uma onda deslocar-se mais

> lentamente quanto mais rasa for a água, fazendo com que a frente de onda se desvie.

Essa influência descrita por Turekian (1988) pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 – Influência das feições da costa sobre o padrão das ondas



Fonte: Turekian (1988).

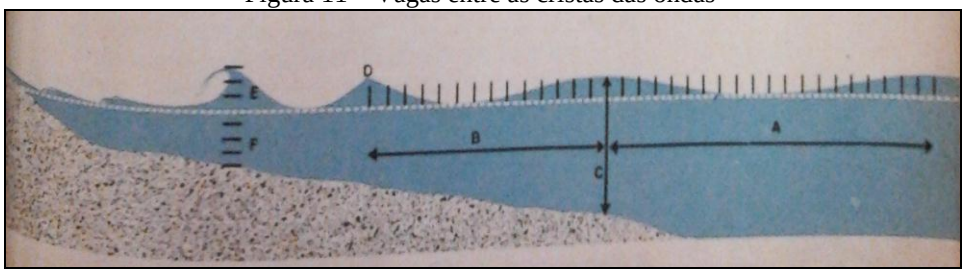
Engel (1972) explica mais detalhadamente a influência que o leito marinho exerce sobre as feições das ondas, expondo que quando a profundidade se torna igual à metade da amplitude das ondas, essas têm o seu comportamento alterado. Esse momento é chamado, pelo autor, de "quando a onda toca o fundo", da seguinte maneira:

> Quando a onda toca o fundo, sua velocidade diminui. Outras cristas se formam atrás dela. Abruptamente, as trajetórias circulares das partículas de água se apertam umas contra as

> outras. A parte superior da onda, avançando mais depressa do que a da frente, alcança-a e a obriga a elevar-se formando um bico. Esse bico, avançando ainda velozmente, tende a inclinar-se para frente em uma espécie de franja. Finalmente, a onda se inclina demais para frente e com ruidoso espadanar de água, sua crista de quebra desfeita em espuma. Há uma regra fácil para calcular o momento em que uma onda se quebra: é quando a proporção de sua altura em relação à profundidade da água for de cerca de 3 para 4. Isto é, uma onda de 1,50 metros de altura quebra-se, em geral, a uma profundidade de 2 metros.

Podemos ver na Figura 11 a influência da profundidade do leito marinho, conforme Engel (1972).

Figura 11 – Vagas entre as cristas das ondas



Fonte: Engel (1972).

Engel (1972) também trata sobre as vagas, espaços existentes entre as cristas. O autor informa que uma brisa de 800 m/h pode desencadear uma murmurante série de ondinhas, enquanto que uma brisa de 6 km/h pode provocar verdadeiras vagas. Porém, salienta que as ondas não podem atingir uma altura maior que a de um sétimo da distância entre duas cristas sem quebrar-se. Comenta ainda que os navegantes, baseados na prática, sabem que a altura de uma onda, em centímetros, habitualmente, não ultrapassa de dez vezes a velocidade do vento, em km/h. Por exemplo, um vento de 10 km/h pode gerar, normalmente, ondas de 100 centímetros, no máximo.

3.2 Métodos de aproveitamento da energia maremotriz

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), energia maremotriz é:

> uma forma de produção de energia proveniente da movimentação das águas dos oceanos, por meio da utilização da energia contida no movimento de massas de água devido às marés. Dois tipos de energia maremotriz podem ser obtidas: energia cinética das correntes devido às marés; e energia potencial pela diferença de altura entre as marés alta e baixa.

Para efeito de diferenciação, neste trabalho vamos denominar a cinética das marés citada pelo MMA como **ondas**, enquanto que a diferença de altura entre as marés alta e baixa também citada pelo MMA simplesmente como **marés**. Porém, ambas serão entendidas e pesquisadas como possíveis fontes de energia maremotriz.

Ainda pelo Ministério do Meio Ambiente, temos que a primeira usina maremotriz do mundo foi construída na França, mais especificamente em La Rance, no ano de 1966. Atualmente, outros países já utilizam essa forma de geração de energia, como o Japão, a Inglaterra e os Estados Unidos (no Havaí). Porém, há projetos em construção ou em fase de planejamento no Canadá, no México, no Reino Unido, na Argentina, na Austrália, na Índia, na Coréia e na Rússia.

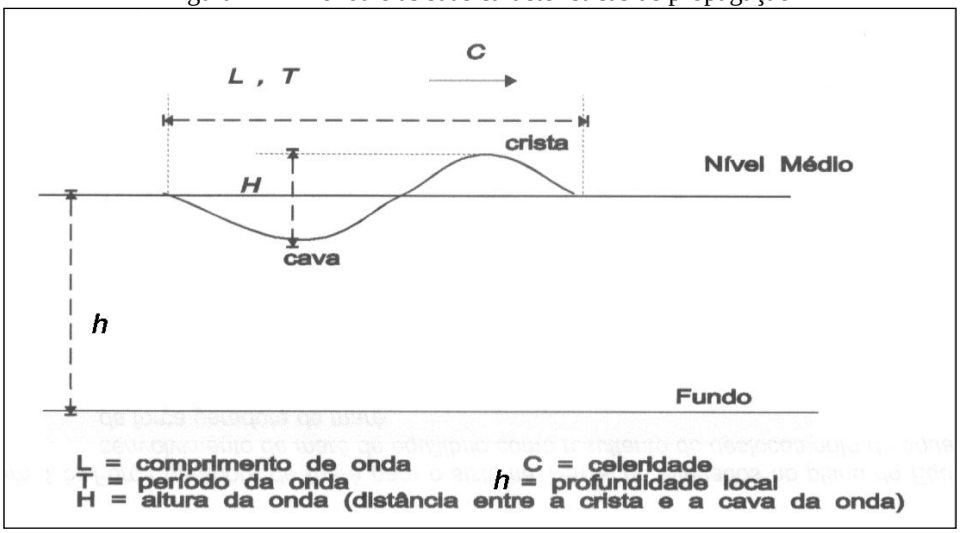
3.3 Características da energia maremotriz

A energia maremotriz possui características próprias, que variam enormemente de um projeto para outro, em função de suas condições de obtenção: características do local de exploração, sazonalidade e influência das condições de tempo e clima, método de exploração (diretamente relacionado com a tecnologia utilizada), entre outras condições.

3.3.1 Potencial energético

As ondas possuem algumas características relevantes para definição da energia que transporta. Segundo Planeta COPPE (2009), a energia disponível nas ondas é maior quanto mais ao largo, ou seja, mais longe da costa. A sua intensidade diminui proporcionalmente à profundidade, devido à interação com o leito marinho. A energia contida nas águas profundas é de três a oito vezes maior que a existente em águas rasas, próximas à costa. Cabe observar que as ondas são classificadas quanto à profundidade da lâmina d'água do local aonde se encontra: *nearshore*, para regiões com profundidade variando de oito a vinte metros, e *offshore*, para profundidades normalmente acima de vinte e cinco metros. , conforme é possível verificar na Figura 12.

Figura 12 – A onda e as suas características de propagação



Fonte: Planeta COPPE (2009).

Considerando as características apresentadas, em Planeta COPPE (2009) consta que a energia contida nas ondas pode ser medida pela equação a seguir:

$P = 0,49.H^2.T$; onde:

P é a energia, em kW/m;

H é a amplitude da onda; e

T é o seu período.

3.3.2 Vantagens e Desvantagens

Como toda fonte de geração de energia, a maremotriz também apresenta vantagens e desvantagens. Em Energias Renováveis, temos algumas desses aspectos apresentados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens da energia maremotriz

Vantagens	Desvantagens
Não é poluente	O fornecimento da energia das ondas não é contínuo
	Apresenta baixo rendimento, cerca de 20%
Fonte renovável	É fortemente dispendiosa
	Destrói habitats naturais de diversas espécies de animais
	Impossibilita a navegação
Não requer material muito sofisticado	Fornece *energia* durante apenas dez horas por dia
	São necessárias amplitudes de marés superiores a 5 metros para que este tipo de energia seja rentável

Fonte: Energias Renováveis.

Planeta COPPE (2006) apresenta como vantagem a modularidade dessa forma de geração energética, pois os projetos podem ser ampliados, interligados ou separados com certa simplicidade. Porém, verifica-se que essa modularidade é real apenas para os projetos que utilizam a energia das ondas, tanto *offshore* quanto *nearshore*. Quanto aos projetos que utilizam a energia das marés, essa modularidade é muito questionável, pois exige locais com características específicas para a sua viabilidade.

Em Planeta COPPE (2009), encontramos que os custos de conversão e transmissão de energia são diretamente proporcionais à distância da costa. Logo, os projetos *offshore* tendem a ser menos viáveis que os projetos *nearshore*. Além disso, o texto apresenta as seguintes vantagens:

a) facilidade de estimativa de seu potencial;

b) não gera custos com desapropriações de áreas;

c) fonte de energia abundante;

d) produção pontual, possibilitando atender localidades distantes das redes de distribuição das concessionárias de energia elétrica;

e) pode desempenhar função acessória de proteção à costa pela dissipação do poder das ondas sobre a mesma; e

f) pode ser projetada para funcionar como recife artificial, possibilitando o desenvolvimento da vida marinha local.

4 PROJETOS DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL E NO MUNDO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

Já existem projetos implantados e em funcionamento, na exploração da energia maremotriz, ao redor do mundo. A seguir são apresentados os de maior dimensão e relevância.

4.1 Projeto *La Rance* - França

Segundo WTE, O projeto de ***La Rance*** foi a primeira usina maremotriz de que se tem notícia. Foi inaugurada em 26 de novembro de 1966, no estuário do rio Rance, região da Bretanha e atualmente é operada pela empresa *Electricité de France*.

A usina possui 24 turbinas. Cada uma com 5,3 metros de diâmetro, 470 toneladas e potência unitária de 10 MW, o que totaliza um pico de geração de 240 MW e uma produção anual de quase 600 GWh (Fontes de energia, 2008).

Figura 13 – Localização da usina maremotriz de La Rance, França

Fonte: Google Maps, 2013.

Figura 14 – Vista aérea da usina de La Rance

Fonte: Wikipedia, 2013.

Conforme Wikipedia (2013), 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, atualmente. 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.

Como impactos ambientais, WTE e Wikipedia (2013) apresentam a ocorrência de assoreamento progressivo do ecossistema, além do desaparecimento das espécies solha europeia *(Pleuronectes platessa)* e enguia de areia (*Ammodytes hexapterus)*. Relata-se ainda que, quando da implantação do projeto, os chocos (ou sibas), moluscos marinhos da classe *Cephalopoda*, ordem *Sepiida*, além dos robalos (*Dicentrarchus labrax*) desapareceram, mas voltaram a ser verificados com o passar dos anos, recuperando o seu habitat.

Figura 15 - *Ammodytes hexapterus*

Fonte: Wikipedia, 2013.

Figura 16 - *Pleuronectes platessa*

Fonte: Wikipedia, 2013.

Figura 17 – espécie da ordem *Sepiida*

Fonte: Wikipedia, 2013.

Figura 18 – *Dicentrarchus labrax*

Fonte: Wikipedia, 2013.

Figura 19 – Área de influência da usina de *La Rance*

Fonte: Google Maps, 2013.

4.2 Projeto de Coluna de Água Circulante (Açores – Portugal)

A usina localiza-se na ilha de Pico, arquipélago dos Açores, território português no Atlântico Norte, mais especificamente, no porto do Cachorro, conselho de Madalena. O projeto, denominado **Central de Ondas de Pico**,

entrou em funcionamento em 1999 e tem uma potência instalada de 400 kW. Até o final de 2010 teve 1300 horas de funcionamento e mais de 48 MWh de energia elétrica produzida (Wikipedia, 2013).

Figura 20 – Foto aérea da Usina de Açores - Portugal

Fonte: Google Maps, 2013.

Figura 21 – Usina de Açores - Portugal

Fonte: Planeta COPPE, 2009.

A usina foi a primeira central a utilizar a tecnologia da coluna de água oscilante associada a uma turbina do tipo Wells e ligada à rede de distribuição (Wikipedia, 2013).

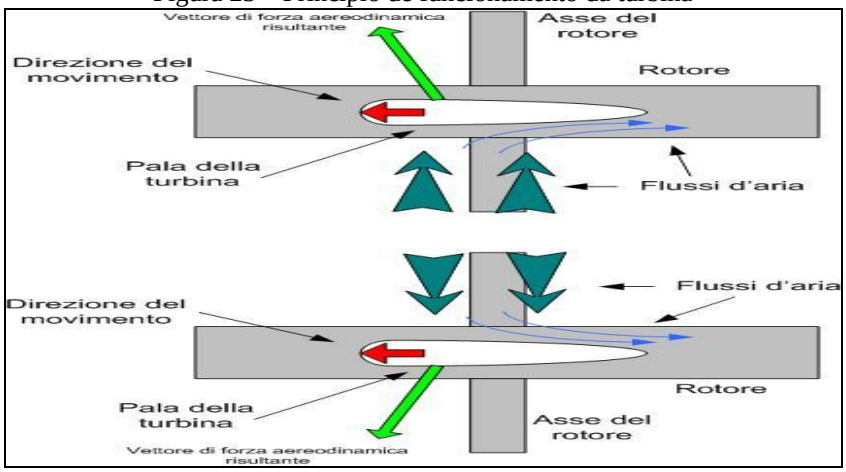
A turbina Wells tem a vantagem de ter o seu rotor girando sempre na mesma direção (no sentido horário ou anti-horário), independentemente da direção do fluxo de ar que o atravessa. Porém, apresenta como desvantagens: o seu baixo rendimento e a exigência de instalação de motores auxiliares para gerar o arranque inicial (Wikipedia, 2013).

Podemos ver a turbina Wells e o seu princípio de funcionamento nas figuras 22 e 23, além do seu esquema de acionamento hidráulico/pneumático na Figura 24.

Figura 22 – turbina Wells

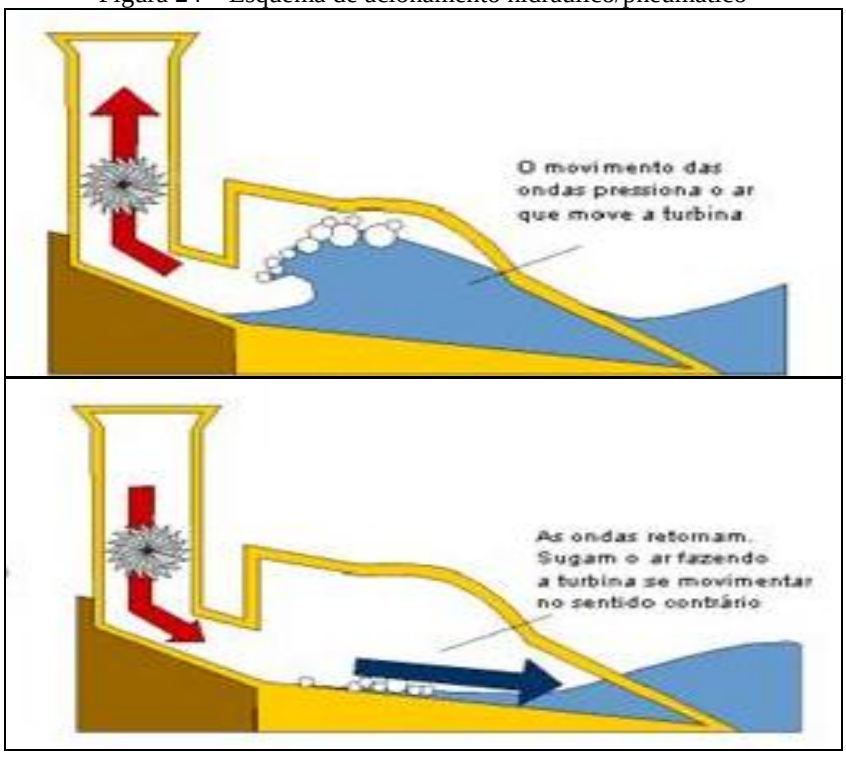
Fonte: Planeta COPPE, 2009.

Figura 23 – Princípio de funcionamento da turbina



Fonte: Wikipedia, 2013.

Figura 24 – Esquema de acionamento hidráulico/pneumático



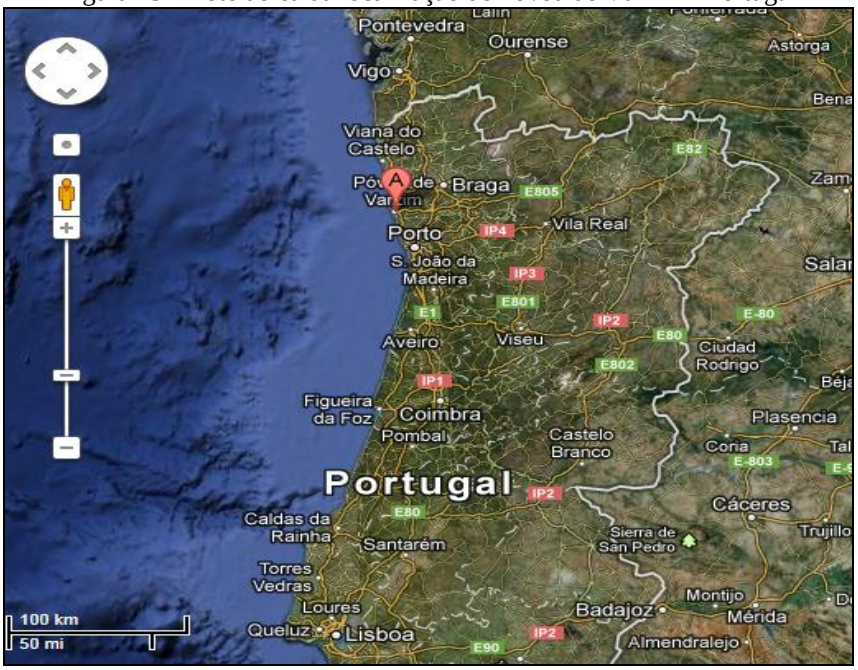
Fonte: Aero-mini.

Segundo Aero-mini, o maior impacto ambiental que pode ocorrer é durante a sua instalação, além do risco de contaminação das águas que retornam ao mar, caso haja alguma fonte poluidora no interior do sistema. Pelo funcionamento da turbina, considerando que a massa de água não toca diretamente a turbina, percebe-se que a probabilidade de contaminação do mar é remota.

4.3 Projeto Pelamis (Varzim – Portugal)

O projeto, também conhecido como **Parque de Ondas da Aguçadoura**, é primeiro parque mundial de aproveitamento da energia das ondas, e foi implantado na Póvoa de Varzim, na freguesia de Aguçadoura, Portugal (Wikipedia, 2013).

Figura 25 – Foto aérea da localização de Póvoa de Varzim - Portugal



Fonte: Google Maps, 2013.

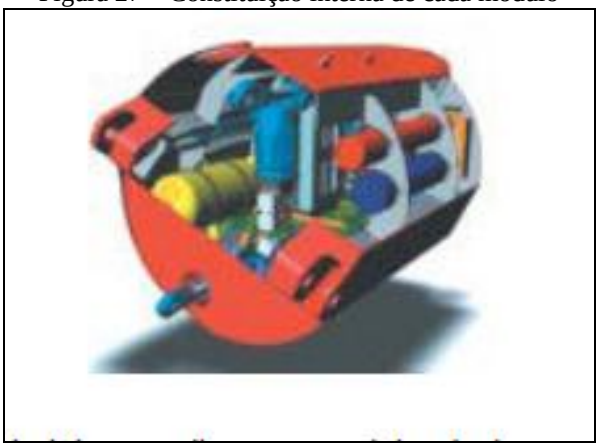
Ainda conforme Wikipedia, o parque é constituído por três geradores do tipo **Pelamis**, com capacidade de produção de cerca de 750 kilowatts, cada. A tecnologia é da empresa britânica **Ocean Power Delivery** e o investimento é do grupo português **Enersys**. A Póvoa de Varzim foi escolhida devido à profundidade das águas, energia das ondas, proximidade aos portos marítimos e à facilidade de ligação à rede elétrica.

O Pelamis é um dispositivo flexível, semi-submerso, constituído de módulos cilíndricos, com dimensão longitudinal da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda, disposto no sentido de propagação da onda, de modo a gerar um efeito de bombeamento progressivo. O movimento ondulatório das ondas incidentes provoca a oscilação dos módulos cilíndricos em torno das juntas que os unem e dessa forma ocorre a pressurização de óleo que acionará motores hidráulicos, interligados a geradores elétricos. O sistema visa à implementação em parques, com a energia gerada sendo enviada para terra através de um único cabo. Um dos componentes mais importantes do Pelamis é o seu sistema de fixação ao fundo do mar. Um parque de 40 dispositivos (30 MW instalados), ocupa uma área de 1 km² (Uma Nova Alternativa).

Figura 26 – Equipamento Pelamis

Fonte: Planeta COPPE, 2009.

Figura 27 – Constituição interna de cada módulo



Fonte: Uma Nova Alternativa.

Percebe-se que o projeto gera alguns impactos: a utilização de cabos para fixação ao fundo do mar e para a transmissão da energia até a costa interfere na circulação marítima. Além disso, existe o risco de vazamento de material contaminante, pois todo o sistema gerador está localizado dentro do oceano, utilizando, inclusive, óleo internamente para o seu funcionamento. A composição desse fluido e as características poluidoras do mesmo são relevantes para analisar os reais riscos ao meio ambiente. Porém, não foram encontradas fontes que apresentem essas informações.

4.4 Projeto Archimedes Wave Swing (Portugal)

O projeto baseia-se no princípio de Arquimedes: quando um objeto é submerso em um fluido, uma força atua sobre o objeto, que força-o para cima. Esta força é conhecida como força de empuxo, e é igual ao peso do fluido

deslocado pelo objeto, que pode ser calculado pela fórmula **W=mg**, onde "m" é a massa e "g" da força gravitacional (Bright Hub).

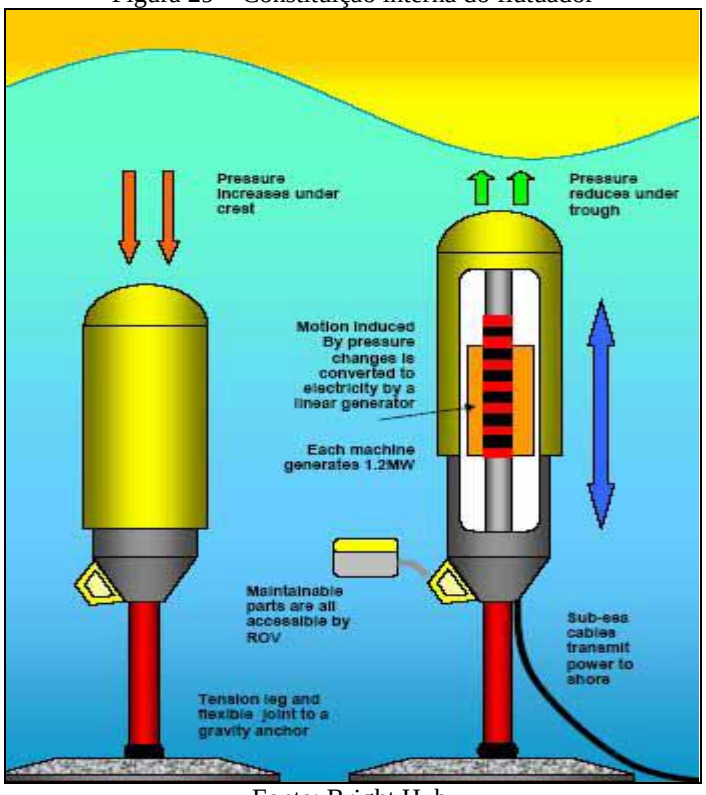
O Archimedes Wave Swing (AWS) é um cilindro submerso em forma de bóia, ancorado no fundo do mar, pelo menos seis metros abaixo da superfície oceânica. Uma das empresas que trabalha com essa tecnologia é a escocesa **AWS Ocean Energy**, que já implantou um projeto com essa técnica em Portugal.

Figura 28 – Processo de instalação do flutuador em Portugal

Fonte: AWS Ocean Energy.

O sistema de funcionamento baseia-se na ação das ondas que movem o flutuador para cima e para baixo, gerando um movimento alternativo. Quando recebe a influência das cristas das ondas, ocorre a pressão na parte superior da bóia, que empurra o mecanismo dentro do cilindro para baixo, comprimindo o gás no interior do cilindro. Quando a cava de onda passa sobre o flutuador, o processo inverso ocorre, movendo-se para cima a bóia e ocorre a descompressão do gás no interior do cilindro. Esse movimento alternado gerado pelo flutuador é convertido em energia elétrica por meio de um sistema hidráulico ou de um conjunto de motor-gerador.

Figura 29 – Constituição interna do flutuador



Fonte: Bright Hub.

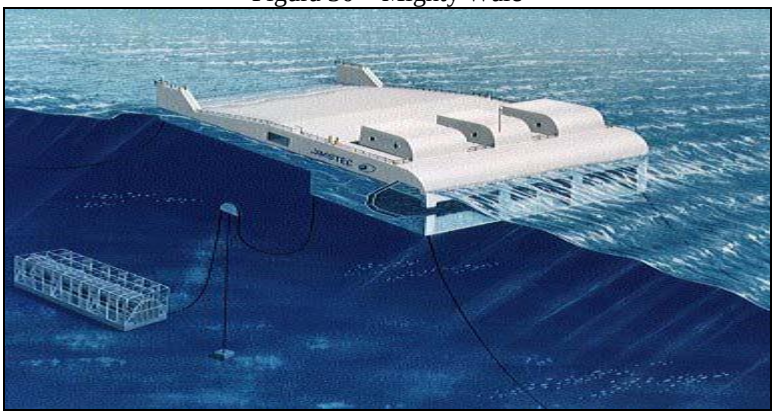
Segundo Bright Hub, a densidade de potência de energia oferecida pela AWS é 10 vezes maior do que qualquer outro meio de energia renovável. Consta ainda que é um dispositivo sem ruído, sem qualquer equipamento de alta velocidade de rotação e não apresenta problemas de poluição relacionados com a unidade de geração.

Verifica-se que o projeto não apresenta grandes riscos potenciais, pois não trabalha com materiais contaminantes de fácil dispersão no meio líquido, como óleos. Porém, pode interferir no ecossistema marítimo, pois está inserido nele.

4.5 Projeto Mighty Wale (Gokasho – Japão)

Segundo Ambiente Brasil, este projeto foi implementado pela *Japan Marine Science and Technology Center* (Centro de Ciência e Tecnologia da Marinha do 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. O balanço das ondas gera uma pressão no interior dos compartimentos, acionando uma turbina elétrica e gerando 110 kW.

Figura 30 – Mighty Wale



Fonte: Planeta COPPE, 2009.

Conforme Cruz e Sarmento (2004), 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. Segundo essa fonte, o dispositivo mostrou uma eficiência baixa, devido à baixa densidade de energia das ondas no Japão, sendo inferior ao que se considera o limiar necessário para atingir a viabilidade econômica.

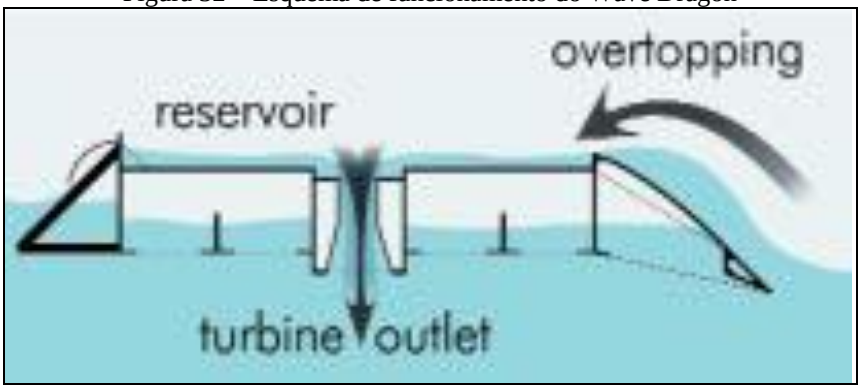
Figura 31 – local de operação do projeto Mighty Wale

Fonte: MapAtlas, 2013.

4.6 Projeto Wave Dragon (Nissum Bredning - Dinamarca)

Conforme Cruz & Sarmento (2004), o projeto, *offshore*, é fruto de um consórcio internacional de empresas e instituições da Dinamarca, Reino Unido, República da Irlanda, Suécia, Áustria e Alemanha. É composto basicamente de dois refletores que direcionam as ondas incidentes para uma rampa, um reservatório que armazena a água e um conjunto de turbinas de baixa queda, que geram energia elétrica pela passagem da água, de forma similar às usinas hidrelétricas. A Figura 32 esquematiza o seu funcionamento.

Figura 32 – Esquema de funcionamento do Wave Dragon



Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

Ainda conforme os autores, dependendo do clima de ondas, o projeto pode gerar de 4 a 11 MW. O projeto encontra-se desde 1998 em fase de testes que são desenvolvidos pela Universidade de Aalborg.

Cruz & Sarmento (2004) ainda citam que existe outro projeto com esta tecnologia sendo desenvolvido por Portugal, mas desta vez junto à costa.

Figura 33 – Imagem do Wave Dragon, a partir de um dos seus refletores

Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

Figura 34 – Imagem frontal do Wave Dragon

Fonte: Planeta COPPE, 2009.

Quanto aos possíveis impactos ambientais do projeto, Cruz & Sarmento (2004) apresentam-nos organizados em três grupos: Construção e instalação, Operação e manutenção, e Desmantelamento, conforme as tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Impactos ambientais na construção e instalação da Wave Dragon

instalação de cabos submarinos	- perturbação temporária de alguns habitats nas imediações do cabo; e - danificação de zonas de interesse arqueológico.
instalação de cabos na costa	perturbação temporária de alguns habitats nas imediações do cabo.
instalação do sistema de amarração	perturbação temporária de alguns habitats nas imediações do sistema de amarração
construção do dispositivo	impactos diversos (visuais, auditivos, etc)
tráfego marítimo durante a instalação	aumento do tráfego durante a instalação, o que pode afetar uma gama de espécies.

Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

Tabela 3 – Impactos ambientais na operação e manutenção da Wave Dragon

presença do dispositivo	- impactos visuais; - efeitos positivos e negativos nos recursos pesqueiros (dispositivos afastados da costa); - influência do ruído nos mamíferos marinhos; - impactos na navegação (dispositivos não costeiros); e - alteração no regime das ondas (podendo influenciar no processo de erosão costeira, alterar habitats marinhos e alterar o valor turístico de uma zona).
presença de cabos marinhos	geração de campo eletromagnético
operação do sistema de conversão de energia	Impactos dependem fortemente das características do sistema
presença do sistema de amarração (dispositivos não costeiros)	- afeta o meio envolvente; e - pode construir um recife artificial, fomentando o aparecimento e crescimento de espécies marinhas.
presença de instalações costeiras	impacto visual
manutenção	Pode estar associado ao aumento do tráfego marítimo
Mecanismos anti-corrosão	Possíveis emissões tóxicas para o meio envolvente.

Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

Tabela 4 – Impactos ambientais no Desmantelamento da Wave Dragon

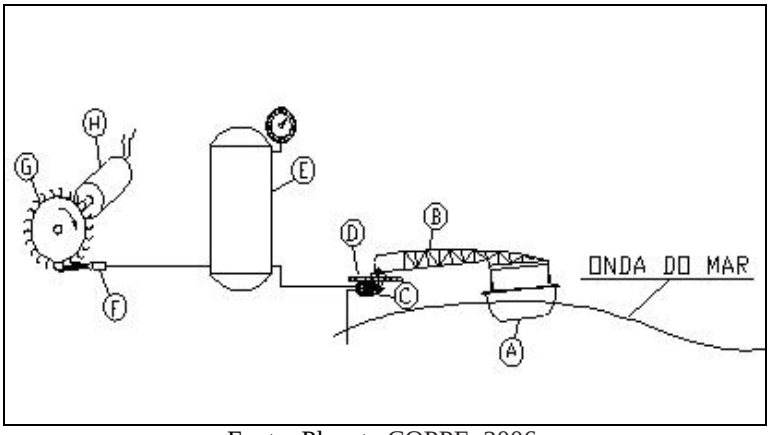
Desmantelamento e remoção do dispositivo do local	Os impactos imediatos são predominantes nos dispositivos costeiros, embora possam ser relevantes nos dispositivos *offshore* (eventual remoção do recife artificial)
Remoção do sistema de amarração e dos cabos submarinos	Influência no meio envolvente (habitat de algumas espécies)

Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

4.7 Projeto Brasileiro do Porto de Pecém – Ceará

O projeto, localizado em Pecém, 60 km a norte de Fortaleza – CE, 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)**. Segundo a COPPE/UFRJ, e é baseado no princípio de armazenamento de água sob alta pressão numa câmara hiperbárica, obtida pelo bombeamento realizado pela ação das ondas nos flutuadores. 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, com 50 KW de potência, possui flutuador, braço, estrutura de fixação e bomba. Mangueiras para alta pressão e outros acessórios interligam as unidades de bombeamento à câmara hiperbárica. Uma válvula reguladora de vazão, conectada à câmara, é responsável pela saída do jato de água para o acionamento da turbina, cuja pressão equivale a uma queda d'água similar a de grandes hidrelétricas, com 400 m de altura. 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.

Figura 35 – Esquema do sistema do Porto de Pecém: sendo acionados pelas ondas, flutuadores **(A)** se movimentam atuando como braços de alavanca. Esses braços de alavanca **(B)**, numa certa relação, multiplicam as forças oriundas do flutuador para acionar bombas hidráulicas **(C)** de movimentos alternados. Estas bombas aspiram e comprimem o fluido durante a movimentação dos flutuadores para abastecer e manter elevada a pressão da câmara hiperbárica **(E)**. A vazão de água, que abastece a câmara hiperbárica, é então liberada na forma de jato, para acionar uma turbina tipo Pelton **(G)**, numa vazão igual ou menor àquela enviada pelas bombas, através de uma válvula controladora de vazão **(F)**. A rotação obtida no eixo da turbina é transmitida a um gerador elétrico **(H)**, para conversão de energia mecânica em eletricidade.



Fonte: Planeta COPPE, 2006.

O local foi escolhido por ser considerado com bom potencial maremotriz: é um porto *offshore*, onde o mar apresenta uma profundidade média de 17 metros, com ondas médias de 1,4 metros e períodos médios de 7,53 segundos. O projeto, de caráter apenas experimental, foi montado no quebra-mar do Terminal Portuário de Pecém e possui apenas duas unidades. Apresenta a possibilidade de ampliação, por ser modular (COPPE/UFRJ).

Figura 36 – Imagem do projeto de Pecém

Fonte: Planeta COPPE, 2006.

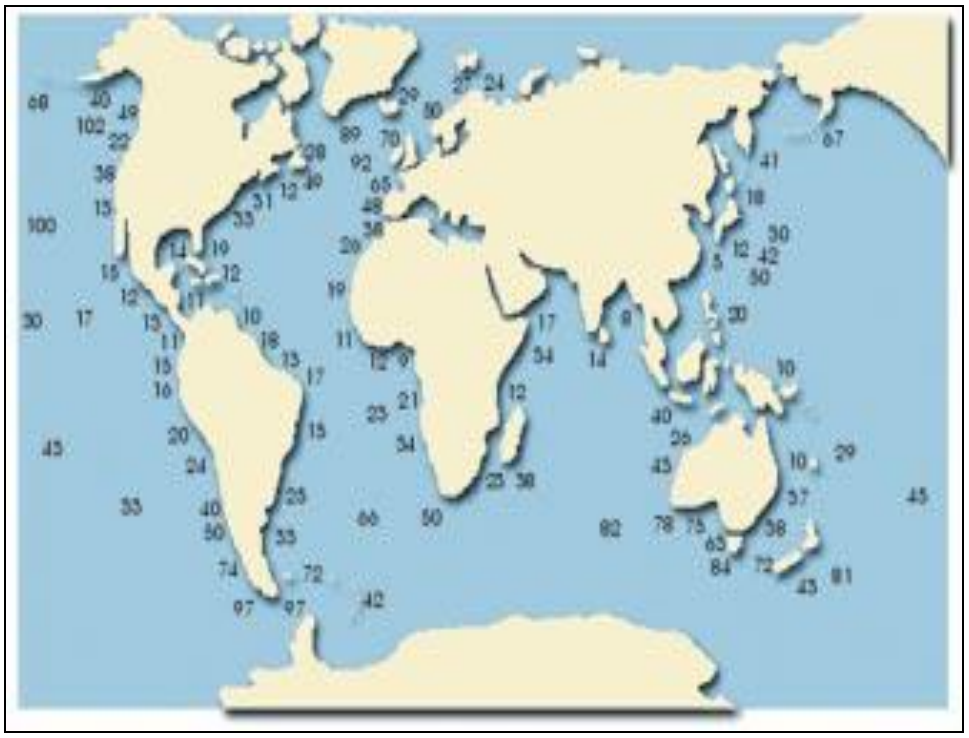
Considerando as características do projeto brasileiro, podemos concluir que os seus possíveis impactos ambientais são principalmente quando da sua implantação, por exigir a construção de uma estrutura *offshore*. Os riscos ambientais durante a sua operação são mínimos, em virtude de que apenas os flutuadores entram em contato com o mar.

5 VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA MAREMOTRIZ NO BRASIL

Cruz & Sarmento (2004) fazem uma análise das condições portuguesas e a viabilidade econômica na região, que apresenta um potencial médio de 18 kW por metro linear de onda. Concluem que, nessas condições, seria necessário aproveitar cerca de 67,5 km de costa para se atingirem custos de produção de energia semelhantes aos das centrais eólicas.

Os autores ainda apresentam um quadro resumo do potencial maremotriz ao redor do mundo, conforme Figura 37.

Figura 37 - Distribuição do potencial mundial
das ondas em kW/m de frente de onda



Fonte: Cruz & Sarmento, 2004.

Pela Figura 37, podemos verificar que o litoral brasileiro possui um dos menores potenciais médios, com valores variando entre 13 e 25 kW/m, enquanto que outras regiões do globo terrestre, como o extremo sul do continente americano apresentam valores próximos de 100 kW/m. Este quadro deixa claro que a viabilidade econômica no Brasil só pode ser obtida por estudos detalhados e mapeamento de áreas, antes de se decidir na implantação de projetos que utilizem essa tecnologia.

Temos ainda em Cruz & Sarmento (2004) que as ondas de elevada amplitude, com cerca de 2 m, e de período elevado, de 7 a 10 segundos, excedem normalmente os 50 kW por metro de frente de onda.

Verificamos que a **amplitude** das ondas em Pecém está aquém desse patamar, enquanto que o **período** está próximo ao limite inferior, o que confirma o entendimento de que há necessidade de estudos das condições locais e cálculo detalhado dos custos e perspectivas de geração energética antes de decidir sobre o local de instalação de centrais maremotrizes no Brasil.

Cruz & Sarmento (2004) complementam ainda que a conjugação entre as obras de proteção de costas, como os quebras-mares, e as centrais maremotrizes, reduzem em muito os custos de implantação, pois um mesmo investimento passa a atender a duas finalidades, e não somente à geração de energia.

6 CONCLUSÃO

Considerando que as reservas de combustíveis fósseis estão em declínio, além de estarem concentradas em poder de poucos países, o risco da maioria dos países do mundo de sofrer restrições para a sua obtenção é cada vez mais iminente. Além disso, as mudanças climáticas são mais um fator que pressiona a sociedade pela busca de fontes energéticas renováveis.

Dentre as fontes de energia consideradas “verdes”, a energia maremotriz é uma das possibilidades mais recentemente desenvolvidas, existindo ainda poucos projetos implantados. Porém, apresenta um grande potencial, pois aproximadamente 3/4 do planeta são cobertos pelos mares e oceanos, e que toda essa massa d’água funciona como um grande reservatório da energia recebida do Sol.

Como toda atividade humana que altera o meio, a energia maremotriz apresenta impactos ambientais que precisam ser mapeados e mensurados, a fim de que qualquer projeto que venha a ser implantado não prejudique o equilíbrio dos ecossistemas existentes em sua área de influência.

Vemos que cada projeto apresenta alguns impactos reais e outros potenciais. Esses impactos são muito variáveis, devendo ser dimensionados de forma específica para cada projeto, pois havendo alteração de qualquer uma das características, como localização, dimensão, material utilizado em sua estrutura, etc, os impactos podem ser totalmente diferentes. Porém, de forma geral, podemos dividi-los em três grandes grupos: visuais, auditivos e de alteração do meio envolvente.

Quanto à sua viabilidade econômica, os projetos que utilizam essa tecnologia ainda carecem de um banco de dados muito mais completo. Atualmente, busca-se aplicar modelos matemáticos de tecnologias similares para o cálculo da sua viabilidade financeira, especialmente comparando-o à energia eólica. Percebe-se que o potencial maremotriz do litoral brasileiro é de cerca de 19 kW por metro de frente de onda, inferior à média mundial. Esse aspecto é relevante, pois um projeto a ser implantado em território nacional precisa considerar a necessidade de um mapeamento detalhado das condições locais, para que seja economicamente viável.

REFERÊNCIAS

AERO-MINI. **Energia das marés**. Disponível em: <http://aero-mini.blogspot .com.br/p/energias.html>. Acesso em: 03 fev.. 2013.

AMBIENTE BRASIL. **Energia maremotriz.** Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/maremotriz/energia_mareomotr iz.html>. Acesso em: 03 fev. 2013.

ARTHUS-BERTRAND, Y. **Home: nosso planeta, nossa casa.** [20--]. filme (142 min.), son. (dubl.), color., legendado. Disponível em: <http://www.youtube.com/ watch?v=7jzoA1KUqXk&feature=player embedded>. Acesso em: 18 jul. 2012.

BIODIESELBR.COM. **Demanda de energia.** Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/alternativa/demanda-energia.htm>. Acesso em: 18 jul. 2012.

BRASIL – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Energia maremotriz.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis /energia-maremotriz>. Acesso em: 18 jul. 2012.

BRIGHT HUB. **Wave power : Archimedes Wave Swing Machines.** Disponível em: <http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/40548.aspx#>. Acesso em: 12 jan. 2013.

CRUZ, J. M. B. P., SARMENTO, A. J. N. A. **Energias das ondas: introdução aos aspectos tecnológicos, económicos e ambientais.** Alfragide: Instituto do Ambiente, 2004.

DICIONÁRIO DO AURÉLIO. **Energia.** Disponível em:<http://www.dicionario doaurelio.com/Energia.html>. Acesso em: 10 dez. 2012.

ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Energia Maremotriz e Hidráulica.** Disponível em: <http://energiasrenovaveis12.wordpress.com/energia-eolica/>. Acesso em: 18 jan. 2013.

ENGEL, L. **O mar.** Rio de Janeiro: J. Olympio, 1972. 201 p.

FONTES DE ENERGIA. **Energia maremotriz.** 2008. Disponível em: <http://energiasalternativa-celpc.blogspot.com.br/2008/09/energia-maremo triz_12.html>. Acesso em 19 jan. 2013.

GHIRARDI, A. G. **Economia da Energia.** Disponível em:<www .agg.ufba.br/conceito1.DOC>. Acesso em: 10 dez. 2012.

GOOGLE MAPS. **Route du Barrage, 35780 La Richardais, Ille-et-Vilaine, França.** Disponível em: < http://maps.google.com.br/>. Acesso em 19 jan. 2013.

HAMILTON, L. **AWS MK II - Deployment, monitoring and evaluation of a prototype advanced wave energy device.** Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/gp/gp_events/ocean_energy/1200_aws-mkii_en.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2013.

HINRICHS, R. A., KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente – 3ª ed.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 543 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2012.** Disponível em: < http://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 19 dez. 2012. 1088 p.

INTERNACIONAL ENERGY AGENGY – IEA. Disponível em: <www .iea.gov>. Acesso em: 18 dez. 2012.

LEINZ, V., DO AMARAL, S. E. **Geologia geral.** 13 ed. São Paulo: Nacional, 1998. 399 p.

MAPATLAS. ORG. **Gokasho Wan.** Disponível em: <http://pt.mapatlas. org/Jap%C3%A3o/Ba%C3%ADa/Gokasho_Wan/4093/estradas_e_satelit e_mapa>. Acesso em: 3 fev. 2013.

MICHAELIS - DICIONÁRIO DE PORTUGUÊS ONLINE. **Energia.** Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php ?lingua=portugues-portu gues&palavra=energia>. Acesso em: 10 dez. 2012.

MOURÃO, R. R. F. **Sol e energia no terceiro milênio.** São Paulo: Scipione, 2002. 112 p.

ODUM, H. T.; ODUM, E. C.; BROWN, M. T.; LAHART, D.; BERSOK, C.; SENDZIMIR, J. **Sistemas ambientais e políticas públicas.** Campinas: UNICAMP, 1987. 198 p.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas.** São Paulo: Hemus, 1995. 253 p.

PLANETA COPPE - UFRJ. **As múltiplas ofertas do mar.** 2004. Disponível em: <http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=1088>. Acesso em: 16 jan. 2013.

_____. **Energia das ondas do mar.** 2009. Disponível em: <http://www. planeta.coppe.ufrj.br/artigo.php?artigo=524>. Acesso em: 15 jan. 2013.

_____. **Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar.** 2006. Disponível em: < http://www.planeta.coppe.ufrj.br/artigo .php?artigo=833>. Acesso em: 18 jul. 2012.

RODRIGUES, L. **Wave power conversion systems for electrical energy production.** Disponível em: <http://www.icrepq.com/icrepq-08/380-leao.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2013.

TARDIOLI, P. W. **Termodinâmica para Engenharia. Um curso introdutório.** São Carlos: UFSCar, 2011. 214 p.

TUREKIAN, K. K. **Oceanos. Série de textos básicos de Geociência.** São Paulo: Edgard Blücher, 1988. 152 p.

UMA NOVA ALTERNATIVA. **Pelamis.** Disponível em: <http://umanovaalternativa.com.sapo.pt/pelamis.html>. Acesso em: 29 jan. 2013.

WIKIPEDIA. **Central de Ondas de Pico.** Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Central_de_Ondas_do_Pico >. Acesso em: 19 jan. 2013.

_____. **Parque de Ondas de Aguçadoura.** Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Parque_de_Ondas_da_Agu%C3%A7adoura>. Acesso em: 29 jan. 2013.

_____. **Rance Tidal Power Station.** Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rance_Tidal_Power_Station>. Acesso em: 19 jan. 2013.

_____. **Sand lance.** Disponível em: <http://en.wikipedia.org /wiki/Sandlance>. Acesso em: 19 jan. 2013.

WTE – WYRE TIDAL ENERGY. **La Rance Barrage.** Disponível em: <http://www.wyretidalenergy.com/tidal-barrage/la-rance-barrage>. Acesso em: 18 jan. 2013.

YOUTUBE. **Usina de ondas do Pecém.** 2012. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=hWcuuQWybWg>. Acesso em: 8 fev. 2013.