



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU* “EM FORMAS
ALTERNATIVAS DE ENERGIA”**

**VIABILIDADE DA CAPTAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NOS
OCEANOS (CAPTAÇÃO OFFSHORE)**

JOSÉ RAFAEL PORTELLA

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007**

JOSÉ RAFAEL PORTELLA

**VIABILIDADE DA CAPTAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NOS OCEANOS
(CAPTAÇÃO OFFSHORE)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Prof. Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

JOSÉ RAFAEL PORTELLA

**VIABILIDADE DA CAPTAÇÃO DA ENERGIA EÓLICA NOS OCEANOS
(CAPTAÇÃO OFFSHORE)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em 07 de maio de 2007.

Prof. Gilmar Tavares
UFLA
(Coordenador)

Prof. Carlos Alberto Alvarenga
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

RESUMO

A questão ambiental hoje, exige de todos nós uma atenção especial, devido aos profundos impactos causados ao meio ambiente, em decorrência das diversas atividades humanas. A procura por formas alternativas de energia, cujo impacto ao meio ambiente seja mínimo, é um exemplo de medida que corrobora com essa exigência. Este trabalho tem por objetivo por em foco uma dessas formas alternativas de energia, mostrando a viabilidade da captação da energia eólica nos oceanos ou captação offshore, que produz um baixo impacto ao meio ambiente, possui uma grande capacidade de geração de energia e tem sido usada com êxito em alguns países. Serão analisadas as características de um sistema offshore, os fatores a serem considerados para a sua instalação, suas vantagens e os custos envolvidos para a sua implantação. Também será analisado o panorama atual da captação offshore, os países que fazem parte desse panorama, assim como as perspectivas da captação offshore.

Palavras-chave: Energia Eólica; Oceanos; Captação.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. SISTEMAS OFFSHORE	7
2.1 Turbinas offshore	8
2.2 Formas de sustentação	10
3. CONDIÇÕES DOS VENTOS NOS OCEANOS	12
4. VANTAGENS DA CAPTAÇÃO OFFSHORE	13
5. CONSIDERAÇÕES A SEREM FEITAS ANTES DA INSTALAÇÃO	13
6. PANORAMA ATUAL	14
7. CUSTOS	16
8. PERSPECTIVAS	17
9. CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS	20

1. Introdução

A demanda por energia no mundo tem aumentado continuamente, não só pelo aumento da produção industrial, mas também pelo aumento do consumo das pessoas, que cada vez mais possuem aparelhos alimentados por energia elétrica e os tem usado por mais tempo, é o caso, por exemplo, dos computadores. Milhões de pessoas no mundo passam horas usando um computador, algo que não acontecia há uns 15 anos atrás. Há necessidade portanto, de gerar mais energia, mas ao se procurar aumentar a geração de energia, deve-se ter a preocupação com os impactos que esta geração vai ter no meio ambiente, pois os impactos já causados pelas diversas formas de geração de energia, chegaram a um patamar preocupante.

Dessa forma, a busca por matrizes de energia que tenham um impacto mínimo no meio ambiente e que sejam economicamente viáveis, ganha cada vez mais importância no contexto atual.

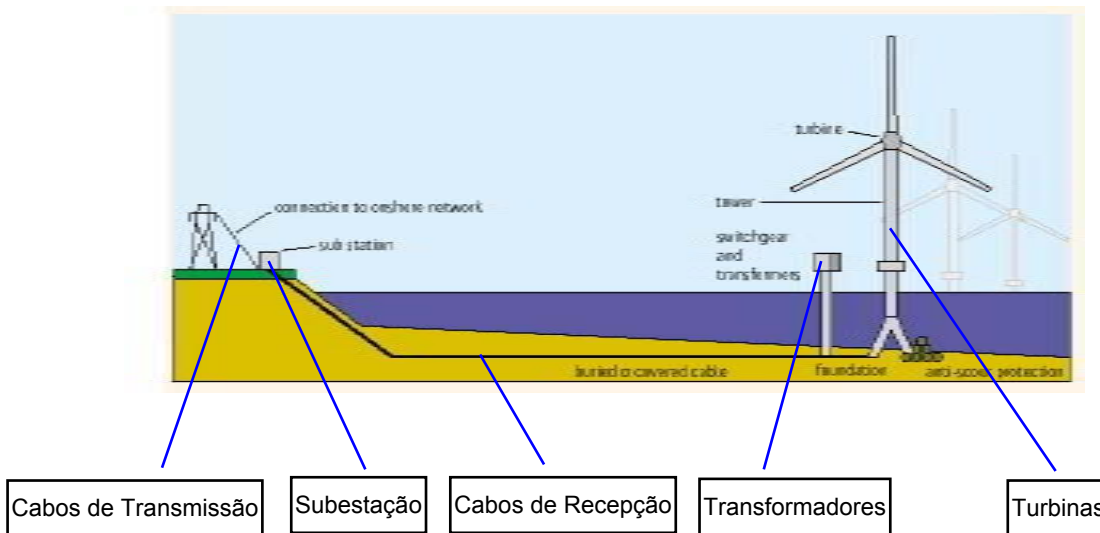
A captação de energia eólica nos oceanos ou captação offshore, caracteriza-se por uma grande geração de energia, baixo impacto ao meio ambiente, custo do kWh relativamente baixo, grande disponibilidade e possibilidade de ser instalada próxima aos grandes centros consumidores. E apesar dos custos altos para sua instalação, é economicamente viável, pois os benefícios gerados compensam o seu investimento.

Assim a captação offshore apresenta-se como uma matriz de energia que atende as necessidades da conjuntura atual, sendo, portanto, viável. E é sobre essa viabilidade que este trabalho se propõe a explicar.

2. Sistemas offshore

A figura mostra o esquema de um típico sistema offshore.

Figura 1



FONTE: EERE. Walt Musial. < www.eere.energy.gov >.

Os elementos constituintes do sistema são:

Turbinas : Principal componente do sistema, aproveita a energia cinética dos ventos e a converte em energia elétrica.

Transformadores : Eleva a tensão fornecida pelas turbinas.

Cabos de recepção e transmissão : Fazem a conexão das turbinas com a subestação e desta com a rede que esta em terra.

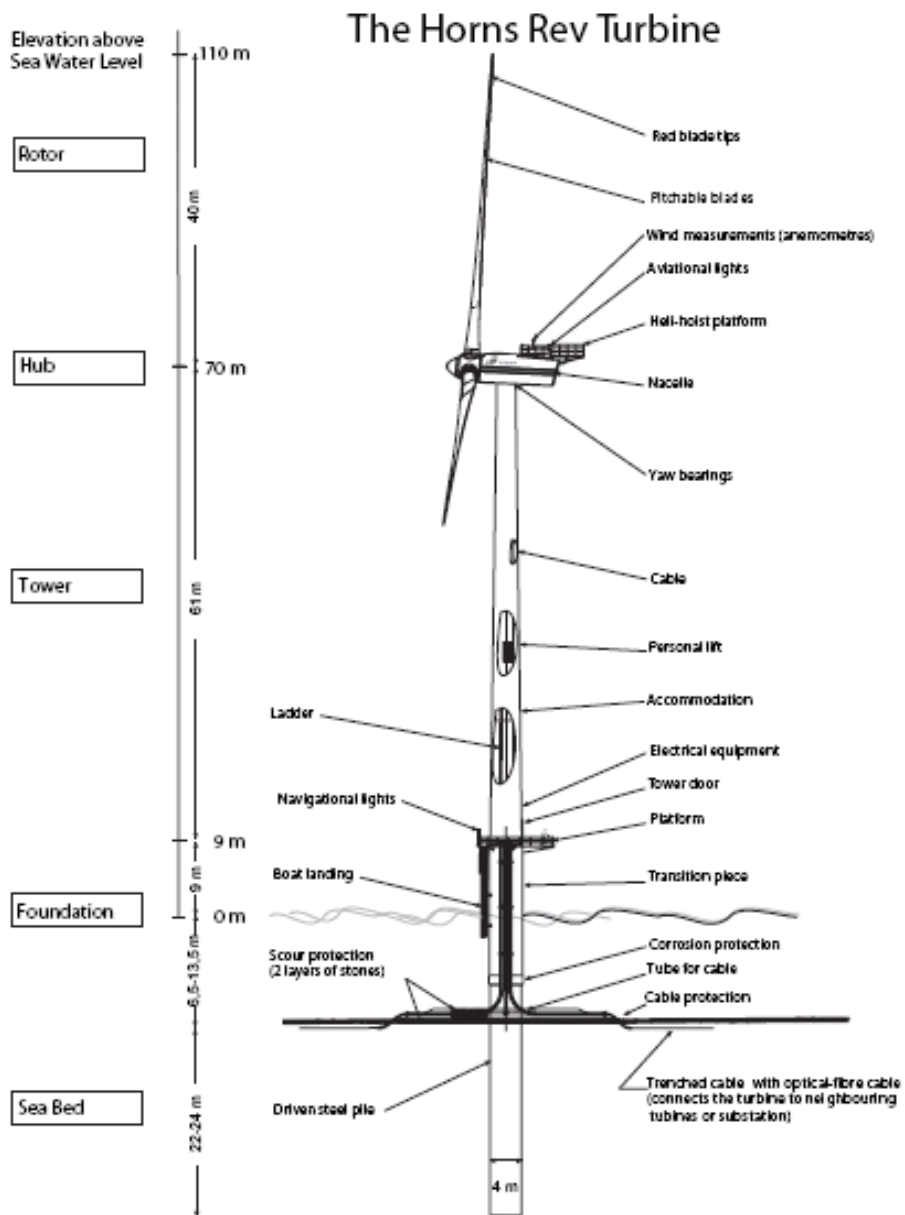
Subestação : Recolhe a energia elétrica produzida nas turbinas e a transmite para a rede. Pode ser dentro ou fora do mar.

Além desses elementos, um sistema offshore é também constituído de uma torre de transmissão meteorológica que coleta dados das condições meteorológicas do local da instalação, condições do mar e mede a velocidade do vento em diferentes alturas. Todas as informações coletadas servirão para monitoramento, análises e testes.

2.1 Turbinas offshore

As turbinas eólicas desenvolvidas para captação offshore são turbinas de grandes dimensões e grande capacidade, sendo maiores que as usadas em terra. Atualmente as maiores turbinas possuem uma potência de 5 MW e um diâmetro de aproximadamente 125 m. A figura 2 mostra os principais componentes de uma turbina offshore. Essa turbina é uma Vestas V80 de 2 MW e com 80 m de diâmetro, usada no parque eólico de Horns Rev, na Dinamarca.

Figura 2



FONTE: Horns Rev Wind Project

As figuras abaixo mostram a curva Velocidade X Potência de saída, de uma GE 3.6sl e uma Vestas V80, respectivamente.

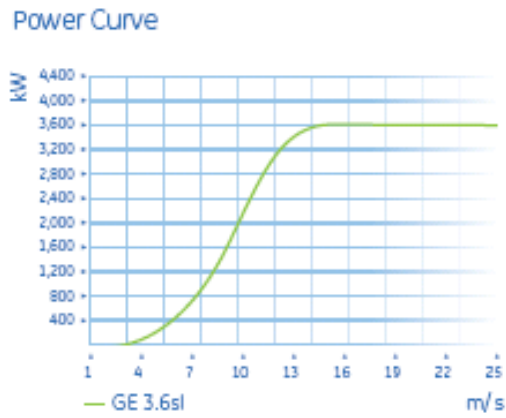


Figura 3. FONTE: GE energy

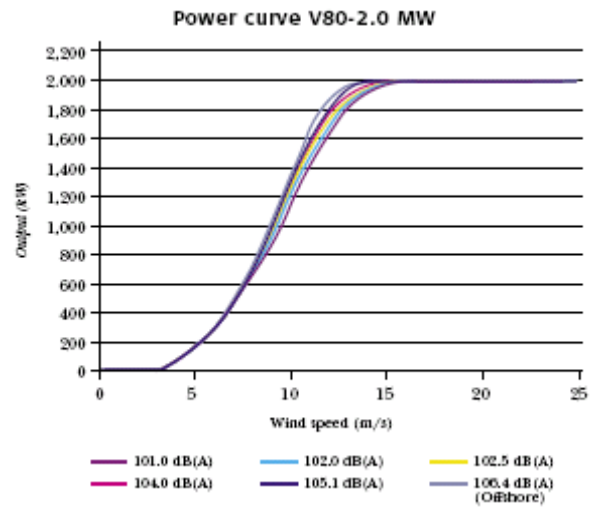
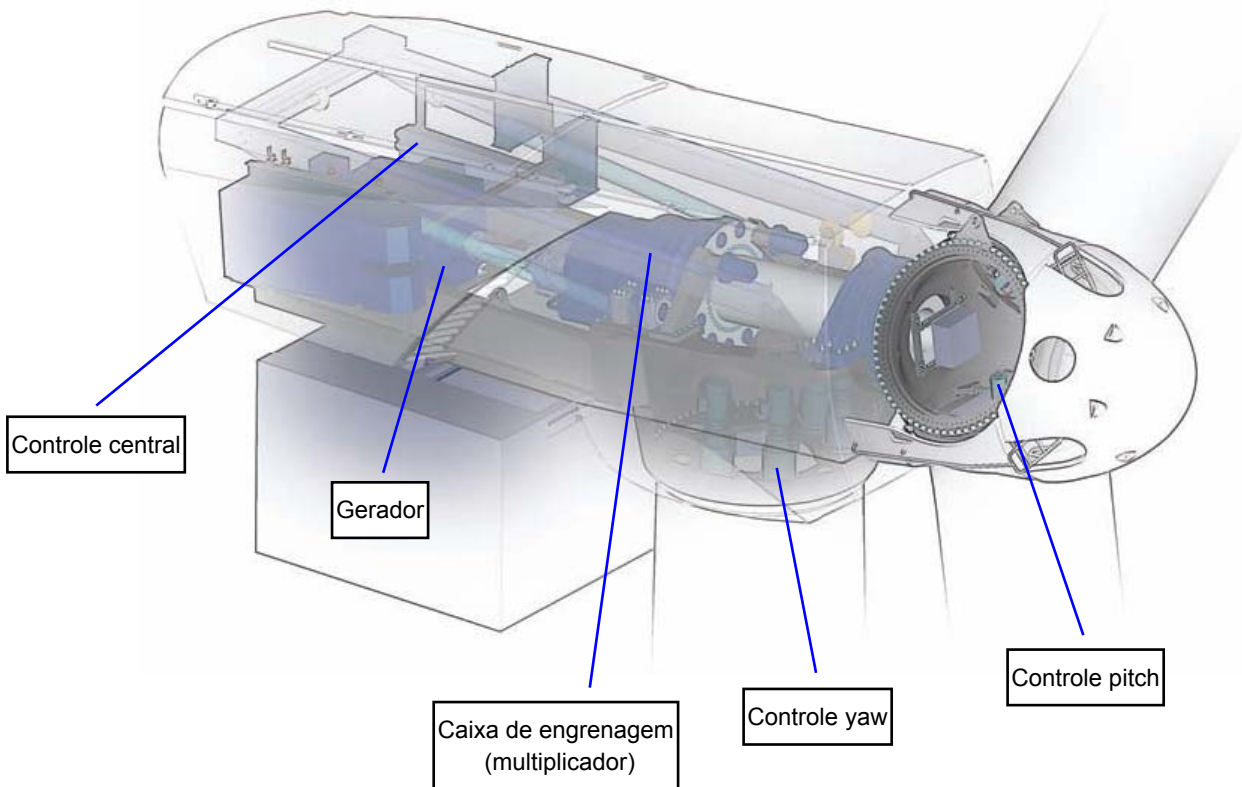


Figura 4. FONTE: Vestas Wind Turbines

A parte superior da turbina (nacelle) é constituída por diversos sistemas de controle que estão interligados entre si. A figura mostra a parte interna de uma GE 3.6sl.

Figura 5



FONTE: GE energy

O controle yaw e o controle pitch, têm a função de fazer com que a turbina sempre trabalhe em uma condição de melhor aproveitamento.

A turbina precisa ficar sempre de frente ao vento, o controle yaw gira o rotor quando a direção do vento muda, permitindo que a turbina fique de frente ao vento. O controle pitch gira as pás quando a velocidade do vento varia, para assim ter um melhor aproveitamento.

2.2 Formas de sustentação

A seguir são mostradas as formas pelas quais as turbinas são fixadas no fundo do mar, sendo a gravity e a monopile, as únicas usadas no momento.

Gravity

Possui uma base larga e tem um formato de uma taça cônica, que reduz os impactos das camadas de gelo sobre a turbina. Usada até 5 metros de profundidade.

Figura 6



Gravity Foundation

FONTE: Offshore Windenergy Europe

Monopile

É a mais usada. Possui uma base mínima, e seu uso depende das propriedades do solo no fundo do mar. Profundidade limite de 30 metros.

Figura 7



Monopile Foundation

FONTE: Offshore Windenergy Europe

Tripod

Possui uma grande base, proposta de uso em águas profundas. Profundidades maiores que a monopile. Não há experiência com turbinas offshore, somente a concepção.

Figura 8



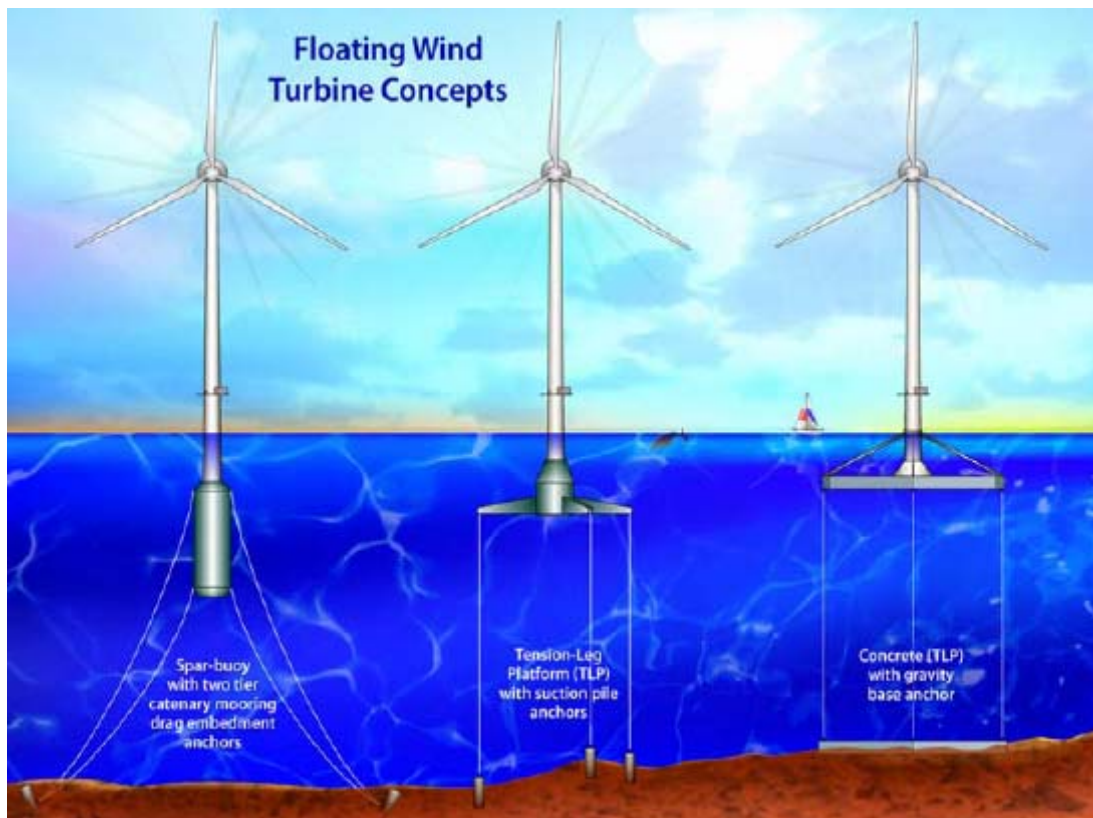
FONTE: Offshore Windenergy Europe

Tripod/Truss Foundation

Flutuante

A turbina é ligada ao fundo do mar através de cabos. Proposta de uso em águas muito profundas. Não há experiência com turbinas offshore, somente a concepção.

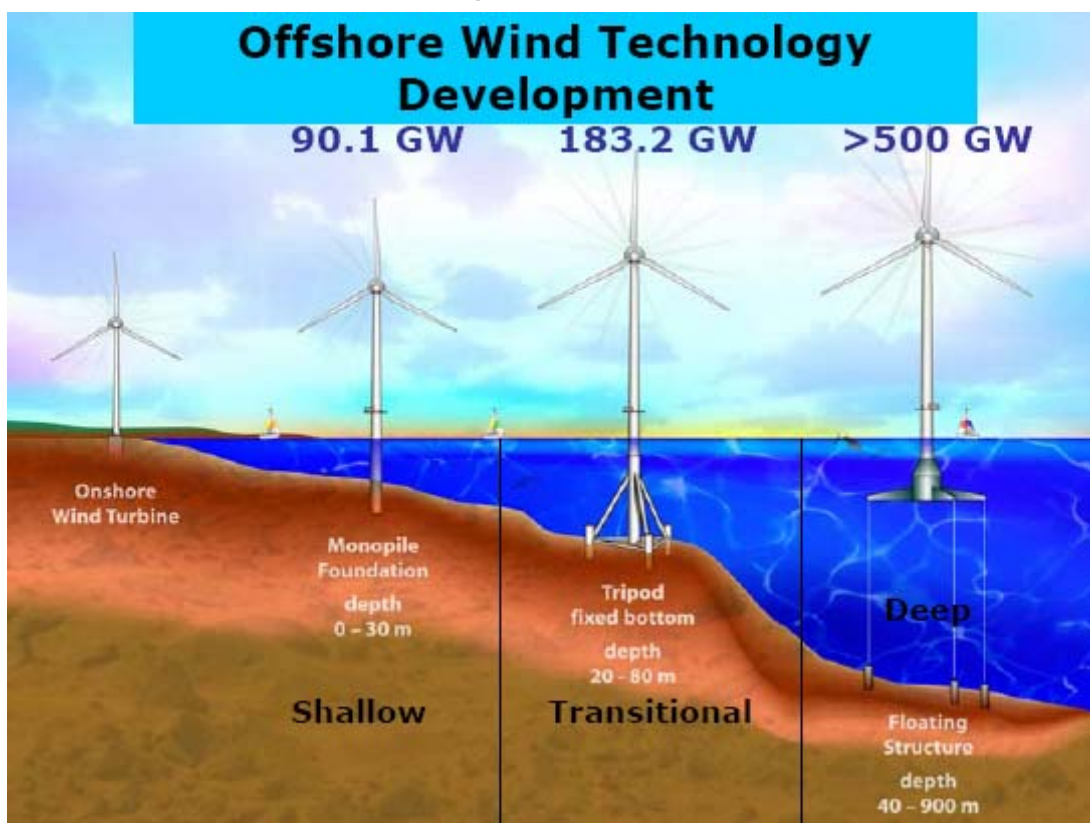
Figura 9



FONTE: EERE. Walt Musial. < www.eere.energy.gov >.

A figura 10 mostra os tipos de sustentação com suas respectivas profundidades, como também, o aumento da energia disponível, à medida que se afasta da costa, captando energia em águas mais profundas. A figura refere-se ao potencial offshore dos Estados Unidos.

Figura 10



FONTE: EERE. Walt Musial. < www.eere.energy.gov >.

3. Condições dos ventos nos oceanos

A superfície dos oceanos é muito lisa, e conseqüentemente a sua rugosidade é muito baixa, a rugosidade da superfície dos oceanos pertence à classe 0, a menor classe. A baixa rugosidade implicará em uma menor força de cisalhamento entre o vento e a superfície, resultando em uma maior velocidade do vento. A turbulência nos oceanos também é baixa, devido principalmente à pequena variação de temperatura entre as diferentes altitudes a partir da superfície dos oceanos (menor fluxo de calor turbulento¹), e a quase inexistência de obstáculos. A baixa turbulência irá resultar em ventos mais estáveis.

¹ O fluxo de calor turbulento é resultante das flutuações de temperatura e velocidade, na direção vertical. Na convecção livre, tanto a flutuação de temperatura quanto a de velocidade, dependem do gradiente de temperatura na direção vertical, assim um maior gradiente de temperatura, corresponderá a uma maior flutuação de temperatura e velocidade.

Assim, as condições dos ventos nos oceanos são muito favoráveis, sendo mais velozes e estáveis do que na terra.

4. Vantagens da Captação Offshore

A captação offshore, devido as suas características e condições, apresenta certas vantagens, das quais podemos destacar :

- **Melhor condição dos ventos**
Ventos mais velozes e estáveis
- **Menor impacto visual e sonoro**
Por estarem localizadas longe da costa, o impacto visual e sonoro que turbinas poderiam trazer, é reduzido consideravelmente.
- **Menor risco de falha por fadiga**
Devido à menor turbulência, as turbinas estão sujeitas a uma menor flutuação de esforços².
- **Vasta disponibilidade, e podendo ser aproveitada em grandes áreas**
- **Menor restrição ao tamanho das turbinas, podendo usar turbinas de grandes dimensões**
- **Possibilidade de instalação próxima aos grandes centros consumidores**
- **Baixo impacto ambiental**

5. Considerações a serem feitas antes da instalação

Para que um sistema offshore seja bem sucedido, determinadas considerações devem ser feitas, das quais se pode citar :

- **Verificar se haverá algum impacto a ecossistemas marinhos**
- **Rota de aves migratórias**

² A falha por fadiga ocorre, quando os materiais estão sujeitos a esforços repetitivos, mesmo que estes sejam menores que a carga máxima suportada pelo material. Todas as turbinas trabalham sob a ação de esforços repetitivos, em virtude da ação constante dos ventos sobre as mesmas, mas a amplitude ou flutuação dos esforços acelera a tendência de falha por fadiga.

- **Rota de navios e aviões**
- **Profundidade do mar**
- **Condições geológicas do fundo do mar**
- **Condições do clima, ventos e mar, no local de instalação.**
- **Atividade pesqueira**
- **Integração com rede elétrica**

6. Panorama atual

Atualmente o total offshore instalado no mundo é de aproximadamente 1.000 MW, e está localizado no norte da Europa. A figura 11 mostra o total instalado em 2006 e o percentual de participação dos países que compõem esse total.

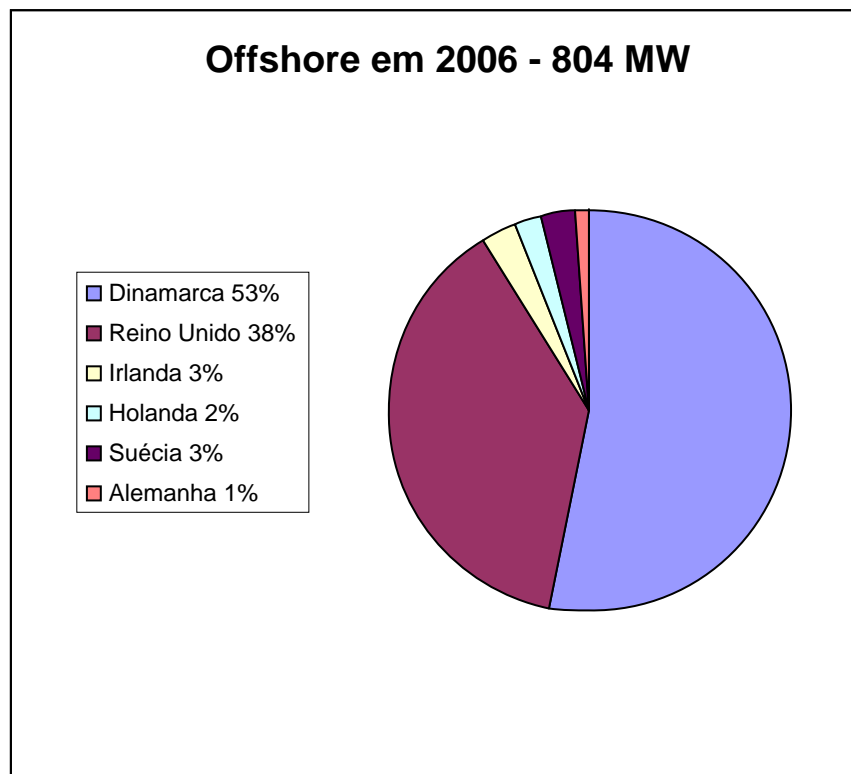


Figura 11

FONTE: EERE. Walt Musial. < www.eere.energy.gov >.

Alguns dos principais parques instalados :

Horns Rev

País : Dinamarca

Capacidade : 160 MW

Distância da costa : 14-20 km

Profundidade : 6-12 m

Tipo de turbina : Vestas V80

Número de turbinas : 80

Nysted

País : Dinamarca

Capacidade : 165 MW

Distância da costa : 10 km

Profundidade : 5 – 9.5 m

Tipo de turbina : Bônus 2.3 MW

Número de turbinas : 72

Barrow-in-Furness

País : Reino Unido

Capacidade : 90 MW

Distância da costa : 7 km

Profundidade : 21 - 23 m

Tipo de turbina : Vestas V90

Número de turbinas : 30

Kentish Flats

País : Reino Unido

Capacidade : 90 MW

Distância da costa : 8.5 km

Profundidade : 5 m

Tipo de turbina : Vestas V90

Número de turbinas : 30

Egmond aan Zee

País : Holanda

Capacidade : 108 MW

Distância da costa : 10 km

Profundidade : 19 – 22 m

Tipo de turbina : Vestas V90

Número de turbinas : 36

Arklow Bank

País : Irlanda

Capacidade : 25 MW (está na primeira fase, quando chegar à fase final terá 520 MW)

Distância da costa : 10 km

Profundidade : 2 - 5 m

Tipo de turbina : GE 3.6sl

Número de turbinas : 200 (7 na primeira fase)

Vale ressaltar que a captação atual é feita em águas rasas, até 25 m. Em geral quanto mais longe da costa, ou seja, em águas mais profundas, maior será a velocidade dos ventos, e consequentemente maior a energia disponível.

7. Custos

Os custos requeridos são mais elevados do que na terra, devido à sustentação das turbinas e à infra-estrutura elétrica. Os custos de operação e manutenção também são mais elevados do que na terra.

A figura abaixo mostra a distribuição dos custos envolvidos para uma instalação offshore.

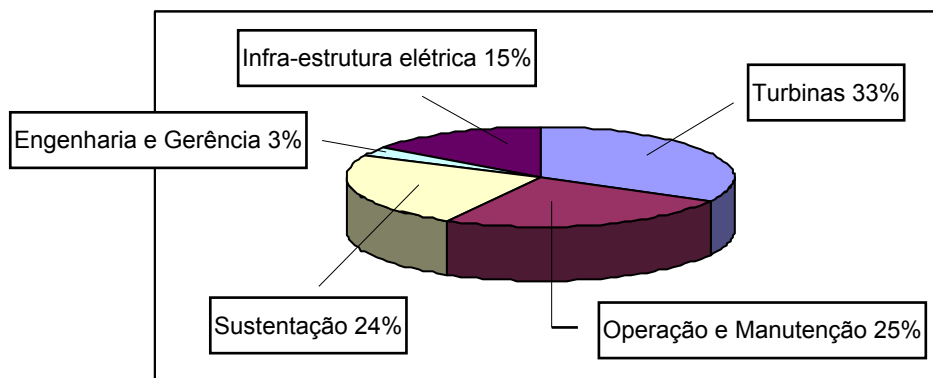


Figura 12

FONTE: EERE. Walt Musial.
< www.eere.energy.gov >.

Custos de algumas instalações :

Horns Rev : 270 milhões de Euros

Barrow-in-Furness : 145 milhões de Euros

Egmond aan Zee : 200 milhões de Euros

Arklow Bank : 630 milhões de Euros

O custo do kWh³ está na faixa de 0.10 \$ (dólar), enquanto que em terra está por volta de 0.04\$. Mas estima-se que o custo do kWh offshore já esteja por volta de 0.05 \$ em 2014 . Esses custos, em alguns casos, podem ser menores do que o de algumas formas tradicionais de geração de energia elétrica, como o carvão e as hidroelétricas. Portanto, o custo do kWh da captação offshore quando comparado com outras formas de geração de energia elétrica, mostra-se competitivo.

8. Perspectivas da Captação offshore

A participação da captação offshore ainda é tímida, mas daqui a alguns anos esse quadro vai mudar, já que para 2010 está previsto que o total instalado passe dos 1.000 MW que está instalado atualmente, para mais de 11.000 MW, e há perspectivas de crescimento até 2030. A figura mostra os países que irão compor o quadro em 2010.

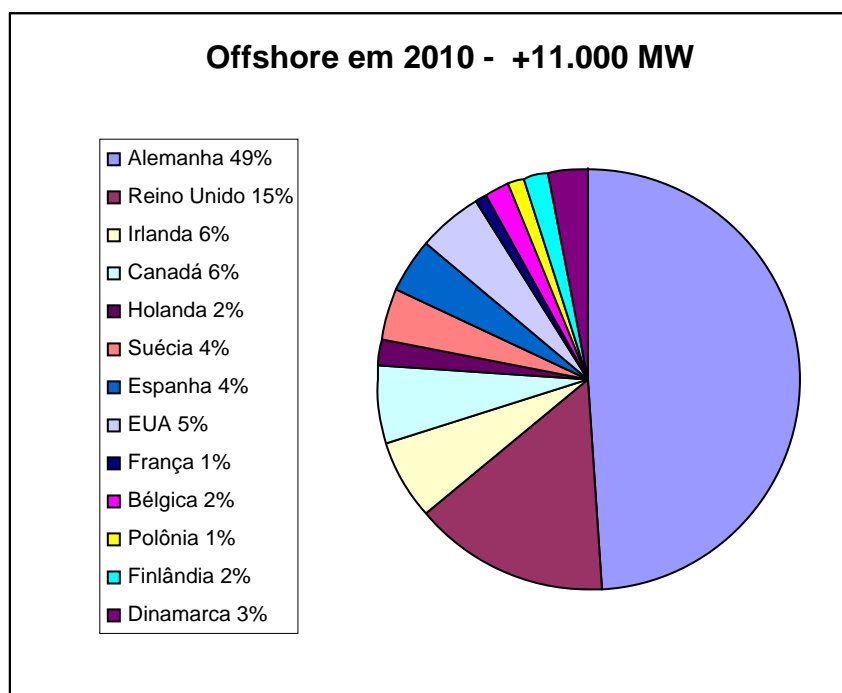


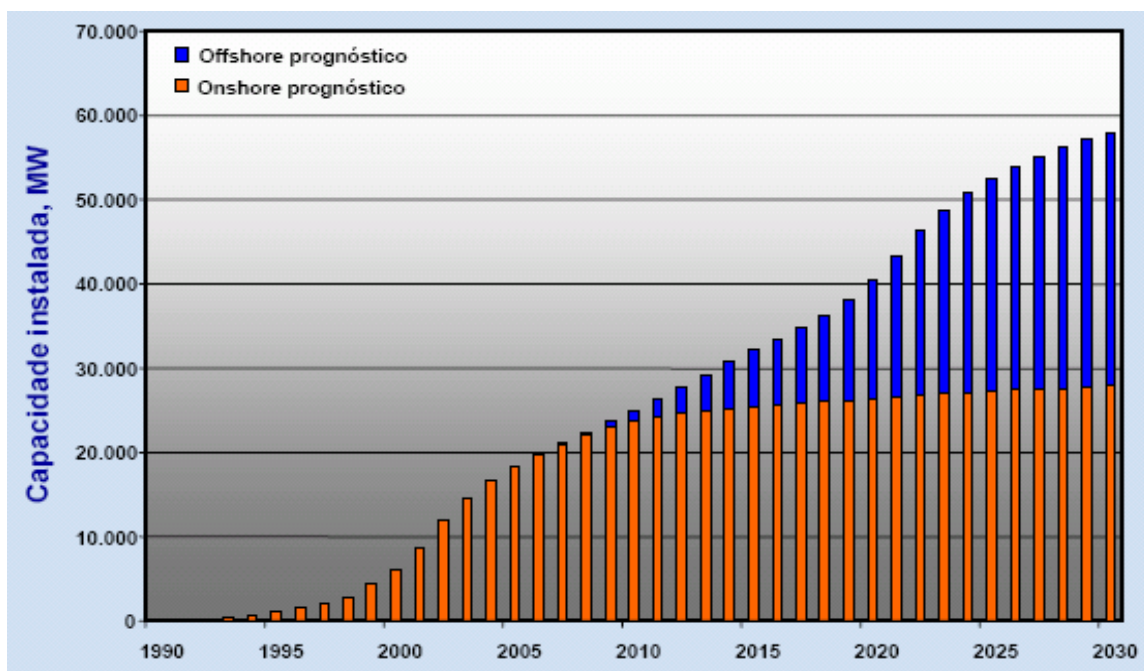
Figura 13

FONTE: EERE. Walt Musial.
< www.eere.energy.gov >.

³ O custo do kWh para uma planta, é estimado, considerando todos os custos envolvidos para a sua instalação, mais os custos de operação e manutenção ao longo de sua vida, e dividindo esse custo total, por toda energia produzida pela planta, durante sua vida.

Perspectivas da Alemanha até 2030 :

Figura 14



FONTE: DEWI .

Alguns fatores contribuirão para o aumento da captação offshore, dos quais podemos destacar :

- A experiência ganha com os projetos iniciais, trará um maior conhecimento na área, resultando em melhores métodos de instalação, operação e manutenção.
- O avanço da tecnologia de sustentação das turbinas possibilitará o assentamento em águas profundas, onde a energia disponível é bem maior.
- O desenvolvimento das turbinas, cujo avanço, resultará em turbinas mais eficientes, com maior capacidade (em torno de 10 MW, a curto prazo) e trabalhando em uma maior faixa de velocidade.

A perspectiva, portanto, é que o custo do kWh da captação offshore continue diminuindo e com isso aumentando o seu uso.

A perspectiva para o Brasil, está a princípio, vinculada ao Proinfa, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica. A meta do Proinfa é gerar 3.300 MW de energia provenientes de fontes alternativas, dos quais 1.423 MW devem ser eólicas.

Não há estudos sobre o potencial eólico offshore do Brasil e nem das possibilidades para sua instalação. Talvez essas sejam as razões por não existir parques offshore no país e de não haver projetos offshore no Proinfa. Mas o Proinfa, por ser um programa de incentivo às energias alternativas, é uma boa oportunidade para mudar essa realidade e incentivar a captação offshore, e posteriormente dar condições para a criação de parques offshore. Porém, na parte eólica o programa tem encontrado dificuldades para atrair empreendedores (os 1.423 MW eram para estar instalados no final de 2006, até agora o programa instalou 208 MW), devido ao fato de haver somente um fabricante de aerogeradores no país, monopolizando o mercado, e da alta taxa de importação dos equipamentos de um sistema eólico. É necessário superar essas dificuldades, atraindo mais fabricantes de aerogeradores para o país e oferecendo maiores incentivos fiscais, pois essas dificuldades não só tem impedido o crescimento eólico em terra, como também impedirão o crescimento de uma possível captação offshore.

A localização dos novos parques continuará a ser na Europa, mas haverá também parques fora da Europa, com destaque para os parques de Cape Wind e Lipa, de 450 MW e 140 MW respectivamente, ambos nos Estados Unidos e também para o parque de Naikun, no Canadá, que inicialmente vai gerar 320 MW, mas na sua fase final irá gerar surpreendentes 1.750 MW.

9. Conclusão

A Captação Offshore produz uma energia limpa, renovável, de grande capacidade e com o custo do kWh cada vez mais competitivo. Além disso, possui uma enorme disponibilidade, para se ter uma idéia, a disponibilidade offshore dos Estados Unidos⁴, é suficiente para suprir a demanda de energia elétrica do país.

Na atual conjuntura, em que se deve produzir energia e ao mesmo tempo preservar o meio ambiente, e tendo em vista que são poucos os países que não são banhados pelo mar, a energia dos ventos oceânicos, definitivamente, não pode deixar de ser considerada.

⁴ Fonte : U. S. Department of Energy – www.energy.gov

REFERÊNCIAS

MASSACHUSETTS TECHNOLOGY COLLABORATIVE. A Framework for Offshore Wind Energy Development in the United States. Disponível em :
www.mtpc.org/renewableenergy/press/pr_9_30_05_wind.htm

MUSIAL, W. Offshore Wind Energy Update – State Summit 2006. Disponível em :
www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/workshops/2006_summit/musial.pdf

MUSIAL, W. Offshore Wind Technology Overview. Disponível em :
www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/workshops/2006_offshore/musial.pdf

BUTTERFIELD, S., RAM, B., MUSIAL, W. U.S Offshore Technology Overview. Disponível em :
www.eere.energy.gov/windandhydro/windpoweringamerica/pdfs/workshops/2007_summit/butterfield.pdf

DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION : www.windpower.org

OFFSHORE WINDENERGY EUROPE : www.offshorewindenergy.org

GE ENERGY : www.gepower.com/businesses/ge_wind_energy/en/index.htm

VESTAS WIND TURBINES :
www.vestas.com/vestas/global/en/Products/Wind_turbines/Wind_turbines.htm

OZISIK, M.N. Transferência de calor, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1990.

SOUZA, S.A. Ensaios mecânicos de materiais metálicos, 5ª ed. São Paulo : Edgard Blucher, 1987.