

ROBERTO HIROYUKI MURAYAMA

ESTUDO, ANÁLISE E EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA.

Guaratinguetá
2012

ROBERTO HIROYUKI MURAYAMA

ESTUDO, ANÁLISE E EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

Guaratinguetá
2012

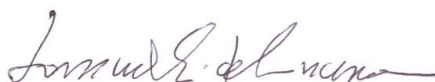
M972e	Murayama, Roberto Hiroyuki Estudo, análise e exemplo de aplicação de geração eólica / Roberto Hiroyuki Murayama – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 60 f : il. Bibliografia: f. 58-60 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientadora: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga 1. Energia eólica I. Título CDU 620.91
-------	---

ESTUDO, ANÁLISE E EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE GERAÇÃO EÓLICA

ROBERTO HIROYUKI MURAYAMA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Prof. Dr. SAMUEL EUZÉDICE DE LUCENA
Coordenador

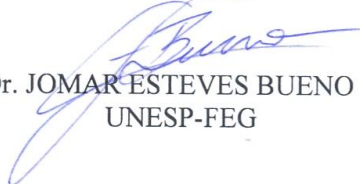
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
UNESP-FEG



Prof. Dr. JOMAR ESTEVES BUENO
UNESP-FEG

Setembro de 2012

DADOS CURRICULARES

ROBERTO HIROYUKI MURAYAMA

NASCIMENTO	05.12.1984 – GUARULHOS / SP
FILIAÇÃO	Ioshio Murayama Yukiko Nakashima Murayama
2005/2012	Curso de Graduação Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia campus Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por tudo.

aos meus pais e meu irmão que sempre me incentivaram aos estudos

a minha esposa Mariana que sempre me compreendeu e me apoiou em todos os momentos e a minha filha Júlia que me serve de inspiração.

a todos meus amigos que me apoiaram e acompanharam durante a graduação

a Alexandre Lisboa que contribuiu com o desenvolvimento do trabalho

ao meu orientador, *Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga* que sempre me incentivou, sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

“A vida é uma peça de teatro que não permite ensaios.
Por isso, cante, chore, dance, ria e viva intensamente,
antes que a cortina se feche e a peça termine sem
aplausos.”

Charles Chaplin

MURAYAMA, R. H. **Estudo, análise e exemplo de aplicação de geração eólica.** 2012. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

RESUMO

O crescimento econômico do Brasil faz prever a necessidade de implantação de novas fontes de energia elétrica que garantam a continuidade deste crescimento e da crescente melhoria de vida da população brasileira. Até o presente momento, este atendimento previa e prevê, a construção de grandes usinas hidrelétricas, principalmente na região amazônica, onde o impacto ambiental tem dificultado ou, como no caso da Usina de Belo Monte, inviabilizado até agora, a implantação destes projetos. Neste trabalho é realizado um estudo de caso que demonstra um exemplo de aplicação de energia eólica através de uma avaliação dos recursos eólicos em um local no nordeste brasileiro para a implementação de uma usina eólica.

PALAVRAS-CHAVE: Energia eólica. Geração de energia. Energias renováveis.

MURAYAMA, R. H. **Study, analisys and an example of application from wind generation.** 2012. Graduate Work (Graduation in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

ABSTRACT

Brazil economic growth has to predict the need for implementation of new energy sources to ensure the continuity of the economic growth and improvement of life of the brazilian population. Until this moment, this assistance included the construction of large hydroelectric plants, mainly in the amazon region, where the environmental impact is difficult or, as in the case of the Belo Monte made this impossible so far, the implementation of these projects. In this work is conducted a study that demonstrates an example of application of wind energy, through an assessment of wind resources in the brazilian Northeast for the implementation of a wind farm.

KEYWORDS: Wind energy. Energy generation. Renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais marcos do desenvolvimento da Energia Eólica	18
Figura 2 – Moinho de vento Holandês	19
Figura 3 – Aero gerador Jacobs	21
Figura 4 – Turbina de Brush.....	22
Figura 5 – Turbina Balaclava	23
Figura 6 – Aero gerador Smith-Putnam	24
Figura 7 – Aero gerador da Ilha de Gedser	26
Figura 8 – Modelo do aero gerador de Darrieus.....	28
Figura 9 – Turbina eólica Mod-5B no Hawaii	29
Figura 10 – Capacidade eólica mundial instalada no anos de 1996 à 2010	31
Figura 11 – Capacidade eólica anual instalada.....	31
Figura 12 – Capacidade eólica mundial instalada por regiões	32
Figura 13 – Composição do custo de implantação de um parque eólico	41
Figura 14 – Metodologia de implementação de um parque eólico.....	44
Figura 15 – Modelo da Turbina Clipper Liberty 2,5 MW.....	45
Figura 16 – Mapa do contorno do território do projeto B	47
Figura 17 – Cisalhamento vertical na cidade B medido pela torre do projeto M.....	49
Figura 18 – Cisalhamento mensal através do tempo em B.....	50
Figura 19 – Velocidade média do vento mensal a um nível de 30 m de B	51
Figura 20 – Velocidade media do vento diurno a um nível de 30 m em B	52
Figura 21 – Distribuição de frequência da velocidade do vento em B a 30 m.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade eólica mundial instalada por países.....	33
Tabela 2 – Capacidade eólica total instalada na China	34
Tabela 3 – Capacidade eólica total instalada nos Estados Unidos da América.....	36
Tabela 4 – Capacidade eólica total instalada na Alemanha	38
Tabela 5 – Capacidade eólica total instalada no Brasil	40
Tabela 6 – Sumario da produção das 10 turbinas Clipper Liberty em B.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
AIE	– Agencia Internacional de Energia
BNDES	– Banco Nacional do Desenvolvimento
CONAMA	– Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRESESB	– Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DOE	– Department of Energy
EPE	– Empresa de Pesquisa Energética
GWEC	– Global Wind Energy Council
IBAMA	– Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MME	– Ministério de Minas e Energia
NASA	– National Aeronautics and Space Administration
OCDE	– Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OPEP	– Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PROEÓLICA	– Programa Emergencial de Energia Eólica
PROINFA	– Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
WWEA	– World Wind Energy Association

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	O que é a energia eólica	15
2	HISTÓRICO DA ENERGIA EÓLICA.....	17
2.1	Evolução da tecnologia dos aerogeradores de pequeno porte	19
2.2	Evolução da tecnologia dos aerogeradores de grande porte	21
2.3	Investimentos na energia eólica na década de setenta	26
2.4	A evolução comercial de turbinas eólicas de grande porte.....	30
3	ESTADO DA ARTE DA GERAÇÃO EÓLICA.....	31
3.1	A energia eólica no mundo	31
3.1.1	Países com maior produção de energia eólica.....	34
3.1.1.1	China.....	34
3.1.1.2	EUA.....	35
3.1.1.3	Alemanha	36
3.2	A Energia eólica no Brasil	38
4	PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO	41
4.1	Investimentos	41
4.2	Preços e custos	42
4.3	Local de implantação do parque eólico	43
5	ESTUDO DE CASO	45
5.1	O Sítio	46
5.2	Medidas de vento	47
5.3	Análise dos dados e características do vento	48
5.4	Cisalhamento vertical.....	48
5.5	Média diurna e velocidade eólica sazonal	50
5.6	Distribuição de frequência da velocidade do vento	52
5.7	Estimativa da velocidade do vento a longo prazo.....	53
5.8	Estimativa da energia.....	54
6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	56

REFERÊNCIAS	58
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA... ..	60

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como foco principal demonstrar a importância da utilização da energia eólica para contribuir com a complementação da matriz de energia elétrica no país no momento atual, através de um estudo de caso que exemplifica o procedimento a ser utilizado num projeto de aproveitamento eólico.

Atualmente a busca por uma melhor qualidade de vida está ligada com o aumento do consumo de energia elétrica, e este aumento da demanda de energia traz preocupações para o planejamento e a política energética dos países em desenvolvimento. A segurança no suprimento de energia elétrica necessária para o atendimento da demanda, desenvolvimento social e econômico e os impactos ambientais negativos podem ser citadas como uma dessas preocupações enfrentadas pelo mundo (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008).

Segundo o relatório da GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC, 2010), no Brasil, a energia eólica tem feito grande progresso por ser um país com muitas áreas que possuem um enorme potencial eólico, combinado com o crescimento da demanda de energia elétrica e uma sólida infraestrutura industrial. No final do ano de 2009, havia um total instalado de 606 MW provenientes da geração eólica no Brasil, e no fim de 2010, havia 931 MW disponíveis na matriz energética brasileira.

1.1 O que é a energia eólica

A energia eólica é a energia gerada através dos ventos. O vento nada mais é que o deslocamento das massas de ar, causado por diferença de pressão na atmosfera, que se dá pelo aquecimento solar, pois a circulação de ar é determinada por parâmetros relacionados à Terra, tais como seu formato e os movimentos de rotação e translação (DUARTE, 2004).

Os raios solares incidem sobre a superfície terrestre com diferentes inclinações, ou seja, na região tropical do planeta Terra os raios solares incidem praticamente perpendiculares à superfície, já nas regiões polares do planeta a incidência dos mesmos se dá de maneira inclinada. Portanto temos como consequência, uma diferença da quantidade de calor que chega à superfície terrestre, fazendo com que as regiões próximas à linha equatorial sejam mais quentes do que as regiões mais afastadas, com isso tem-se o deslocamento das massas de ar devido a diferença de temperatura entre as regiões terrestres (DAHER, 1997).

Fora o fato de ter uma fonte inesgotável para sua geração e que não possui custos para sua obtenção, reduz a emissão de dióxido de carbono (CO₂) que contribui para o efeito estufa, e também diminui a utilização de combustíveis fósseis. As vantagens que podem ser citadas são, as que o local de implementação de parques eólicos pode ser compartilhado com atividades produtivas tais como, a agricultura e a criação de gado, gera empregos para a comunidade, traz desenvolvimento e investimento para o local, os aerogeradores exigem pouca manutenção, traz uma boa rentabilidade para os promotores de geração de energia eólica.

A geração eólica está crescendo no país e no mundo e o avanço tecnológico esta contribuindo para a sua utilização.

No capítulo 2 é apresentado um histórico da energia eólica, desde a sua origem até a atualidade.

O capítulo 3 mostra o estado atual da geração eólica no Brasil e em outros países que produzem grandes quantidades de energia eólica

A seguir no capítulo 4, são discutidos procedimentos que devem ser levados em consideração ao se planejar a implantação de um parque eólico, tais como, análise do sítio e infraestrutura a ser utilizada.

No capítulo 5 é demonstrado um estudo de caso, onde é avaliada uma região no nordeste brasileiro para implantação de uma usina eólica.

E finalmente no capítulo 6 as conclusões demonstram que a utilização deste recurso pode contribuir com atendimento à demanda futura.

2 HISTÓRICO DA ENERGIA EÓLICA

Este capítulo abrange um pouco da história da evolução da energia eólica que vem acompanhando o homem desde a antiguidade.

De acordo com Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRECESB), o homem cada vez necessitava de ferramentas no auxílio do desenvolvimento de trabalhos relacionados à agricultura. Trabalhos que exigiam muitos esforços físicos, tanto humanos, quanto animal, levando a utilização de estruturas similares a moinhos de vento, primitivos, mas que auxiliaram na realização de trabalhos como moagem de grãos e bombeamento de água. Estes moinhos, primeiramente constavam de um eixo vertical com uma longa haste presa, movimentado por animais, ou o próprio homem caminhando em círculos, em uma espécie de gaiola. Do mesmo modo havia uma estrutura semelhante à primeira, mas com um eixo horizontal com uma gaiola cilíndrica movimentada por animais ou também pelo próprio homem.

Com o passar do tempo, foram utilizados cursos d'água como força motriz. No caso, as rodas d'água, que podem ser tidas como protótipo dos moinhos de vento. E assim veio a percepção de que o vento poderia ser utilizado nestas estruturas também como força motriz, pois de certa forma, não havia a disponibilidade de rios em todos os lugares e esse tipo de percepção auxiliou muito o homem para realizar as atividades demandantes na área agrícola (DUTRA, 2001).

Muitos povos da antiguidade utilizavam sistemas que se pareciam com moinhos de vento. Existem na Pérsia, registros fixos da utilização do moinho movidos a vento para a realização de serviços como moagem de grãos e bombeamento da água em, aproximadamente 200 a.C. Um importante fato a ser levantado, neste aspecto, foi à substituição de força motriz animal e a humana para a realização de serviços básicos necessários para as atividades agrícolas (DUTRA, 2001).

A grande utilização dos cata-ventos se deu na Europa, no período pós-Cruzadas até o século XII, onde países como Holanda, Inglaterra, entre outros, começariam a utilizar-se de moinhos com eixo horizontal e assim foi se disseminando pela Europa. Durante a Idade Média, os senhores feudais impunham a seus camponeses a utilização dos próprios moinhos de vento e proibiam a plantação de árvores próximas ao moinho para que o vento tivesse “livre passagem”. Com este avanço a Holanda foi um dos primeiros países a se beneficiar dos moinhos de vento, onde foram implantados em grande escala para a drenagem de água, de algumas regiões cobertas por água. Desde então no período do século XVII ao XIX, os

moinhos foram utilizados em muitas outras atividades que desde a produção de óleos vegetais, serviços de serrarias para a realização de serviços com madeira e também o auxílio de fabricação de papel, entre outras atividades, conforme indicado na Figura 1.



Figura 1 - Principal marcos do desenvolvimento da Energia Eólica no período do Século XI ao Século XIX (Fonte: Dutra, 2001).

Com o advento da Revolução Industrial, muitas tecnologias inovadoras auxiliaram o homem a desenvolver suas atividades. Uma destas tecnologias foi à criação de maquinários mais eficientes que os moinhos de vento os quais inovaram ainda mais no desenvolvimento das máquinas existentes. Os motores à combustão e as máquinas a vapor, por exemplo, tomaram o lugar dos moinhos e isso foi gerando uma preocupação em relação à existência dos mesmos, que tiveram uma queda na sua utilização exponencialmente, chegando a ter aproximadamente menos de 1000 unidades em atividade, na década de 60 (DUTRA, 2001).

A Holanda preocupada com a extinção, e o declínio da utilização da energia eólica, tomou uma iniciativa para que ainda fosse utilizado este tipo de tecnologia e também propôs melhorias em relação ao sistema de geração de energia eólica. A Figura 2 mostra um moinho de vento holandês que eram utilizados na execução de serviços como drenagem de água.

As estruturas conhecidas como cata-ventos foram desenvolvidas em muitos países e tinham sua estrutura de metal em conjunto com um sistema de bombas e suas múltiplas pás que proporcionavam a captação do vento para a realização de tarefas como bombeamento de água e atividades relacionadas à agricultura, pelo fato de serem facilmente manuseadas e uma manutenção simples de ser realizada. Visto que ainda são amplamente utilizadas nos dias de hoje para bombeamento de água.



Figura 2 – Moinho de vento Holandês (Fonte: CRECESB)

2.1 Evolução da tecnologia dos aerogeradores de pequeno porte

A utilização da energia eólica foi-se cada vez mais diminuindo com o avanço tecnológico de equipamentos e maquinários desenvolvidos durante a Revolução Industrial. O combustível fóssil ganhava um lugar de destaque neste novo cenário econômico que tinha os motores de combustão como força motriz desta época. O petróleo, que provém do latim *petra* (pedra) e *oleum* (óleo) e que é uma substância inflamável e em seu estado líquido é oleoso e menos denso que a água (PERES, 2009), foi alterando a visão que a sociedade tinha na geração de energia, pelo fato de haverem sido descobertas grandes reservas naturais deste combustível.

A descoberta do petróleo trouxe também a utilização de energia elétrica, que teve uma propagação extremamente rápida, pelos grandes centros consumidores, pois propunha à sociedade, mais conforto e melhores condições de vida à população. Não só o combustível fóssil, mas a utilização de rios e cursos d'água foi de grande auxílio a geração de energia elétrica (DUTRA, 2001).

Países que não dispunham desses recursos naturais que permitiam o uso de energia elétrica, tiveram que continuar com a utilização da energia eólica e desenvolver melhores tecnologias para a geração de energia elétrica. Caso da Dinamarca que investiu na criação e desenvolvimento de aerogeradores, que são dispositivos que geram energia elétrica através de energia eólica. Um grande desenvolvimento para a época, pois os aerogeradores existentes conseguiam prover uma potência de 5 kW a 25 kW. Mas com o início da Segunda Guerra Mundial, o número de aerogeradores foi diminuindo, pelo fato de que a tecnologia que envolvia a geração de energia elétrica através de combustíveis fósseis foi se desenvolvendo muito rápido, tanto para a captação como para a própria utilização de petróleo e carvão (DUTRA, 2001).

Rússia e Estados Unidos, em uma tentativa de expansão territorial, utilizavam-se de aerogeradores como uma opção para suprir a falta de recursos elétricos em regiões que não se dispunham deste, por serem de difícil acesso ou isoladas. Esta busca incentivou a inovação tecnológica destes dispositivos, que eram formados por duas ou três pás, geralmente do tipo hélice. O funcionamento se dava com a hélice movendo um gerador de corrente contínua através de uma caixa de multiplicação, a energia era armazenada em baterias devido às variações dos regimes dos ventos (DUTRA, 2001).

A Figura 3 ilustra um sistema que utiliza energia eólica de carga de baterias, que foi bastante utilizado nas décadas de trinta a sessenta, para a utilização domiciliar nos Estados Unidos e em outros países. O sistema de Jacobs garantia uma alta confiabilidade em situações que incluíam desde ventos fortes até tempestades. A produção dos aerogeradores de Jacobs sofreu uma grande queda, devido ao fornecimento de energia mais barata para as fazendas e residências rurais.

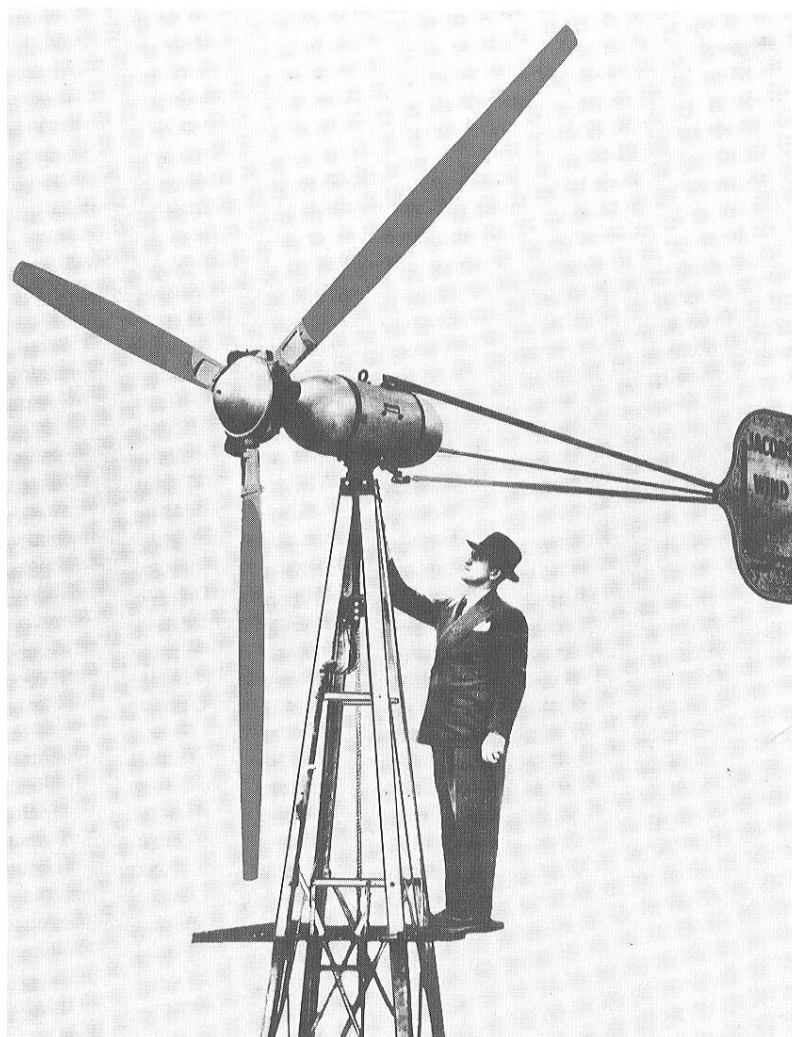


Figura 3 – Aero gerador Jacobs (Fonte: DUTRA, 2001)

2.2 Evolução da tecnologia dos aero geradores de grande porte

Em 1888, final do século XIX, Charles Francis Brush, inventor de um sistema que foi um marco para o avanço de captação dos ventos para a geração de energia elétrica, tentaria uma ação mais ousada em relação a utilização de aerogeradores, que aconteceu na Região Centro-Oeste dos Estados Unidos, mais precisamente no estado de Ohio em Cleveland. Foi levantado o primeiro cata-vento, conforme indicado na Figura 4, destinado a geração de energia elétrica o qual fornecia uma potência de 12 kW em corrente contínua para carregar baterias que forneciam energia para uma carga de aproximadamente 350 lâmpadas incandescentes (DUTRA, 2001).

Brush em seu invento apresentou importantes aspectos para as inovações no uso da energia eólica para geração de energia elétrica. Um destes importantes aspectos em questão deu-se devido à altura utilizada pelo invento que estava dentro dos modelos de moinhos de

ventos utilizados anteriormente para a realização de outras atividades como a moagem de grãos e bombeamento d'água. Há também o aspecto de que, um novo mecanismo que possibilitava o maior aproveitamento do dínamo, no qual um fator de multiplicação da rotação das pás (50:1) era utilizado em dois estágios, pois normalmente as rotações das pás giravam em torno de 500 rpm. E por último, outro fato a ser levantado em relação ao invento de Brush, que foi a primeira tentativa e além de ser a mais ambiciosa de uma combinação da aerodinâmica e a estrutura dos moinhos de vento com as tecnologias atreladas às inovações na produção de energia elétrica (DUTRA, 2001).

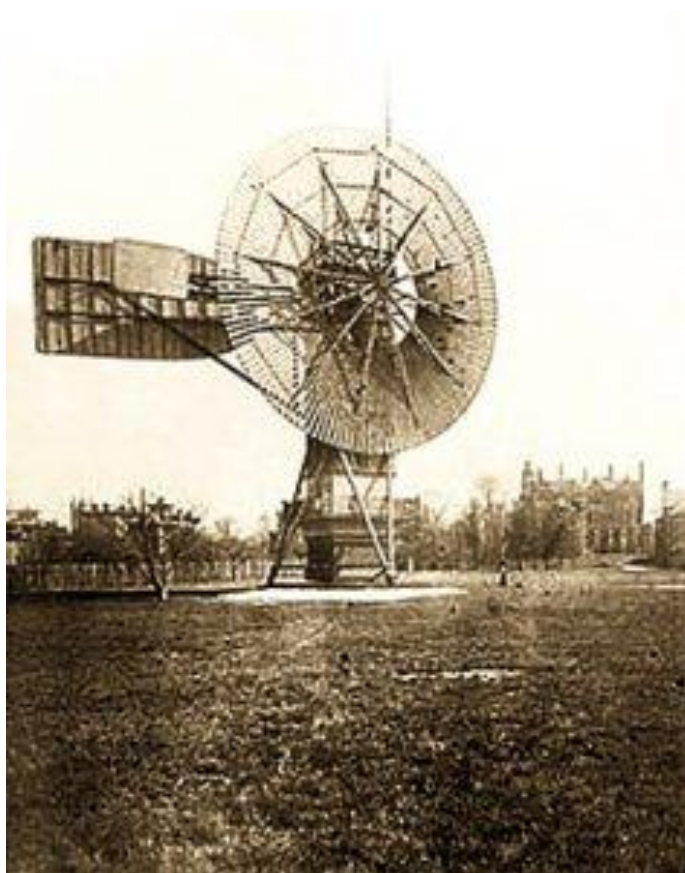


Figura 4 – Turbina de Brush, com uma potencia de 12kW, operou entre 1888 a 1908
(Fonte: Revista Fapesp, 2007).

Segundo Dutra (2001), outro importante marco para o desenvolvimento de turbinas eólicas de grande porte para aplicações elétricas aconteceu em 1931, na Rússia. Chamado de Balaclava, como mostra a Figura 5, este modelo de aero gerador, muito avançado na época, possibilitava a geração de 100 kW conectado, por uma linha de transmissão de 6,3 kV de 30 km, a uma usina termelétrica de 20 MW. Sendo considerada uma das primeiras tentativas bem sucedidas de se conectar um aero gerador com corrente alternada a uma usina termelétrica.

Para o caso do Balaclava, a energia medida foi de 280.000 kWh.ano, o que significa um fator médio de utilização de 32%. A estrutura do sistema se dava da seguinte forma, a uma altura de 30 metros, no alto da torre, encontravam-se o gerador e o sistema de controle, e a rotação era controlada pela variação do ângulo de passo das pás. Tal controle da posição era feito através de uma estrutura em treliças inclinada apoiada sobre um vagão em uma pista circular de trilhos (DUTRA, 2001).



Figura 5 – Turbina Balaclava com uma potência de 100 kW em 1931 (Fonte: Dutra, 2001).

Conforme DUTRA (2001) muitos outros modelos vieram após o Balaclava, com aspectos mais agressivos, não só estruturalmente, mas também com potências mais ambiciosas que iam de 1 MW a 5 MW. Aparentemente esses projetos não obtiveram êxito ou não foram concluídos por terem sido abandonados devido a forte concorrência de outras tecnologias, principalmente a tecnologia de combustíveis fósseis que na época era mais viável, devido à descoberta de novas reservas naturais, o que diminuía a chance de competição com as tecnologias envolvendo a geração de energia elétrica através da energia eólica.

Com a vinda da Segunda Guerra Mundial (1939-1945) a contribuição para a evolução dos aero geradores de médio e grande porte aumentou, devido a este pensamento. O aero gerador Smith-Putnam que possuía uma torre com 33,5 m de altura e um diâmetro de 53,3 m e duas pás de aço com 16 toneladas, como mostra a Figura 6. Este modelo apresentava uma rotação de 28 rpm, e conectado diretamente à rede elétrica, portanto funcionava com corrente alternada (DUTRA, 2001).



Figura 6 – Aerogerador Smith-Putnam, com geração da ordem de grandeza de MW (Fonte: Dutra, 2001).

De maneira geral, no período posterior a Segunda Guerra Mundial, os combustíveis fósseis, no caso o petróleo e as grandes usinas hidrelétricas se tornaram extremamente viáveis financeiramente, e os aerogeradores foram desenvolvidos apenas para fins de análise e estudos, também para o aperfeiçoamento da infraestrutura dos próprios aerogeradores, utilizando vários tipos de técnicas aeronáuticas para o desenvolvimento de pás (DUTRA, 2001).

Com isso muitos países europeus começaram a investir ainda mais no estudo relacionado à geração de energia através dos ventos. A Inglaterra que durante a década de cinquenta, promoveu um grande estudo anemométrico em 100 localidades das Ilhas Britânicas. Em 1955, foi instalado um aero gerador experimental de 100 kW em Cape Costa, Ilhas Orkney (DUTRA, 2001).

No início da 2ª Guerra Mundial, outro país europeu, a Dinamarca apresentou uma significativa tendência para o desenvolvimento de tecnologias envolvendo a utilização da energia eólica em toda Europa. Este avanço contou com o empenho de dois cientistas dinamarqueses Poul LaCour e Johannes Juul (DUTRA, 2001).

Por ser um país carente em fontes energéticas naturais, a busca por outras fontes de energia alternativas tais como a utilização da energia eólica foi de grande importância quando, no período entre as duas grandes guerras mundiais, o consumo de combustível fóssil estava sendo controlado. Devido a esta escassez de fontes de energias naturais, uma grande companhia se destacou durante a 2ª Guerra Mundial. A F.L.Smith (F.L.S) a qual foi pioneira no desenvolvimento de uma série de aerogeradores da classe de pequeno porte, que se encontravam aproximadamente na faixa de 45 kW. Durante este período, a energia que provinha dos ventos na Dinamarca, beirava um valor aproximado de quatro milhões de quilowatt-hora anuais, devido a grande utilização dessas turbinas em todo o país.

Um grande projeto foi realizado graças à grande utilização dos aerogeradores da F.L.S, que operavam ainda em corrente contínua. O aerogerador, mostrado na Figura 7, foi projetado por Johannes Juul, em 1956 e 1957, com três pás, um rotor de 24 m de diâmetro, sustentado por uma torre de concreto e gerava em torno de 200 kW instalado na ilha de Gedser. A novidade que este sistema trazia era que o fornecimento de energia agora era em corrente alternada, quando foi atingido um fator de capacidade de 20% no período entre 1958 até 1967 (DUTRA, 2001).

A Alemanha investiu muito na construção de outros aerogeradores que possuíam a mais alta tecnologia na época. Baseado no desenvolvimento e nos avanços tecnológicos dos modelos alemães, os modelos atuais tem como base para o desenvolvimento e operação, que persistem até hoje, demonstrando o seu sucesso. Estes aerogeradores, com uma potência de 100 kW operando com ventos de 8 m/s, possuíam um diâmetro de 34 metros e sua composição era formada por um rotor leve em materiais compostos que diminuía os desgastes causados pelos esforços nos rolamentos. Mas os modelos, devido a escassez de investimentos financeiros, foram desmontados e o projeto não teve continuidade.



Figura 7 – Aero gerador da Ilha de Gedser, com uma geração de 200 kW (Fonte: www.windpower.dk).

2.3 Investimentos na energia eólica na década de setenta

Os baixos preços dos combustíveis fósseis nesta época causaram um abandono nos projetos de geração eólica anteriores à década de setenta. Buscava-se também a possibilidade de que a energia nuclear pudesse vir a ser uma nova fonte de energia elétrica.

Houve uma crise econômica mundial, em 1973, devido aos sucessivos aumentos do preço do petróleo. O aumento se deu em primeiro momento de um barril que custava US\$ 1,77 em 1972, para US\$ 11,65 em novembro de 1973, que se manteve por um tempo relativo de aproximadamente cinco anos. Novamente, no fim de 1979, ocorria um novo aumento no valor do barril que chegaria a valores maiores a US\$ 35,00 (DUTRA, 2001).

Estes sucessivos aumentos fizeram com que os países importadores pertencentes a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) reagissem com

rapidez à situação. Criada em 1974, a Agência Internacional de Energia (AIE), propôs aos países membros da OCDE propostas que reduzissem a utilização do petróleo da OPEP em seus abastecimentos energéticos. Foram propostas três medidas gerais, para tentar uma possível solução em relação aos sucessivos aumentos do valor do petróleo (DUTRA, 2001).

As medidas eram aumentar fornecedores para a importação de petróleo, utilização de outras fontes de energia e o consumo consciente da energia elétrica, ou seja, a racionalização da mesma. Os aerogeradores que tinham apenas uso acadêmico, sem interesse comercial, ganharam nova força no cenário causado pelos sucessivos choques do preço do petróleo, com isso o investimento na geração de energia eólica foi retomado com vigor. Novas pesquisas e investimentos foram realizados nesta época e faziam referencia ao uso de aerogeradores conectados as redes elétricas operadas por usinas termelétricas. Devido a elevação de preço do petróleo, o custo da energia gerada em usinas termelétricas era justificada economicamente, e isso fez com que a sociedade visse a geração de energia eólica como um investimento que deveria ser retomado o mais rápido possível.

Muitos países como Estados Unidos, Alemanha e Suécia retomaram a iniciativa de investir nas pesquisas de novos modelos, na década de setenta. Os Estados Unidos iniciaram suas pesquisas com dois modelos, tanto o de eixo horizontal e também com modelos de eixo vertical. Devido ao crescimento de mercado de aerogeradores de pequeno porte, iniciaram-se novos projetos utilizando modelos de grande porte (DUTRA, 2001).

G.J.M. Darrieus, patenteou em 1925, na França, um modelo de pás-curvas para aerogeradores de eixo vertical, que foi aperfeiçoado na década de sessenta por Peter South e Raj Rangi, ambos eram membros *do National Research Council* do Canadá. A Figura 8 mostra o modelo desenvolvido por Darrieus.

No início da década de setenta, alguns pesquisadores do *Lewis Research Center*, que é um órgão diretamente ligado ao *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), realizaram pesquisas para medir quantitativamente o vento em Porto Rico e descobriram excelentes locais que favorecem a geração de energia eólica. Esta iniciativa realizada por mais quinze anos, foram um marco em energia eólica (DUTRA, 2001).



Figura 8 – Modelo do aero gerador de Darrieus (Fonte: <http://energiadosventos.blogspot.com.br>).

Em 1975, um projeto denominado Mod-0 foi uma das primeiras atividades realizadas pelo Programa Federal de Energia Eólica através da união de forças entre o *Department of Energy* (DOE) e da NASA (DUTRA, 2001).

O Mod-0, tratava-se de um projeto experimental de eixo horizontal que gerava cerca de 100 kW de potência nominal, com ventos a 8 m/s, constituído por uma torre com 30,5 m de altura e um rotor de 38,1 m de diâmetro.

Outro modelo, o Mod-0A foi construído no ano de 1979, com uma potência de 200 kW e 38,1m de diâmetro. Quatro modelos do Mod-0A foram instaladas e funcionaram até o ano de 1982, totalizando mais de 38 mil horas de operação.

Um dos quatro modelos Mod-0A instalado no Hawaii, mais especificamente na Ilha de Oahu, local onde um excelente fator de 48% de aproveitamento da energia eólica foi alcançado nos últimos meses de operação. Graças a este excelente resultado houve um aumento de interesse no uso de energia eólica na então problemática rede elétrica da *Hawaii Electric Company*.

Visando a utilização de projetos com a ordem de grandeza de mega-watts, em 1979 foi instalado na Carolina do Norte, o projeto Mod-1, o qual um aerogerador de eixo horizontal de

2,0 MW e rotor de duas pás com 61 m de diâmetro fosse utilizado na geração de energia elétrica. A partir deste momento muitos outros projetos foram implementados. Em 1987, os projetos Mod-2 com 2,5 MW de potência e diâmetro de 91,4 m e o Mod-5B, mostrado na Figura 9, com 3,5 MW de potência e diâmetro de 100 m foram implementados no Hawaii em 1987 (DUTRA, 2001).



Figura 9 – Modelo Mod-5B instalada no Hawaii em 1987 da DOE/NASA
(Fonte: www.windsofchange.dk).

O Centro de Pesquisas Langley, da NASA, na década de setenta iniciou pesquisas utilizando o modelo desenvolvido por Darrieus em turbinas eólicas de eixo vertical. Para que fosse possível a competição entre os modelos horizontais e os modelos verticais, o SANDIA, *Sandia National Laboratories*, ficou a cargo do estudo e desenvolvimento de turbinas eólicas de eixo vertical. Foram realizadas pesquisas em modelos pequenos de 17 m de diâmetro, com potência de 100 kW, para analisar formas e materiais para o modelo de Darrieus de eixo vertical. Inúmeros testes foram realizados com o modelo de Darrieus, entre 1984 e 1987 e um modelo que trazia consigo muita tecnologia em sua estrutura, possuía 34 m e potência de 625 kW foi projetado e instalado pela SANDIA, mas o pequeno modelo de 17 m era mais atrativo comercialmente, tanto que no início dos anos 80, foram instalados aproximadamente 600 modelos Darrieus, no estado da Califórnia com potência total, superior a 90 MW (DUTRA, 2001).

A Alemanha, em 1982, buscou investir no setor eólico para combater o alto preço do petróleo, construindo o GROWIAN (*Grosse Windenergie Anlage*). Esta era uma turbina que abrangia todos os conceitos e tecnologias inovadoras até o momento, pois a ventos de 11,8m/s conseguiam gerar 3.000 kW, fixada em uma torre tubular de 100 m de altura e 100 m de diâmetro, com duas pás. O projeto foi encerrado devido ao seu funcionamento não ser satisfatório.

2.4 A evolução comercial de turbinas eólicas de grande porte

Com o desenvolvimento das turbinas eólicas, a comercialização das mesmas, acompanhou o ritmo e a variação de modelos disponíveis no mercado. Atualmente um dos mercados mais desenvolvidos em relação ao uso e desenvolvimento de turbinas eólicas é a Alemanha, onde se encontra a maioria das classes de turbinas com geração da ordem de grandeza de MW. A Alemanha é um dos países que mais oferecem uma alta gama de modelos de turbinas eólicas para o mercado mundial, devido aos subsídios que recebeu do governo. A indústria alemã tornou-se um dos mais importantes pólos comerciais existentes, tanto em relação ao desenvolvimento de tecnologia, quanto na comercialização de infraestrutura relacionada a geração eólica (DUTRA, 2001).

O governo alemão lançou programas nas décadas de oitenta e de noventa que motivavam a sociedade alemã ao uso da energia eólica. Um deles foi o Programa Experimental de 250 MW e a Lei de Alimentação de Eletricidade. Esta última favorecia a indústria alemã tanto internamente quanto externamente.

Europa e Estados Unidos, realizaram investimentos em ambos aspectos de geração de energia eólica *onshore* e *offshore*, este último muito promissor, pois havia um esforço dos países, primeiramente na análise da viabilidade tanto técnica quanto econômica nestas tecnologias e mais tarde, no período de 1977 a 1986, na tentativa de instalação de projetos em grande escala para o mercado *offshore* (DUTRA, 2001).

Os empenhos demonstrados pelos países na área de geração de energia eólica, foram analisados pela Agência Internacional de Energia (AIE), que através de seu programa comparou todas as informações e levantou-as de forma a mostrar os resultados, que de maneira geral foram positivos na utilização de turbinas eólicas em larga escala, com suas variações de diâmetro e de potencia que variavam na faixa de 3 MW a 6 MW (DUTRA, 2001).

3 ESTADO DA ARTE DA GERAÇÃO EÓLICA

3.1 A energia eólica no mundo

A tendência mundial em buscar um meio alternativo de gerar energia elétrica, contribui para o avanço tecnológico no setor eólico, principalmente em países que não possuem grandes reservas de combustíveis fósseis.

Países como a Alemanha, Dinamarca e Holanda e Estados Unidos deram início a esta nova modalidade de geração de energia, e atualmente outros países também acompanham esta nova tendência, tais como Portugal, Espanha, Bélgica e Reino Unido. Não somente na Europa e Estados Unidos, mas também países dos continentes asiáticos, africanos e da América Latina.

Conforme os dados exibidos no Relatório da GWEC (2010), a potência eólica instalada acumulada no mundo obteve a marca de 197.039 MW no final do ano de 2010, sendo que em somente no ano de 2010 foram instalados 38.265 MW. Apesar disto houve um pequeno decréscimo de 1,36% em relação ao ano anterior (2009) e um aumento global de aproximadamente 24% na capacidade eólica instalada. As Figuras 10 e 11 mostram a evolução da capacidade instalada anual e global nos anos de 1996 a 2010.

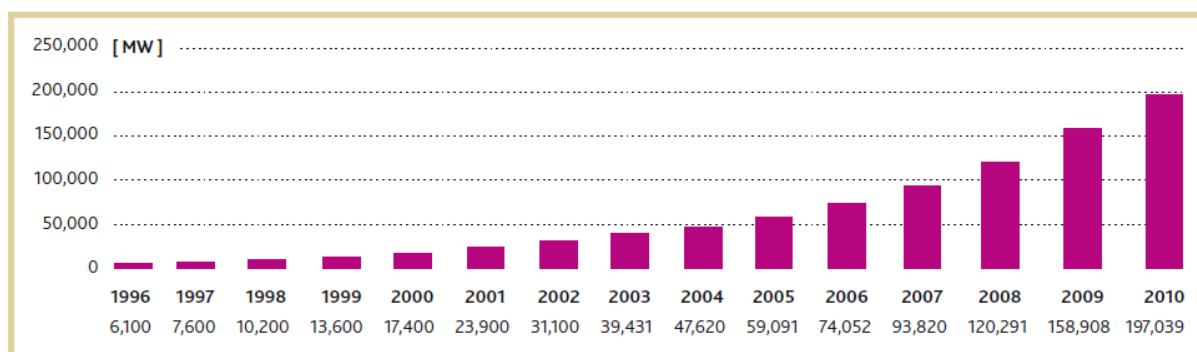


Figura 10 – Capacidade eólica mundial instalada no anos de 1996 à 2010(Fonte: GWEC, 2010).

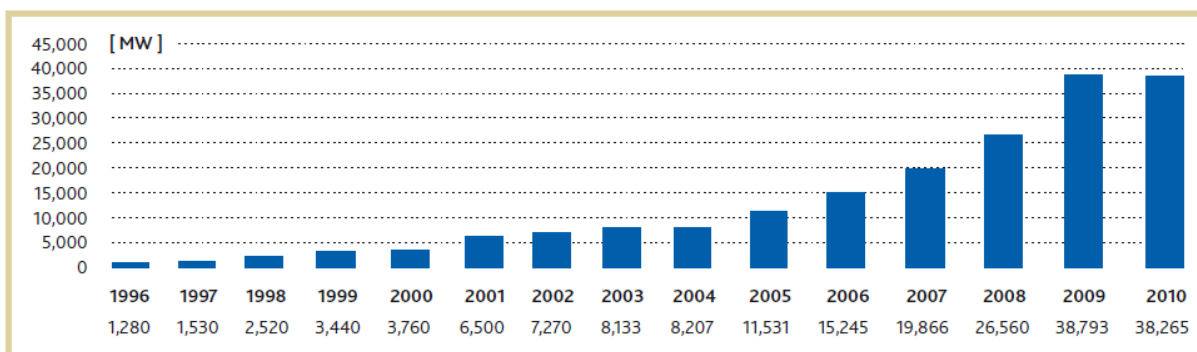


Figura 11 – Capacidade eólica anual instalada (Fonte: GWEC, 2010).

De acordo com a GWEC os países europeus que tiveram o maior mercado e a maior potência eólica adicionada em 2010 foram Espanha com 1.516 MW e a Alemanha com 1.493 MW. Os países em desenvolvimento como China e Índia já estão no topo da lista dos dez países com maior potência instalada no final de 2010, Índia com 13.065 MW e China com 44.733MW. Também não podemos deixar de citar os Estados Unidos da América, que foi o maior país das Américas e o segundo no mundo, que aumentou sua capacidade instalada em 2010. Pode-se verificar na Figura 12 a capacidade anual instalada por regiões e na Tabela 1 a capacidade eólica instalada por países. No fim do ano de 2010 a capacidade total mundial de energia eólica instalada era de 197.039 MW, sendo a parcela de participação da América Latina e Caribe de 2.008 MW e o Brasil com uma participação de 931 MW ao total.

Para Peres (2009), a divisão por região da capacidade instalada de energia eólica a Europa se mantém como o principal mercado do setor de energia eólica, mas nota-se o crescimento dos mercados da Ásia e da América do Norte.

De acordo com a WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION (WWEA, 2011), o potencial de energia eólica mundial ao fim do mês de junho de 2011, alcançou o total de 215 GW, que representa um aumento de 15% do que o primeiro semestre de 2010. A expectativa é que o total de capacidade eólica atinja o valor de 240 GW no fim deste ano.

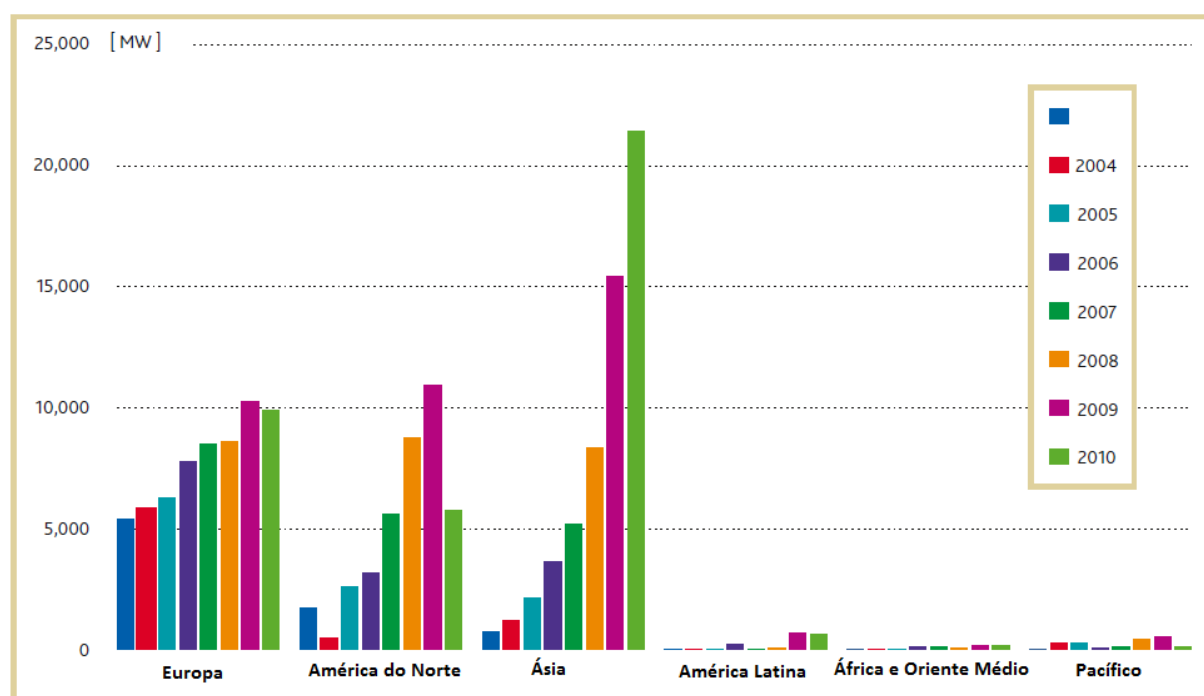


Figura 12 – Capacidade eólica mundial instalada por regiões (Fonte: GWEC, 2010).

Capacidade eólica mundial instalada (MW)			
País	Fim 2009	Início 2010	Fim 2010
Egito	430	120	550
Marrocos	253	33	286
Tunísia	54	60	114
Irã	92	0	92
China	25.805	18.928	44.733
Índia	10.926	2.139	13.065
Japão	2.085	221	2.306
Taiwan	436	83	519
Coreia do Sul	348	31	379
Filipinas	33	0	33
Alemanha	25.777	1.493	27.270
Espanha	19.160	1.516	20.676
Itália	4.849	948	5.797
França	4.574	1.086	5.660
Inglaterra	4.245	962	5.207
Dinamarca	3.465	327	3.792
Portugal	3.535	363	3.898
Holanda	2.215	32	2.247
Suécia	1.560	604	2.164
Irlanda	1.310	118	1.428
Turquia	801	528	1.329
Grécia	1.087	123	1.210
Polónia	725	382	1.107
Áustria	995	16	1.011
Bélgica	563	350	913
Brasil	606	325	931
México	202	316	518
Chile	168	4	172
Costa Rica	123	0	123
Caribe	91	8	99
Argentina	34	27	61
Estados Unidos	35.086	5.115	40.201
Canadá	3.319	690	4.009
Austrália	1.712	167	1.879
Nova Zelândia	497	9	506
Ilhas do Pacífico	12	0	12

Tabela 1 – Capacidade eólica mundial instalada por países (Fonte: GWEC, 2010).

3.1.1 Países com maior produção de energia eólica

3.1.1.1 China

O Potencial eólico da China, segundo o terceiro Censo Nacional de recursos em energia eólica, está por volta de 2.580 GW. Comparado com os líderes de mercado em energia eólica, os recursos eólicos da China estão próximos aos dos EUA (GWEC, 2010).

O mercado eólico da China dobrou a cada ano, entre os anos de 2006 a 2009 em termos de capacidade eólica total instalada, conforme a Tabela 2, e tem sido o maior mercado desde 2009. Em 2010 a China superou os EUA como o país que mais instalou a capacidade eólica, adicionando 18.928 MW, que representou um aumento de 73% de sua capacidade acumulada em 2009, alcançando um total de 44,7 GW (GWEC, 2010).

Tabela 2 – Capacidade eólica total instalada na China

Capacidade Total Instalada	
Ano	MW
2001	404
2002	470
2003	568
2004	765
2005	1.272
2006	2.559
2007	5.871
2008	12.024
2009	25.828
2010	44.733

(Fonte: GWEC, 2010)

O ano de 2010 foi um ano muito importante para os fabricantes chineses de turbinas eólicas, pois quatro fabricantes como Sinoel, Dongfang, Goldwind e United Power estão entre os dez maiores fabricantes de turbinas eólicas e agora se expandindo para outros

mercados. Com este crescimento do setor, o governo chinês pretende alcançar em 2020 uma potencia instalada de 138 GW.

Em 2009 o governo regularizou os valores para as tarifas relacionadas à geração eólica. Os valores variam de acordo com os recursos eólicos de cada região e são aplicados para um total de 20 anos de operação do parque eólico, tendo variações de valor de 5,7 centavos de EURO até 6,8 centavos de EURO (GWEC, 2010).

Apesar de rápido desenvolvimento da energia eólica, a China enfrenta problemas de infra-estrutura relacionada com as questões de confiabilidade na turbinas eólicas, estratégias coerentes para o desenvolvimento dos parques eólicos, conexões de geração de energia eólica com a rede elétrica, que está sendo visto como o maior problema para o futuro desenvolvimento deste tipo de geração de energia no país.

O governo chinês demonstra um compromisso contínuo para o desenvolvimento da geração eólica, no plano desenvolvido em março de 2011, prevendo o aumento da capacidade total para 90 GW em 2015 (GWEC, 2010).

3.1.1.2 EUA

Segundo o relatório da GWEC (2010), os Estados Unidos instalaram um total de 5.115 MW de energia eólica em 2010, que representa um grande feito poucos anos atrás, mas que não chega nem a metade da potencia instalada em 2009.

No final do ano de 2010, os EUA atingiram a uma potencia eólica total acumulada de 40.180 MW, conforme a Tabela 3, mas mesmo assim foram ultrapassados pela China. Os custos da geração eólica decaíram nos dois últimos anos, com uma variação de 5 a 6 centavos de dólares por kWh, fazendo com que a energia eólica se tornasse competitiva com a energia provinda da queima de gás natural. Em 38 estados já se tem projetos de utilização em energia eólica e em 14 estados possuem mais de 1.000 MW instalados. Dentre eles os seis estados que mais possuem uma grande capacidade total instalada são: Texas, Iowa, Califórnia, Minnesota, Oregon e Washington.

De acordo com a (GWEC, 2010), a indústria eólica Americana teve uma lenta atividade relacionada a projetos em 2010. Apesar disto o setor de energia eólica emprega 85.000 trabalhadores.

Tabela 3 – Capacidade eólica total instalada nos Estados Unidos da América

Capacidade Total Instalada	
Ano	MW
2000	2.578
2001	4.275
2002	4.685
2003	6.372
2004	6.725
2005	9.149
2006	11.575
2007	16.824
2008	25.237
2009	35.086
2010	40.180

(Fonte: GWEC, 2010)

Segundo a GWEC (2010) múltiplos fatores contribuíram para o crescimento da energia eólica nos Estados Unidos em 2011, pois:

O setor terminou o segundo semestre de 2010 com 3.195 MW de novas instalações, e iniciar o ano seguinte com mais de 5.600 MW sob construção.

Outro fator é que o custo da geração eólica esta mais competitiva com a geração através de gás natural, que motiva a utilização da energia eólica em se tratando de longos prazos.

Também com o benefício dos investimentos de taxas de credito, novos projetos são esperados, fazendo com que a indústria eólica espere maiores incentivos de uma política que leve ao desenvolvimento das energias renováveis.

3.1.1.3 Alemanha

Segundo a GWEC (2010), a Alemanha lidera a Europa como o país que possui a maior capacidade de energia eólica instalada com um total de 27.214 MW, entretanto a capacidade eólica instalada em 2010 foi menor que a instalada em 2009, como mostra a Tabela 4, devido

a crise financeira e a insegurança que o governo criou para os investidores com a decisão de prolongar o tempo de vida das usinas nucleares.

O código de construção federal alemão continua a representar a regulamentação para o desenvolvimento da geração eólica na Alemanha. Sob esta lei as plantas de energia eólica, são pertencentes a uma categoria de projetos privilegiados, e as autoridades locais devem designar uma prioridade ou uma zona preferencial para a implantação dos projetos eólicos. Também podem restringir a construção em áreas específicas.

O novo governo alemão adotou novos conceitos energéticos no outono de 2010, os quais reverteram uma decisão de prolongar o tempo de vida das usinas nucleares ao invés da eliminação das mesmas.

No futuro, a potencialização eólica pode representar um grande papel na Alemanha, e a estimativa é que se tenha o potencial para dobrar a capacidade de parques eólicos e triplicar o rendimento energético alemão com algumas turbinas implantadas. Entretanto, a potencialização é um lento processo de avanço, pois na maioria dos casos só se torna econômico com 15 anos ou mais de operação de uma turbina.

Em muitas regiões as restrições de altura inibiram o máximo aproveitamento da geração eólica. O governo e alguns estados começaram a repensar em novas estratégias no desenvolvimento da geração eólica.

Outro desafio para a expansão da energia renovável é o rápido crescimento da rede de distribuição de energia elétrica, que inclui cabeamento subterrâneo em áreas críticas. Será importante a melhora da capacidade da rede de transporte global na Alemanha, através de medidas como o monitoramento de temperatura das linhas, condutores de altas temperaturas, gerenciamentos do fluxo de carga para se alcançar o objetivo de expandir a utilização de energias renováveis no país (GWEC, 2010).

Tabela 4 – Capacidade eólica total instalada na Alemanha

Capacidade Total Instalada	
Ano	MW
2001	8.754
2002	11.994
2003	14.609
2004	16.629
2005	18.415
2006	20.622
2007	22.247
2008	23.903
2009	25.777
2010	27.214

(Fonte: GWEC, 2010)

3.2 A energia eólica no Brasil

O início da geração eólica no Brasil se deu em 1992, quando o primeiro gerador foi instalado na ilha de Fernando de Noronha.

Após dez anos o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) com o objetivo de incentivar o desenvolvimento de outras fontes renováveis, como biomassa, eólica e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), para complementar a oferta de energia elétrica proveniente das hidrelétricas.

Para Ricosti (2011) os programas governamentais existentes tem incentivado o setor de energia eólica. O PROEÓLICA (Programa Emergencial de Energia Eólica) criado em 2001, instituía a implantação de 1.050 MW até dezembro de 2003. Infelizmente nenhuma usina foi construída e este Programa sequer chegou a ser regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que é o órgão governamental regulador de energia elétrica.

Em dezembro de 2009 o Governo Federal viabilizou um leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para fonte eólica, que resultou na contratação de 1.805,7 MW, a um preço médio de venda de R\$ 148,39/MWh, sendo que o preço teto inicial era de R\$ 189,00/MWh. Com isso, será viabilizada a construção de 71 empreendimentos de geração eólica nas regiões Nordeste e Sul do Brasil (RISCOTI, 2011).

Apesar das discordâncias entre especialistas e instituições de pesquisa sobre o potencial eólico brasileiro, muitos estudos indicam a viabilidade de implementação de parques eólicos no país. Essas divergências ocorrem pela falta de informações sobre o local analisado e as metodologias utilizadas para se realizar o levantamento do potencial eólico na região. Existiam, em setembro de 2003 apenas 6 centrais eólicas operantes no País.

O Brasil conta com uma capacidade de geração eólica de 931 MW em dezembro de 2010. A Tabela 5 mostra o potencial eólico brasileiro acumulado até 2010. A energia eólica auxilia o Brasil a propiciar à sociedade uma maior segurança energética, reduz a poluição através das emissões de gases de efeito estufa e gera empregos. O Brasil é um país favorecido em termos de ventos, por possuir uma presença duas vezes superior à média mundial e pela oscilação de velocidade de 5% que possibilita a previsão do volume de vento que será produzido (SOARES, 2010).

Em 2001, o primeiro atlas eólico brasileiro foi publicado, estimando um potencial de 143 GW a uma altura de 50 m. Em 2008 e 2009, novas medidas realizadas a uma altura de 80 a 100 metros indicavam um potencial maior que 350 GW. Com uma ampla área desabitada, e uma região costeira de 9.650 km asseguram uma posição ao Brasil de um gigante potencial em energia eólica. Sendo a melhor região que possui um excelente potencial eólico é o Nordeste brasileiro, e em particular os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Pernambuco e Bahia. O sul brasileiro, também possui bons recursos eólicos, especialmente os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (GWEC, 2010).

As áreas que mais ocorrem os ventos no Brasil se encontram convenientemente próximas a rede elétrica, além de que o país que depende altamente de hidrelétricas, e sofre com a falta periódica de água, tem na geração eólica um forte aliado para suavizar algumas questões relacionadas à segurança energética, especialmente em períodos secos (GWEC, 2010).

Tabela 5 – Capacidade eólica total instalada no Brasil

Capacidade Total Instalada	
Ano	MW
2005	29
2006	237
2007	247
2008	341
2009	606
2010	931

(Fonte: GWEC, 2010)

Programas como o PROINFA deram um novo rumo para as fontes renováveis de energia ganharem espaço na geração de energia elétrica. O estudo da literatura nos possibilitou entender um pouco mais sobre a posição do Brasil e a do mundo frente ao desenvolvimento da geração eólica. A seguir é mostrado um modelo básico de implantação de uma usina eólica.

4 PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PARQUE EÓLICO

4.1 Investimentos

O Ministério de Minas e Energia (MME) é o órgão responsável pela matriz energética brasileira. Através dele são realizadas a análise das condições de infra-estrutura, vulnerabilidades sistêmicas, riscos ambientais, oportunidades de negócios presentes e futuros, impactos de políticas públicas vigentes no país, viabilidade técnica e econômica, dentre outros. O Plano Nacional de Energia (PNE) realiza o planejamento do setor energético do país, para se ter uma estimativa de avanço deste setor futuramente.

Os investidores que são detentores de capitais para investimento e idéias inovadoras são responsáveis pelo atendimento as novas necessidades do mercado energético, juntamente com a utilização dos recursos renováveis da natureza de modo saudável (SOARES, 2010).

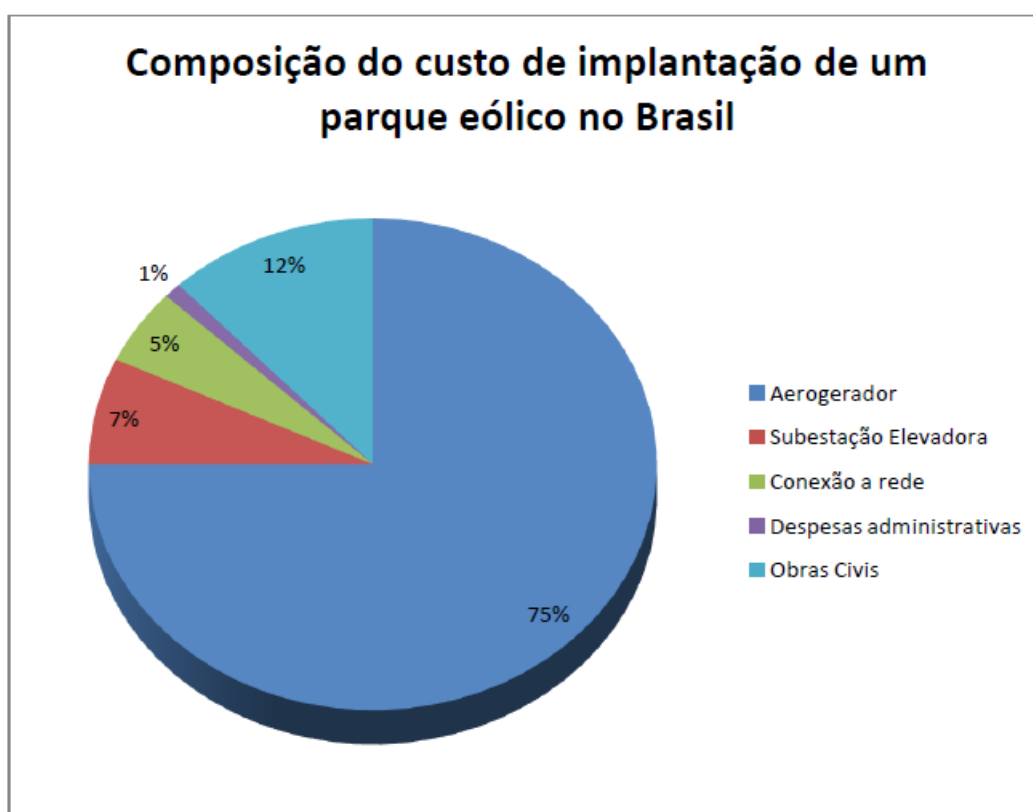


Figura 13 – Composição do custo de implantação de um parque eólico (Fonte: SOARES, 2010).

Podemos observar pela Figura 13 que os aerogeradores correspondem a maior parcela do custo de implantação de um parque com 75%, as obras civis com 12%, a subestação com

7%, conexões com a rede em torno de 5% e 1% do custo total fica com as despesas administrativas.

Para dar suporte à decisão de investimento, é importante realizar uma análise de viabilidade econômica. Para tal, devem-se utilizar métodos e critérios específicos de Análise de Projetos de Investimentos, utilizados na área de Engenharia Econômica, os quais demonstram com clareza os retornos sobre os investimentos, possibilitando a escolha da melhor alternativa, com a conseqüente otimização de recursos (SOARES, 2010).

4.2 Preços e custos

De acordo com o Portal Energia, no Brasil o aumento da capacidade de energia renovável na matriz energética se deve ao crescente apoio do sector financeiro na área da Energia. Existem atualmente, 51 parques eólicos em operação no Brasil totalizando uma potência instalada de 931 MW. No BNDES, já estão em processo de assinatura ou já foram assinados, 51 contratos de financiamento em um valor total de 4,1 bilhões de reais, para a implantação de 1.369 MW. Existem também outros 44 projetos em análise, com valores de ordem de 3,3 bilhões de reais.

Em entrevista publicada pelo site Planeta Sustentável, o preço da energia eólica no Brasil em 2009, devido aos leilões realizados pelo MME, era de R\$ 148,00 por kilowatt/hora. Já no final do ano de 2010, houve uma queda no preço para R\$ 130,00. O leilão, que aconteceu no dia 18 de agosto de 2011, da ANEEL resultou em surpreendente preço de R\$ 99,50 por kilowatt/hora. Neste mesmo leilão, o preço da eletricidade gerada por gás chegou a R\$ 103,00. O leilão resultou em contratos para 78 novos projetos eólicos, com 1.928 MW de capacidade.

O site Inovação Tecnológica publicou uma entrevista com o presidente da EPE, Maurício Tolmasquim, em que diz que no Brasil, os atuais 1 GW de energia eólica instalados podem ser multiplicados por sete, até 2014. O presidente da EPE também apresentou dados que mostram a força do setor, principalmente a partir de 2005, que mostrava a queda dos preços de R\$ 300,00 na época para R\$ 99,50 no leilão de agosto do ano passado e a evolução da produção eólica no país.

4.3 Local de implantação do parque eólico

O local de implantação do parque é muito importante, pois requer estudos sobre as características sobre o terreno no qual será construído, tais como a qualidade do vento na região, a disponibilidade de aluguel ou compra do local, a topografia do local, existência de programas de incentivo a comunidades locais em relação à nova infraestrutura que será instalada na região, facilidade de montagem dos equipamentos incluindo a questão do transporte dos mesmos e o acesso ao local, como também a caracterização da rede elétrica de conexão.

Verifica-se através da Figura 14 uma metodologia para aplicar na instalação de um parque eólico. Entretanto antes da implementação deve-se realizar um estudo de pelo menos um ano para o levantamento dos ventos do local que se deseja instalar um parque eólico. Após levantado os dados referentes ao vento, deve ser feito um estudo em relação a posição dos geradores, análise do solo do terreno e se está localizado em uma área de preservação ambiental.

De acordo com a legislação brasileira, antes da implantação de qualquer estrutura que possa ser danosa ao meio ambiente, é necessária a liberação através do licenciamento ambiental. Os órgãos responsáveis pelo licenciamento estadual são os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente, e licenciamento federal, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Fazem também parte da liberação de licenças as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que são responsáveis pelo licenciamento de impactos causados por parques eólicos (SOARES, 2010).

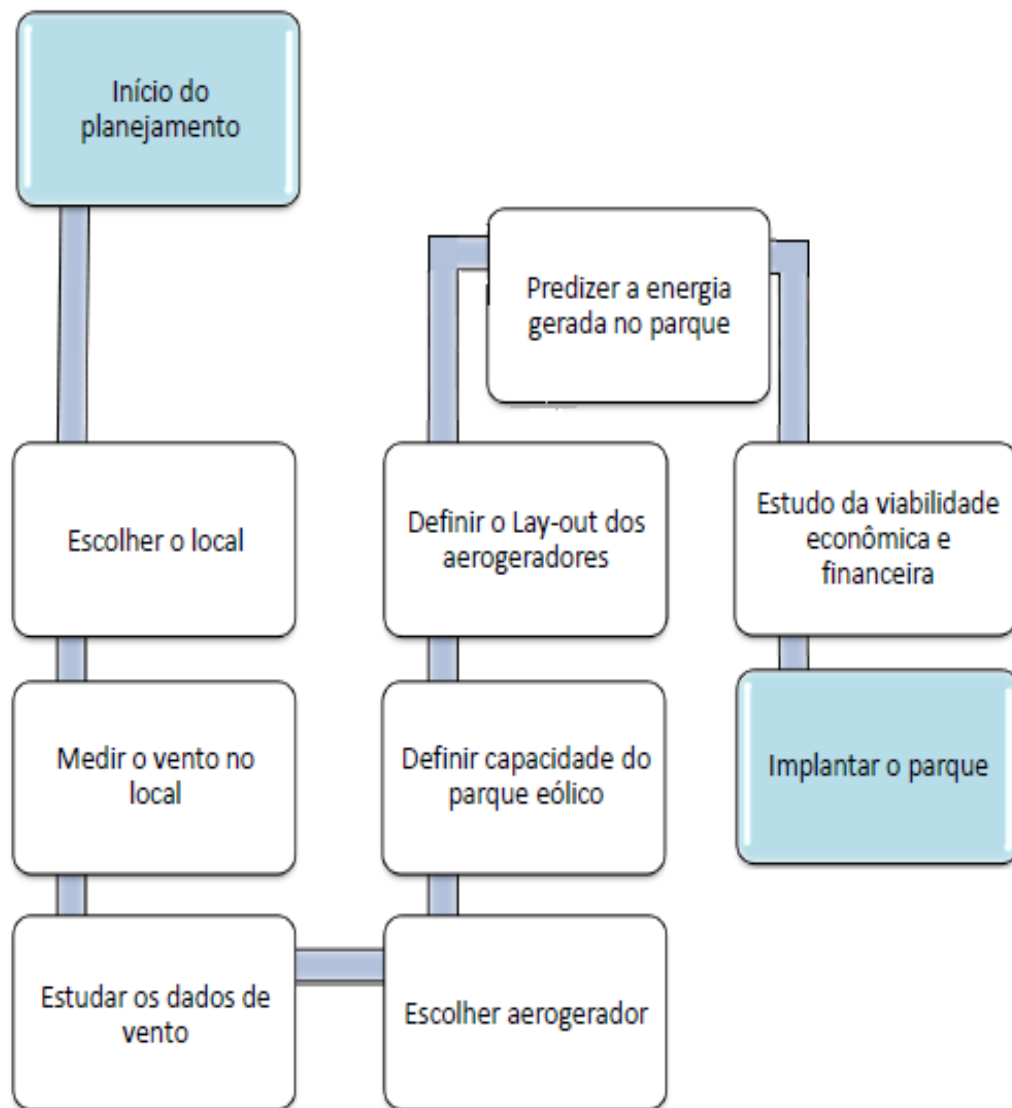


Figura 14 – Metodologia de implementação de um parque eólico (Fonte: SOARES, 2010).

5 ESTUDO DE CASO

É analisada uma avaliação dos recursos de energia eólica realizada pela empresa X no Brasil em uma cidade B, tal projeto é denominado projeto B. O projeto proposto consiste em 10 turbinas do tipo Clipper Liberty de 2,5 MW em torres de 80 m com capacidade nominal instalada de 25 MW. A Figura 15 mostra o modelo da turbina avaliada neste estudo de caso.



Figura 15 – Modelo da Turbina Clipper Liberty 2,5 MW (Fonte: www.energies-renouvelable.com).

A 465 km do local projeto B, na mesma cidade, já existem dados de ventos coletados para a execução de outro projeto de aplicação eólica, denominado projeto M. No projeto M

foram coletados dados dos ventos a uma altura máxima de 30 m e foi proposto a utilização de 13 turbinas da Enercon E66. As turbinas Enercon E66 não serão vistas neste estudo de caso.

Os dados da torre meteorológica localizada no local do projeto M foram correlacionados para estimar a velocidade média do vento no local proposto pelo projeto B.. Uma vez que nenhum dado foi coletado a uma altura superior a 30 m na torre do projeto M, a velocidade média do vento a 80 m no local do projeto B foi estimada aplicando as características de cisalhamento do vento observados na área da torre do projeto M como se fosse a velocidade do vento a um nível de 30 m no local do projeto B.

Nenhum layout de implantação das 10 turbinas Clipper Liberty foi proposto. No período não havia informações suficientes para se preparar um plano. Portanto, a estimativa de energia anual gerada para as turbinas Clipper Liberty foi elaborada baseada na hipótese que a localização das turbinas será representada por 10 unidades.

5.1 O sítio

O parque do projeto B está localizado na costa litorânea a aproximadamente 4° 10' latitude sul e 38° 05' longitude oeste. As turbinas estariam aparentemente situadas entre as colinas e cumes que alcançam uma elevação máxima de aproximadamente 120 m acima do nível do mar situadas a 500 m do oceano. O aumento da elevação prevista pelo cume gera um aprimoramento do fluxo ao vento leste predominante. A Figura 16 mostra um contorno do mapa do projeto proposto como também da localização das 13 turbinas Enercon E66 propostas pelo projeto M, para que fosse preparado o estudo com algum interesse no projeto B.

Porém, isto mostra uma situação inusitada. A área de desenvolvimento tem sido investigada utilizando a aplicação Google Earth, que permite uma visão das fotos via satélite de todo o globo. A aplicação também mostra dados de latitude, longitude e elevação na posição do cursor e para checar a configuração da terra próxima ao projeto M, que é outra área costeira ao sul da cidade B.

A área em que o projeto seria aparentemente construído é mostrado como uma grande duna de areia com elevação máximo de aproximadamente 14 m. A imagem da área do proposto projeto, que esta a leste da cidade B, foi capturada e mostra o número das turbinas Enercon E66 propostas pelo projeto M, como consta na Figura 16.

Não há dados específicos coletados da temperatura no local do projeto B, mas baseado na proximidade da área do projeto M, onde há dados de temperatura coletados, e o fato de que

é uma área tropical e costeira, são esperadas temperaturas anuais moderadas, com uma média anual em torno de 25° C. Temperaturas máximas que ultrapassam 30° C não são comuns e a temperatura mínima fica em torno de 19° C. A densidade do ar na área tem sido relatada nas informações do projeto a aproximadamente 1,16 kg/m³, que parece ser uma estimativa razoável. Estes valores não podem ser independentemente confirmados sem dados locais de pressão e temperatura.

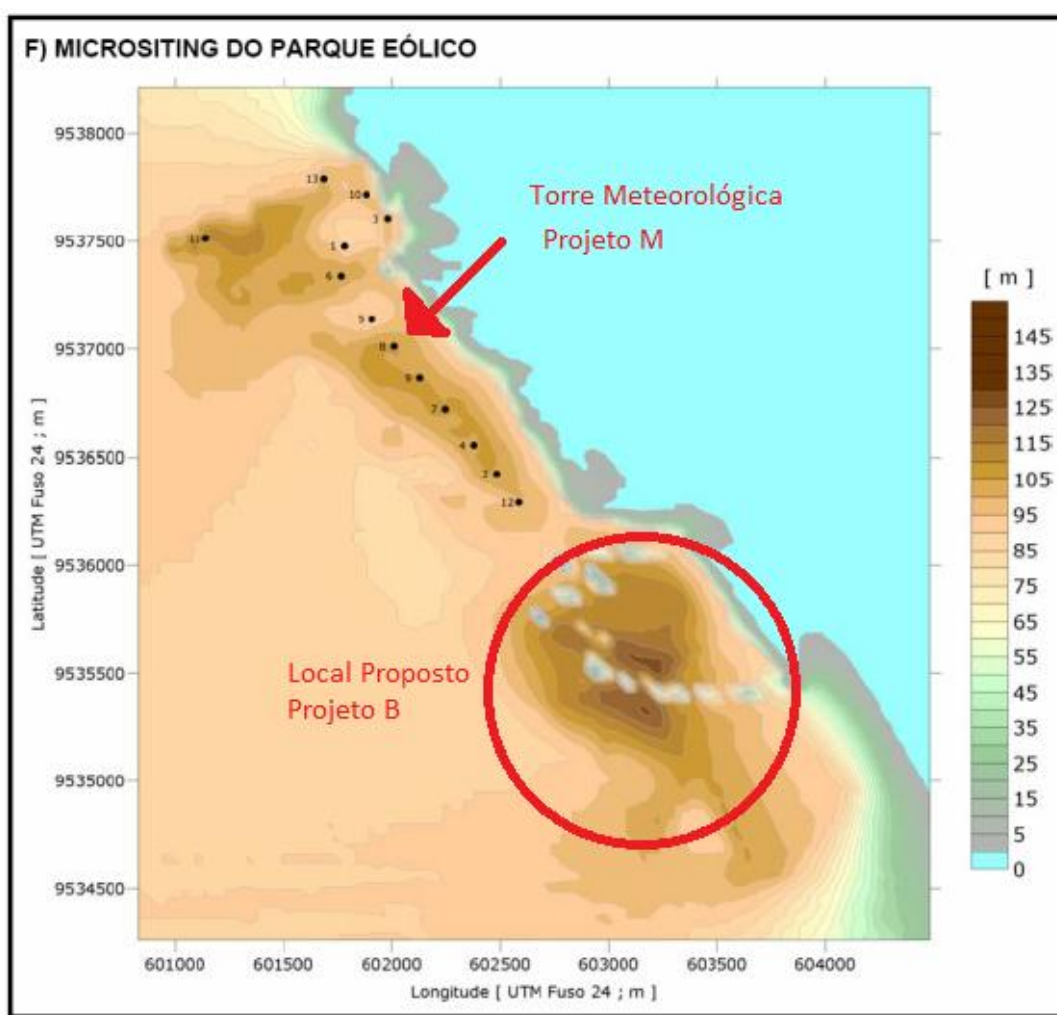


Figura 16 – Mapa do contorno do território do projeto B

5.2 Medidas de vento

Foi iniciado um programa de medidas de vento em novembro de 2002 com a instalação de uma torre meteorológica de 30 m no local do projeto M. A localização da torre está indicada na Figura 16. Os dados foram fornecidos em março de 2004, portanto o período de

medição dos ventos no local foi menos de um ano e meio do estudo. A velocidade do vento foi medida em dois níveis, 17 m e 30 m.

5.3 Análise dos dados e características do vento

Os dados coletados em B pelo projeto M foram registrados de hora em hora e armazenados em uma central para análise. As características do vento foram analisadas de diferentes maneiras, para revelar a natureza do vento em relação à distribuição da velocidade do vento e direção, cisalhamento vertical do vento, as principais características diurnas, as características sazonais e a distribuição da frequência da velocidade do vento.

5.4 Cisalhamento vertical

O cisalhamento do vento vertical, ou troca da velocidade do vento com a altura sobre o solo conforme mostra a Figura 17, foi analisado entre os níveis de 17m e 30 m na torre do projeto M. O cisalhamento do vento é caracterizado por α definido pela Equação (1), onde U_1 é a velocidade média do vento no nível 1 e U_2 é a velocidade média vento no nível 2 e Z_1 é a altura do nível 1 e Z_2 é a altura do nível 2.

$$\alpha = \ln(U_2/U_1)/\ln(Z_2/Z_1) \quad (1)$$

Em B, o cisalhamento entre os níveis foi até certo ponto consistente de mês em mês, mas houve um pequeno aumento durante o tempo que não puderam ser atribuídas necessariamente as mudanças no local do solo ou na superfície acidentada. A mudança do cisalhamento pelo tempo é indicado na Figura 18, que mostra o cisalhamento médio entre 17 m e 30 m para cada mês durante o tempo.

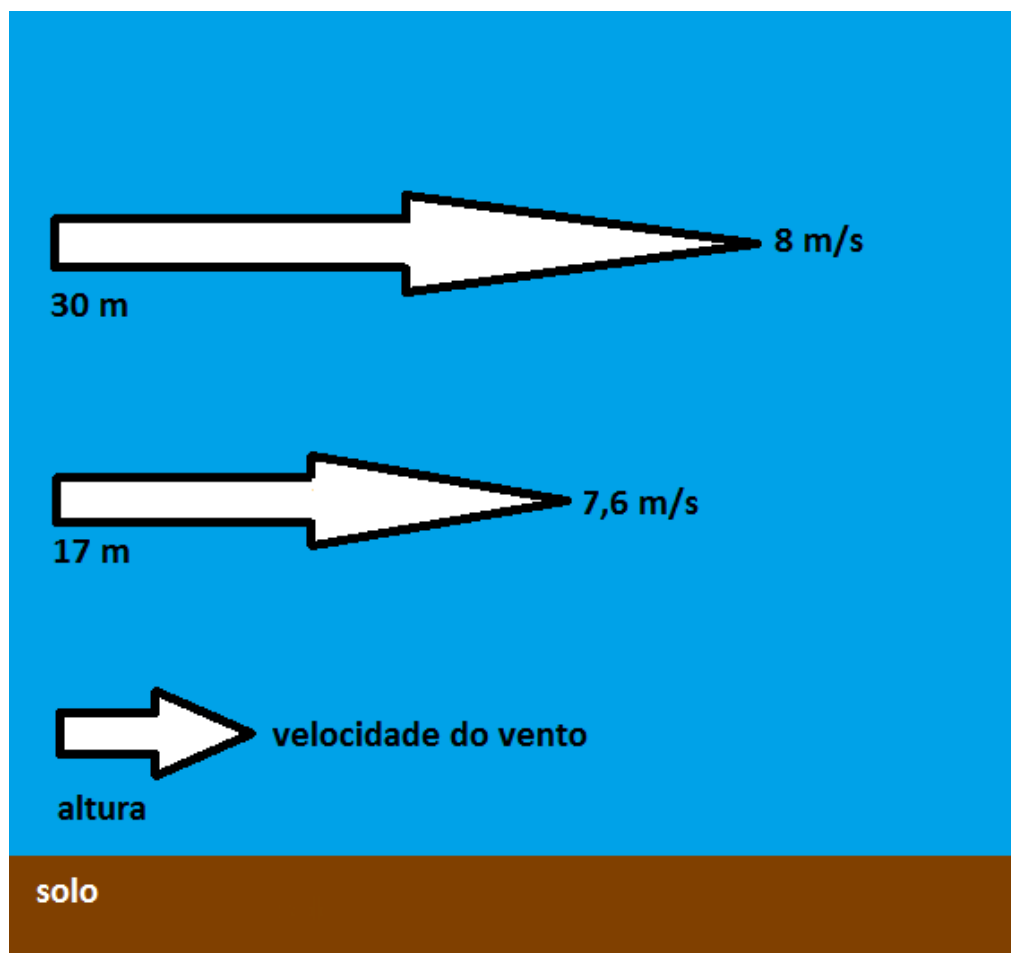


Figura 17 – Cisalhamento vertical na cidade B medido pela torre do projeto M (Fonte: Elaboração Própria).

Os dados gráficos na Figura 18 mostram que em dois anos em alguns meses (dezembro, janeiro e fevereiro) o cisalhamento do último ano foi sempre mais alto que no ano anterior. O cisalhamento relatado poderia ser preciso ou poderia conter erros devido o desempenho comprometido pelo anemômetro de baixa qualidade. Os anemômetros que foram utilizados para as medições têm rolamentos sobre o qual o eixo de rotação é sustentado. No ambiente costeiro de parque B particularmente, o rolamento pode se degradar durante o tempo caso não forem corretamente mantidos ou passarem por uma manutenção. Os resultados de degradação podem representar uma velocidade diferenciada do vento.

No projeto M, a média da velocidade do vento foi de 7,6 m/s a uma altura de 17 m e a velocidade média do vento a 30 m foi de 8,0 m/s, portanto o cisalhamento médio α foi calculado como 0,09 através da Equação (1), que representa o cisalhamento entre os níveis de 17 m e 30 m. Este é considerado um cisalhamento que pode ser adotado para as alturas entre 30 m e 80 m no local do projeto B.

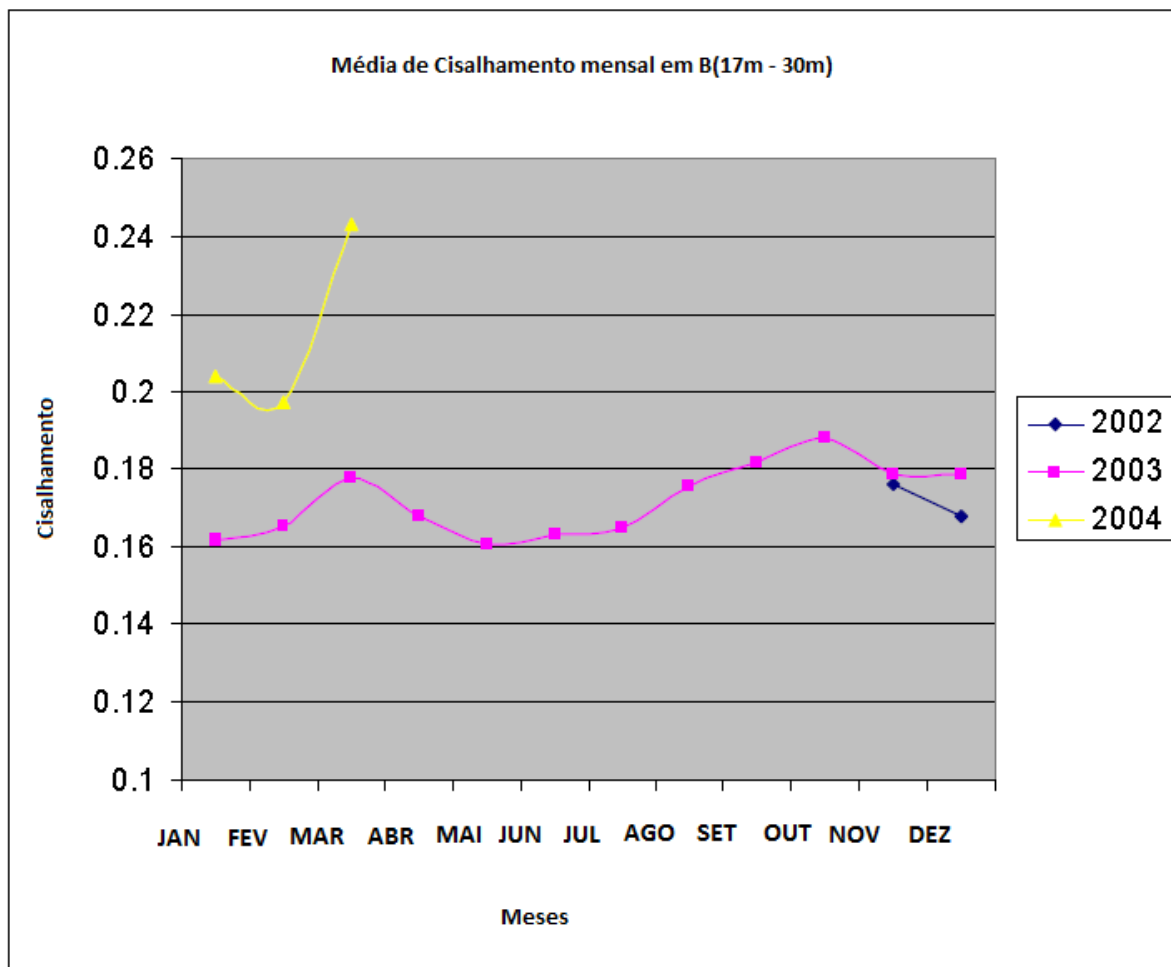


Figura 18 – Cisalhamento mensal através do tempo em B.

5.5 Média diurna e velocidade eólica sazonal

A média diurna e a velocidade eólica sazonal foram analisadas a um nível de 30 m em B e é considerado representativo nas condições gerais no parque. A Figura 19 é um gráfico da média mensal da velocidade eólica, ambos foram observados e estimados a longo-prazo. Os dois padrões são similares, o que é esperado, embora os meses de Janeiro a Abril estão abaixo dos valores de longo-prazo projetados. Há um pico mensal em outubro na velocidade do vento e uma mínima em março.

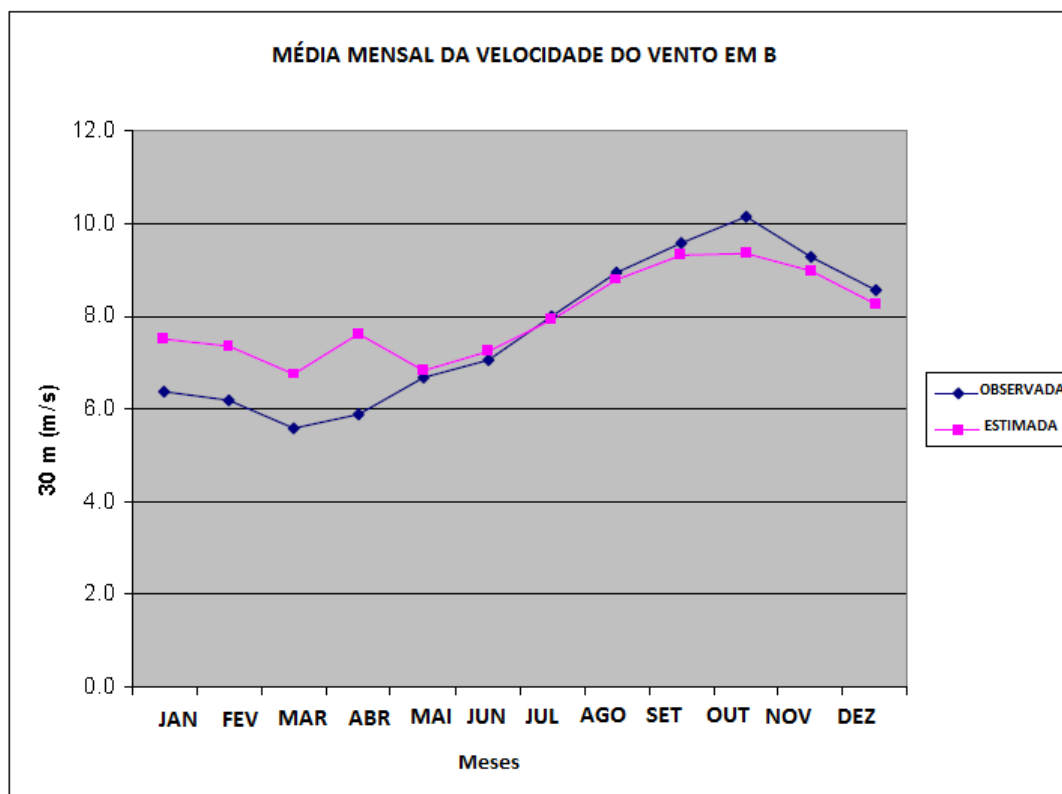


Figura 19 – Velocidade média do vento mensal a um nível de 30 m de B.

A Figura 20 é um gráfico da velocidade média em função do tempo de um dia, a velocidade média diurna, ao longo de todo o período de dados e também para os meses com a menor velocidade média, maior velocidade média, maio e outubro, respectivamente e para uma média mensal, julho. Os padrões são similares e, exceto em março, claramente mostraram um pico tarde da noite e uma mínima na manhã a 07:00 h. O padrão anual é muito similar para os padrões durante julho e o tempo de velocidade do vento máxima e mínima sendo basicamente a mesma. A principal diferença é que as velocidades foram deslocadas para cima ou para baixo em magnitude, dependendo do mês e da força dos ventos.

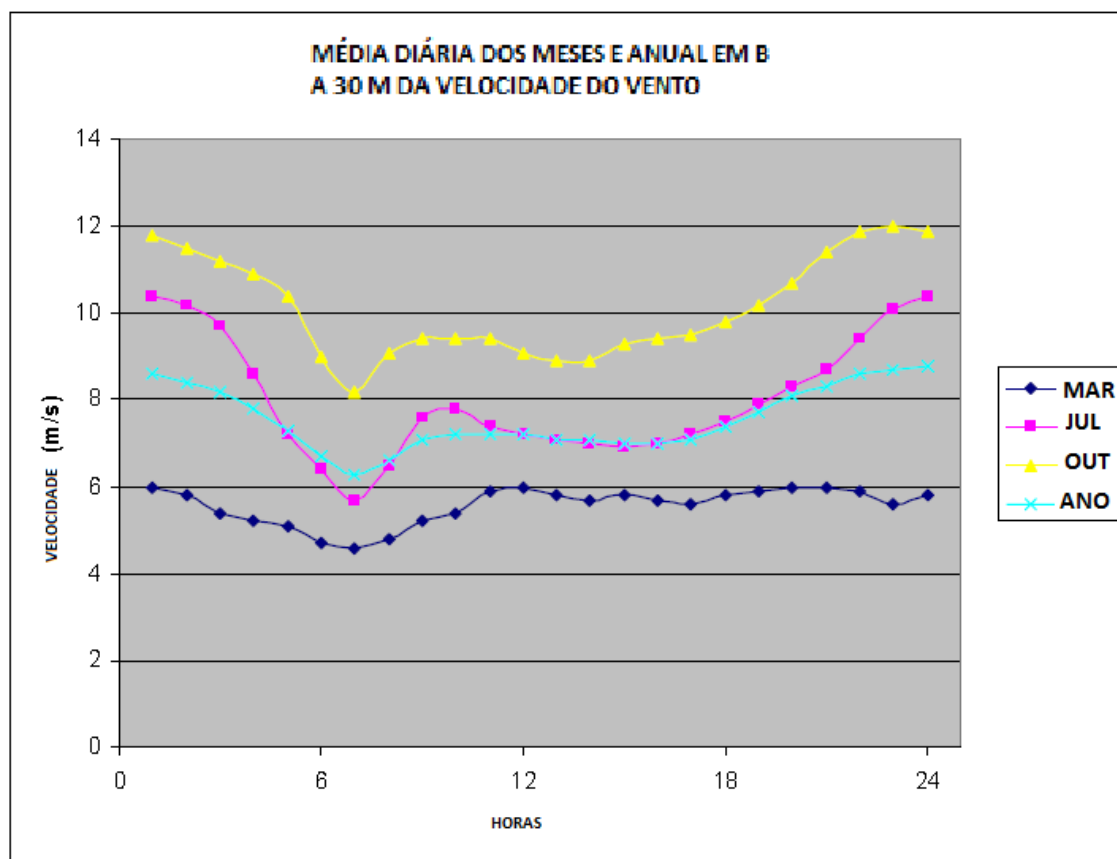


Figura 20 – Velocidade média do vento diurno a um nível de 30 m em B.

5.6 Distribuição de frequência da velocidade do vento

A distribuição de frequência da velocidade do vento foi analisada a um nível de 30 m com dados disponíveis no local do projeto M, pelo período de novembro de 2002 a março de 2004. A velocidade média do vento para o período era de 8,0 m/s a 30 m de altura. A Figura 21 é um gráfico da distribuição de frequência e pode-se ver uma típica distribuição dos ventos com pico acentuado na frequência próximo a velocidade média do vento, com poucas velocidades de vento maiores que a média e muitas velocidades menores que a média.

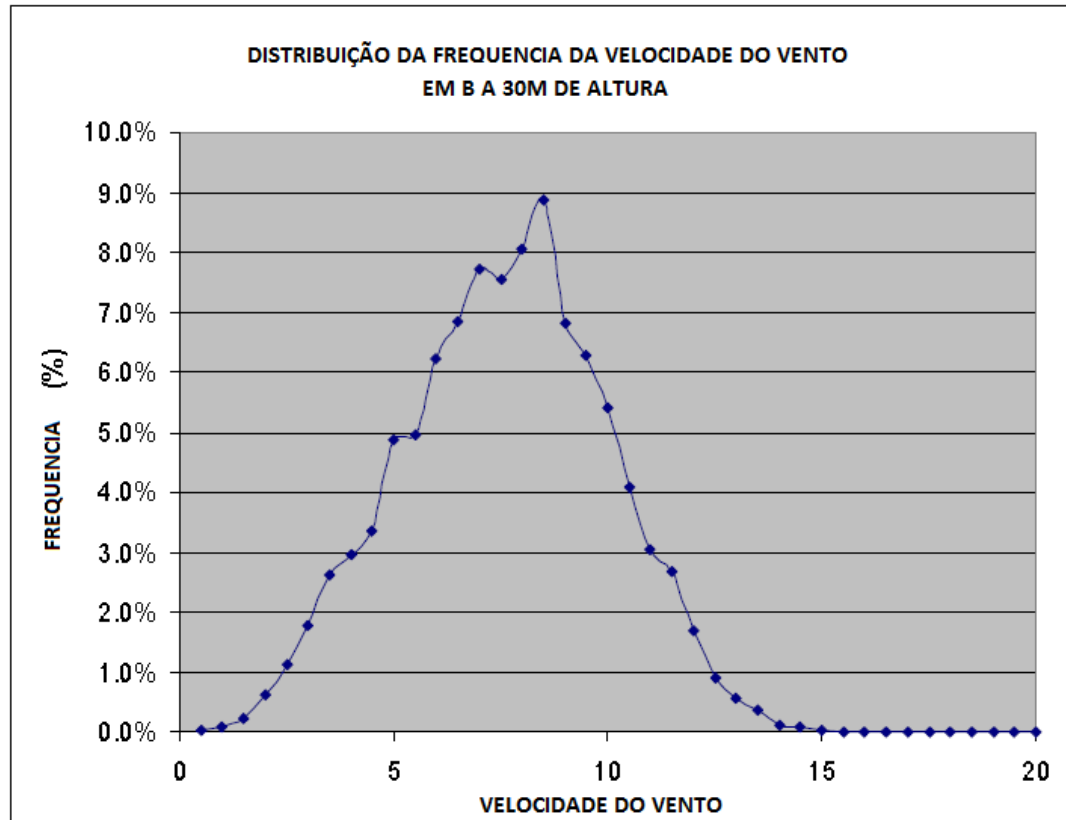


Figura 21 – Distribuição de frequência da velocidade do vento em B a 30 m.

5.7 Estimativa da velocidade do vento a longo prazo

Para realizar uma estimativa da velocidade média do vento a um longo-prazo no local candidato para o parque eólico, é necessária uma estação de medição de vento no local onde será implementado o parque, ou uma estação próxima. Neste caso, a referência é a torre no parque do projeto M, localizada a 465 km sudeste do local do projeto B.

A altura do centro das turbinas Clipper Liberty é de 80 m, a velocidade do vento foi estimada aplicando o cisalhamento α do vento observado entre os níveis de 17 m e 30 m do projeto M, que era 0,09, foi adotada para representar as condições do vento a longo-prazo no local proposto pelo projeto B.

Aqui a Equação (2) é apresentada. Esta é a Equação (1) modificada, que nos permite estimar uma velocidade do vento (U_2) a uma altura, Z_2 de uma velocidade U_1 a uma altura Z_1 , de acordo com α expoente de cisalhamento.

$$U_2 = U_1 * (Z_2/Z_1)^\alpha \quad (2)$$

Quando a Equação (2) é aplicada, com $Z_1 = 30$ m e $U_1 = 8,0$ m/s, o resultado estimado da velocidade do vento de longo-prazo a um nível Z_2 de 80 m, é $U_2=8,7$ m/s.

5.8 Estimativa da energia

A estimativa de energia (E) foi calculada para 10 turbinas Clipper Liberty de 2,5 MW baseada na suposição que a velocidade do vento no local medida na torre do anemômetro é a velocidade média que poderia estar presente na turbina do parque em B, dado o fato de que não há um layout proposto para as 10 turbinas Clipper Liberty.

$$E = N * P * 8760 * F_c \quad (3)$$

A Equação (3) demonstra o cálculo utilizado para estimar a energia produzida pelo parque proposto pelo projeto B, onde E é a estimativa de energia produzida pelo parque que é dado em GWh, N é o número de turbinas do parque, P é a potencia nominal de cada turbina eólica dada em MW, a constante 8760 representa o número de horas em um ano e F_c é o fator de capacidade.

O fator de capacidade indica as horas equivalentes de plena potência. Pode-se exemplificar através de uma análise do projeto B, com 25 MW e um F_c de 41,5% significa que este parque tem (8760 horas / ano x 0,415 = 3635,4 h), ou seja, a produção de energia seria a mesma, caso o parque eólico trabalhasse 3635,4 h durante o ano na potência nominal de 25 MW.

Portanto utilizando a Equação (3), com os valores $N=10$, $P=2,5$ e $F_c=41,5\%$, obtêm-se uma estimativa de energia gerada pelo parque do projeto B de 90.885,0 MW, ou seja, o total de energia gerada pelo parque em um ano seria equivalente a 90,9 GWh aproximadamente.

Tabela 6 – Sumario da produção das 10 turbinas Clipper Liberty em B.

Detalhes	
Número de unidade	10
MW instalados	25,0
GWh produzido	90,9
Fator de capacidade	41,5%

Os dados de vento coletados no parque do projeto M no Brasil foram analisados por um período de 16 meses e utilizados para projetar uma produção de energia a longo-prazo para as 10 turbinas Clipper Liberty 2,5 MW pelo projeto B. A energia líquida anual de longo prazo foi projetada a 90,9 GWh (FC = 41,5%) para uma potência nominal de 25 MW, estimativa que é considerada boa, pois os projetos executivos demonstram que atualmente são gerados 112,6 GWh (FC=45%) para uma potência nominal de 28,8 MW. Portanto a avaliação aqui realizada demonstrou-se coerente com o real executado no Parque B, alvo deste estudo de caso. As divergências que possam existir entre esta avaliação e o projeto executado podem ser explicadas pela instalação de outros modelos de turbinas que não foram levantadas neste estudo.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia eólica, vista ao longo deste trabalho, está ganhando espaço nas matrizes energéticas mundiais como forma complementar de energia, pois se tem mostrado como uma fonte alternativa de energia limpa.

A sociedade conscientizou-se de que é possível obter uma maior qualidade de vida sem a necessidade de destruir o meio ambiente, o chamado desenvolvimento sustentável.

Através da energia eólica é possível auxiliar no atendimento da demanda de energia elétrica e o mais importante é que deixamos de emitir gases nocivos à nossa saúde e desta forma contribui-se para a diminuição do Efeito Estufa.

Foi visto o estudo da arte da geração eólica no Brasil e no mundo, e os dados mostram uma forte tendência na aplicação e investimentos em tecnologia e infraestrutura no setor eólico o que torna este tipo de geração atrativa para os investidores do ramo de geração de energia através das fontes eólicas.

Com o passar dos anos os custos de operação e manutenção vem diminuindo em relação aos anos anteriores, atraindo empresas que exploram a geração de energia elétrica através dos ventos.

Este trabalho apresenta através de um estudo de caso e de pesquisa bibliográfica, o procedimento para a exploração de energia eólica demonstrando a sua viabilidade e importância no esforço de dar uma maior confiabilidade à matriz energética nacional, principalmente em um momento em que as preocupações com a agressão ao meio ambiente provocada pelos grandes projetos hidrelétricos na região amazônica, onde se localiza o maior potencial para atendimento as necessidades futuras, dificultam e ameaçam até inviabilizar o aproveitamento destes enormes recursos.

O estudo dos ventos é muito importante, pois influencia na escolha dos geradores e do local de implantação do parque eólico para que se tenha o máximo aproveitamento dos aerogeradores escolhidos para compor as instalações do parque.

O local de implantação do parque deve ser criteriosamente escolhido e analisado para que se obtenham os valores de produção de energia satisfatórios no parque eólico, calculados através das fórmulas vistas neste trabalho.

Alguns tópicos que também são de extrema importância para o funcionamento do sistema eólico não foram abordados neste trabalho, ficando assim uma sugestão para trabalhos futuros, tais como, análise dos transitórios dos aerogeradores, a comparação de custos e

investimentos necessários à implementação de uma usina eólica comparada a outras fontes de energia renováveis, interligação do parque eólico à rede elétrica através de *smart grid*.

REFERÊNCIAS

CRECESB. Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito/CEPEL Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=tutorial_eolica>. Acesso em: 10 mai. 2011.

DAHER, S. **Um sistema baseado em gerador de indução trifásico para aproveitamento da energia**. 1997. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.

DUARTE, H. N. M. **Utilização da energia eólica em sistemas híbridos de geração de energia visando pequenas comunidades**. 2004. 70 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. 259 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

GLOBAL WIND REPORT 2010. GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL – GWEC. Disponível em < <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/>>. Acesso em : 20 nov. 2011

HALF-YEAR REPORT 2011 – WORLD WIND ENERGY ASSOCIATION – WWEA. Disponível em < <http://www.wwindea.org/home/index.php> >. Acesso em : 15 nov. 2011

JÚNIOR, F. D. M. **Viabilidade técnica/econômica para produção de energia eólica, em grande escala , no nordeste** . 2009. 41 f. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal Lavras, Minas Gerais, 2009.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA E. B. O aproveitamento da energia eólica. São José dos Campos, v. 30, n. 1, p.1-2, 2008.

PERES, P. I. S. **Proposta de utilização da energia eólica e outras formas de energias alternativas como geração complementar na exploração e produção de petróleo**. 2009. 51 f. Monografia (Especialização em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal Lavras, Minas Gerais, 2009.

PLANETA SUSTENTÁVEL. Editora Abril. **Brasil é o país que produz energia eólica mais barata**. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/energia-eolica-brasil-custo-producao-barata-energia-limpa-vento-647114.shtml>>. Acesso em: 25 nov. 2011.

PLANETA SUSTENTÁVEL. Editora Abril. **Eólica: preço bate gás no Brasil**. Disponível em: < <http://planetasustentavel.abril.com.br/blog/planeta-urgente/eolica-preco-bate-gas-brasil-300371/>>. Acesso em: 2 nov. 2011.

RICOSTI, J. F. C. **Inserção da energia eólica no sistema hidrotérmico brasileiro**. 2011. 211 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SOARES, L. T. **Planejamento e implantação de um parque eólico**. 2010. 63 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMERICAN WIND ENERGY ASSOCIATION – AWEA. Disponível em: <<http://www.awea.org/>>. Acesso em: 12 nov. 2011

Associação Brasileira de Energia Eólica – Abeeólica. São Paulo. São Paulo. Disponível em : < <http://www.abeeolica.org.br/> >. Acesso em: 10 out. 2011.

GONÇALVES, F. F. **Energia eólica distribuída: Estudo da tecnologia e avaliação da viabilidade técnica do estado da Bahia.** 2008. 68 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2008.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2020 – PDE 2020. Empresa de Pesquisa Energética. Relatório final do PDE 2020. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

RENEWABLES 2011 GLOBAL STATUS REPORT. RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21 CENTURY - REN21. Disponível em: < <http://www.ren21.net/REN21Activities/Publications/GlobalStatusReport/tabid/5434/Default.aspx> >. Acesso em: 25 nov. 2011.

SALINO, P. J. **Energia eólica no Brasil: uma comparação do Proinfa e dos novos leilões.** 2011. 113 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.