



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

KENNEDY LUNA NUNES

**LEIAUTE DE PARQUES EÓLICOS: ESTUDO DE CASO DO
NORDESTE BRASILEIRO**

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2013

KENNEDY LUNA NUNES

LEIAUTE DE PARQUES EÓLICOS: ESTUDO DE CASO DO NORDESTE BRASILEIRO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
Centro de Engenharia Elétrica e Informática da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2013

KENNEDY LUNA NUNES

LEIAUTE DE PARQUES EÓLICOS: ESTUDO DE CASO DO NORDESTE BRASILEIRO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Centro de
Engenharia Elétrica e Informática da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia Eólica

Aprovado em / /

Professor Genoílton J. de C. Almeida
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela infinita misericórdia e graça para comigo, por me proporcionar ser mais que um vencedor, sendo que eu sempre fui o segundo em tudo que eu vivi. A Ele toda honra e toda Glória.

Agradeço aos meus pais, Claudio Nunes de Sousa e Marly Luna Nunes, pelo esforço para me proporcionar uma boa educação, carinho e dedicação, além do grande incentivo na minha formação profissional.

Agradeço a minha namorada, Sirlene Alves, pelo grande apoio, incentivo e paciência.

Agradeço ao professor Leimar de Oliveira, pela ajuda e tempo disponibilizados durante a orientação.

Agradeço aos amigos, André Guimarães, Dayvson Faber, Ramsés Gonçalves e Wesley Chaves, que fiz durante a graduação e que tanto me ajudaram e me acompanharam nessa caminhada.

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho.

*“O sucesso nasce do querer, da determinação
e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo,
quem busca e vence obstáculos,
no mínimo fará coisas admiráveis”*

José de Alencar

RESUMO

Durante o processo de planejamento de um parque eólico, um aspecto importante a ser estudado é o melhor aproveitamento da área disponível. No entanto, um aumento no número de aerogeradores conduz à redução das distâncias entre cada turbina eólica, ocasionando uma queda significativa na produção global do parque devido ao efeito esteira. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um estudo de caso do leiaute de parques eólicos situados no Nordeste brasileiro, onde, considerando a direção preferencial dos ventos, características das turbinas eólicas e suas respectivas posições, são analisadas as distâncias mínimas que devem existir entre as turbinas (na direção perpendicular ao sentido do vento e na direção predominante do vento) para amenizar o efeito esteira. Inicialmente, são apresentados dados sobre o desenvolvimento da energia eólica no Brasil e no mundo. Em seguida, são elucidados os conceitos referentes ao estudo dos ventos, turbinas eólicas e o efeito esteira. Posteriormente, são apresentados os principais fatores que influenciam no projeto do leiaute de um parque eólico. Por fim, são apresentados os parques que foram realizados o estudo de caso, com seus respectivos resultados expostos e avaliados.

Palavras-chave: Parque Eólico, Efeito Esteira, Leiaute.

ABSTRACT

During the planning process of a wind farm, an important aspect to be studied is the best use of the available area. However, an increased number of wind turbines leads to a reduction of the distances between each wind turbine, causing a significant drop in the park's global production due to the track effect. In this context, this paper presents a study case of wind farms layout in northeast Brazil, where considering the preferred wind direction, the wind turbines characteristics and their positions, the minimum distances that must exist between the turbines are analyzed (in the perpendicular direction of the wind and the prevailing wind direction) to mitigate the treadmill effect. Initially, data describing wind energy development in Brazil and worldwide is presented. Then concepts related to the study of winds, wind turbines and the treadmill effect are elucidated. Subsequently the main factors that influence the design layout of a wind farm are presented. Finally, the case study parks are presented, with their respective results and evaluations.

Keywords: Wind Farm, Wake Effect, layout.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Capacidade instalada anualmente por região de 2005-2012(MW)	17
Figura 2 - Top 10 total de capacidade instalada Dez 2010 em (MW)	18
Figura 3 - Porcentagem da nova capacidade instalada em 2012 na Europa	19
Figura 4 - Potência anual instalada no Mundo 1996-2012(MW)	20
Figura 5 - Participação das fontes energéticas na geração de energia.	20
Figura 6 - Projeção da Evolução de Potência instalada no Brasil em kW/ano.	25
Figura 7- Distribuição geral dos ventos.....	26
Figura 8 - Exemplo do vento sobre as pás do rotor da turbina eólica.....	31
Figura 9 - Obstrução do vento por um edifício ou uma árvore de altura (H)	32
Figura 10 - Turbinas eólicas de eixo vertical (a) e horizontal (b).....	34
Figura 11 - Componentes de uma TEEH.....	35
Figura 12 - Efeito esteira	36
Figura 13 - Gráfico que relaciona a velocidade do vento com a potência disponível por m ² de área varrida pelo rotor de uma turbina eólica	39
Figura 14 - Instrumentos usados para medição do vento e ambientais Mastro e Sodar	40
Figura 15 - Evolução do tamanho e potência das turbinas eólicas	42
Figura 16 - Concretagem da fundação de um Aerogerador	45
Figura 17 - Valas para cabos de média tensão.....	46
Figura 18 - Transporte do pá de turbina eólica modelo B75 da Siemens de 75m.....	47
Figura 19 - Direções Predominantes anuais de ventos	49
Figura 20 - Usina eólica Pedra do Sal	50
Figura 21 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica Pedra do Sal	52
Figura 22 - Usina eólica Praia de Formosa.....	53
Figura 23 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Praia de Formosa	55
Figura 24 - Central Eólica da Prainha (Aquiraz - CE).....	56
Figura 25 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Prainha.....	57
Figura 26 - Usina eólica de Beberibe	58
Figura 27 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Beberibe	60
Figura 28 - Usina eólica de Praias de Parajuru	61
Figura 29 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Praias de Parajuru	62
Figura 30 - Usina eólica Bons Ventos	63
Figura 31 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica Bons Ventos	66
Figura 32 - Usina eólica Rio do Fogo.....	67
Figura 33 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica Rio do Fogo.....	69
Figura 34 - Usina eólica de Mataraca	70
Figura 35 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Mataraca	71
Figura 36 - Usina eólica Vale dos Ventos	72
Figura 37 - Disposição dos Aerogeradores da Usina eólica Vale dos Ventos	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas eólicas em operação no brasil	21
Tabela 2 - Comparativo de ruído com atividades cotidianas.	41
Tabela 3 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Pedra do Sal em latitude e longitude	51
Tabela 4 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Praia Formosa em latitude e longitude	54
Tabela 5 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica da Prainha em latitude e longitude	57
Tabela 6 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Beberibe em latitude e longitude	59
Tabela 7 - Localização dos aerogeradores da Usina eólica Praias de Parajuru em latitude e longitude	62
Tabela 8 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Bons Ventos em latitude e longitude	64
Tabela 9 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Rio do Fogo em latitude e longitude	68
Tabela 10 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Mataraca em latitude e longitude.....	71
Tabela 11 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Vale dos Venstos em latitude e longitude ...	73

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Ilustrações.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
Sumário.....	x
1 Introdução.....	12
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Estrutura do Trabalho.....	14
2 Panorama da Energia eólica.....	16
2.1 Energia Eólica no Mundo.....	16
2.2 Energia eólica no Brasil.....	20
3 Fundamentação Teórica.....	26
3.1 Origem dos ventos.....	26
3.2 Energia disponível no vento.....	27
3.3 Coeficiente de potência (Cp).....	28
3.4 Cálculo da velocidade do vento atrás da Turbina.....	30
3.5 Fatores que influenciam o vento.....	32
3.6 Turbinas eólicas.....	33
3.7 Efeito Esteira.....	36
4 Leiaute de parques eólicos.....	38
4.1 Parque Eólico.....	38
4.2 Local do parque eólico.....	38
4.3 Distribuição do vento.....	38
4.4 Os níveis de ruído em áreas circunvizinhas.....	40
4.5 Escolha da turbina eólica, Infra-estrutura e Redução de Custos.....	41
4.6 Considerações acerca da dimensão das turbinas eólicas.....	42
4.6.1 Razões para optar por turbinas maiores:.....	43
4.6.2 Razões para optar por turbinas maiores:.....	44
4.7 Fundações.....	44
4.8 Cabos.....	45
4.9 Estradas.....	46
4.10 Subestação.....	47
4.11 A Distância mínima entre as turbinas eólicas.....	47
5 Estudo de Caso.....	49
5.1 Usina Eólica Pedra do Sal.....	50
5.2 Usina Eólica de Praia Formosa.....	52
5.3 Usina Eólica de Prainha.....	56

5.4	Usina Eólica de Beberibe	58
5.5	Usina Eólica de Praias de Parajuru	61
5.6	Usina Eólica Bons Ventos.....	63
5.7	Usina Eólica Rio do Fogo	67
5.8	Usina Eólica de Mataraca	70
5.9	Usina Eólica Vale dos Ventos.....	72
6	Conclusão	76
BIBLIOGRAFIA.....		77

1 INTRODUÇÃO

A energia eólica é proveniente da movimentação das massas de ar, com origem em dois fenômenos permanentes, a rotação do planeta e seu aquecimento não uniforme pela radiação solar. Por sua forma de fluxo, o vento é considerado uma fonte renovável de energia. Há centenas de anos a humanidade se beneficia desta fonte de energia, com usos como os de barcos à vela e moinhos onde o vento é utilizado para a moagem de grãos. Com a evolução da tecnologia, o vento passou a ser utilizado para bombeamento de água, e nos tempos atuais, principalmente para a geração de energia elétrica.

Hoje em dia a energia eólica é vista como uma das fontes de energia renováveis mais promissoras, caracterizada por uma tecnologia madura e é aplicado principalmente na Europa e nos EUA. As turbinas eólicas são instaladas de forma isoladas ou em pequenos grupos de quatro ou cinco, e cada vez mais, em parques eólicos com quarenta e cinquenta unidades, que se tornaram uma paisagem habitual de muitos países europeus, nomeadamente a Alemanha, a Dinamarca, a Holanda e, mais recentemente, o Reino Unido e a Espanha.

No Brasil, as regiões Norte e Nordeste são consideradas áreas com o melhor potencial para aplicações da energia eólica no Brasil, pois apresentam várias vantagens importantes na escolha de investimento em geração de energia eólica, como um dos maiores potenciais para geração eólica. Várias instituições envolvem-se em mapeamento eólico de ambas as regiões, especialmente na costa, onde observam fortes ventos e quase constantes ao longo de todo o ano. Estudos realizados pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e pela Companhia Elétrica do Ceará (COELCE) mostram que a costa nordestina, entre o Rio Grande do Norte e Ceará, tem um recurso eólico estimado de cerca de 12.000 MW (CHESF-COELCE, 1996). Deve ser lembrado que a região Nordeste foi um dos pioneiros na instalação de energia eólica para utilização na geração de energia elétrica.

Alguns impactos ambientais desfavoráveis atribuídos a parques eólicos instalados em terra são: impacto visual e degradação da paisagem, ruído, cintilação de sombra, ofuscamento, interferência eletromagnética e danos à fauna e flora. Em geral, esses impactos são específicos do local e, portanto, fortemente dependentes da

localização selecionada para a instalação do parque eólico. Essas características aparentemente negativas podem ser significativamente amenizadas, e até mesmo eliminadas, através de planejamento adequado e também da aplicação de novas tecnologias (EWEA, 2009) (DUTRA, 2007).

Apesar do reconhecimento dos benefícios globais associados e a forte aceitação pública favorável à energia eólica, impactos locais associados a parques eólicos podem causar a forte oposição da comunidade local e/ou de grupos específicos ao desenvolvimento de empreendimentos eólicos. Essas duas dimensões controversas da energia eólica tornam a questão da localização de parques eólicos um problema bastante complexo, dado o número de impactos associados a parques eólicos e a incompatibilidade entre esses impactos, que são relativamente localizados e interferem em alguns domínios específicos, e o grande benefício público associado à energia eólica (SIMÃO, *et al.*, 2009).

A questão controversa da localização de parques eólicos ganhou notoriedade e passou a ser bastante discutida na Europa no início da década de 1990, em países onde a penetração da energia eólica crescia de forma expressiva. Desse ambiente de conflito nasceu, em 1994, o guia “Best Practice Guidelines for Wind Energy Development” da Associação Britânica de Energia Eólica (BWEA) (GIPE, 2003) (BWEA, 1994). Esse guia orienta o empreendedor desde a etapa inicial de seleção do sítio até o eventual descomissionamento do parque eólico, com intuito de garantir que o projeto seja “adequadamente localizado e sensivelmente desenvolvido” (BWEA, 1994). A Associação de Energia Eólica Europeia (EWEA) seguiu o exemplo da BWEA e incorporou o guia de “boas práticas” em 1999 (EWEA, 2002). Outros países publicaram seus próprios guias de “boas práticas” adaptados às condições locais e ao contexto regulatório nacional (AUSWEA, 2006) (GIPE, 2003).

No Brasil, podemos citar o “Manual de Avaliação Técnico-Econômica de Empreendimentos Eólico-Elétricos” (LACTEC, 2007) que se baseia na estrutura de projeto proposta originalmente pelo guia da BWEA, mas tem uma abordagem mais técnica propondo uma metodologia de avaliação de projetos eólicos adaptada a realidade brasileira.

1.1 OBJETIVOS

Os aerogeradores, ou turbinas eólicas, são máquinas que convertem a energia cinética do vento em energia mecânica, e a energia mecânica em energia elétrica, através do conjunto rotor-eixo-gerador. Contudo, não é possível transformar toda a energia contida no vento. A potência disponível no vento para uma determinada área depende da sua massa específica e é proporcional ao cubo da velocidade. Enquanto extrai energia do vento, uma turbina eólica deixa uma esteira à jusante caracterizada por velocidades de vento reduzidas e níveis de turbulência elevados. Uma turbina operando nesta esteira, ou dentro de um parque eólico onde um número de esteiras podem se sobrepor, assim vai então produzir menos energia e sofrer maior carga estrutural que uma turbina operando na corrente livre.

No projeto de parques eólicos, o *leiaute* é definido de acordo com a direção predominante do vento, de modo a se obter as menores perdas por esteira e é por esta razão que a localização das turbinas dentro de um parque eólico tem de ser efetuada de modo criterioso. Esse trabalho visa realizar um estudo de caso no *leiaute* de alguns parques eólicos instalados no nordeste brasileiro para verificação do espaçamento das turbinas e qual critério está sendo utilizado na sua instalação se estão sendo levadas em contas perdas causadas pelo efeito esteira.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este Trabalho está dividido em seis capítulos. Este, o primeiro, apresenta uma visão geral sobre a definição de energia eólica, como essa forma de energia tem sido aproveitada até os dias atuais, a produção energética no Brasil e no mundo e os principais problemas encontrados na realização de projetos de parques eólicos. No Segundo capítulo será apresentado dados referentes à situação atual da energia eólica no mundo, com ênfase para o Brasil e a região nordeste, sendo apresentados dados da capacidade instalada. No terceiro capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre a energia eólica, desde a origem dos ventos à potência disponível nele e ainda fatores que o influenciam, turbinas eólicas e o efeito esteira. No quarto capítulo serão apresentados

os principais fatores que são levados em conta, no leiaute do projeto de um parque eólico, como a escolha do local do parque, fundações, cabos, estradas e o principal assunto, que será o motivo do estudo deste trabalho, o efeito esteira. No capítulo cinco está descrito, o estudo de caso realizado em nove usinas situadas no litoral do nordeste brasileiro, abrangendo os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba. No capítulo seis serão feitas considerações finais sobre o estudo, levando-se em consideração tudo que foi apresentado e por fim, têm-se a bibliografia e fontes utilizadas para a pesquisa.

2 PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA

2.1 ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

O uso de turbinas eólicas para produção de eletricidade ganhou impulso durante a Segunda Guerra Mundial. Era uma forma dos países para economizar combustíveis fósseis. A guerra acabou e a eólica ficou. Mas na década de 70, com a crise do abastecimento de petróleo, alguns países foram forçados a procurar fontes alternativas de energia.

O alto custo de produção de energia, juntamente com as vantagens da energia eólica como fonte de energia renovável, amplamente disponível, tem levado vários países a estabelecer incentivos reguladores e direcionar investimentos para estimular a geração de energia eólica.

Os dois últimos estudos da World Wind Energy Association (WWEA) mostram um crescimento no uso de energia eólica no mundo. Os trabalhos, que avaliaram os anos de 2010 e o primeiro semestre de 2011 mostram que, ao todo, 86 países já utilizam essa fonte renovável para produzir eletricidade. Entre eles, há a China, que se tornou o país com a maior capacidade instalada, acrescentando 18.928 Megawatt (MW) em sua matriz, em um ano, bem como o centro da indústria eólica internacional.

Em 2005 a Alemanha liderou o ranking dos países produtores de energia através de energia eólica, mas em 2008 foi superado pelos EUA. Desde 2010, a China é o maior produtor de energia eólica. Em 2011, o total instalado neste país ultrapassou 62.000 MW (62 GW). Comparado com o de 44.000 GW até 2010, houve um aumento de 41%.

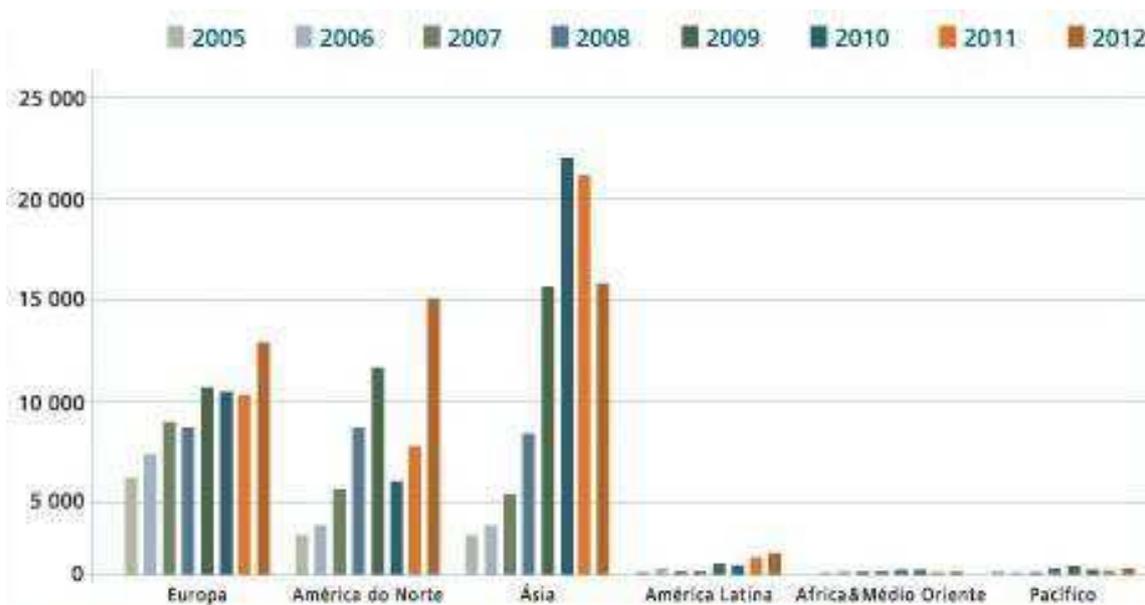


Figura 1 - Capacidade instalada anualmente por região de 2005-2012(MW)

Fonte: Adaptado de GWEC (2013)

Adicionando todas as turbinas eólicas que foram instaladas até o final de 2010, tem-se a capacidade do mundo para gerar 430 terawatt-hora (TWh) por ano, mais do que a demanda total de eletricidade no Reino Unido, sexta economia mundial. Para se ter uma idéia da magnitude da expansão da energia eólica no mundo, em 2007, a capacidade mundial foi de cerca de 59 GW, em 2008 cerca de 120 GW e, em 2009, 158 GW chegando em 2010 com um total de 197GW como pode ser visto na figura 2.

Esse aumento da participação da energia eólica no mundo está relacionado a vários fatores. Entre eles está a necessidade dos países poderem contar com uma fonte de energia segura. Além disso, o custo da instalação é decrescente e é isenta de emissões de CO₂ e de outros gases poluentes, além dos menores efeitos secundários sobre o meio ambiente.

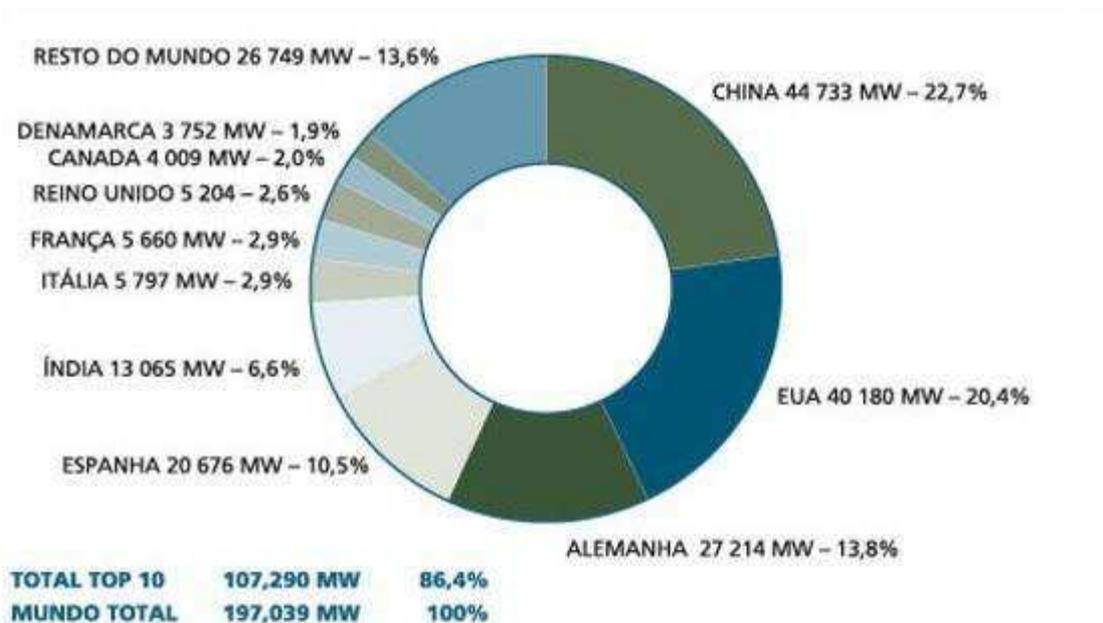


Figura 2 - Top 10 total de capacidade instalada Dez 2010 em (MW)

Fonte – Adaptado de GWEC (2010)

Em alguns países, a energia elétrica gerada a partir do vento representa uma parcela significativa da demanda. Na Dinamarca, representa 23% da produção, 6% na Alemanha e cerca de 8% em Portugal e Espanha (em setembro de 2007). Globalmente, a energia eólica não ultrapassa 1% do total gerado por todas as fontes.

É crescente a demanda global por energia. Espera-se que a demanda de energia global (e emissões de CO₂ correspondente) aumentará em 60% até 2030. O consumo global de petróleo aumentou 20% desde 1994, e prevê que a demanda global de petróleo cresça 1,6% ao ano. Os preços de petróleo e gás estão aumentando. Quase duplicou na UE ao longo dos últimos dois anos, e preços da eletricidade têm seguido essa tendência. Isto é difícil para os consumidores. Com o aumento da demanda global por combustíveis fósseis, os preços elevados de petróleo e gás são susceptíveis a essa demanda. Pode, no entanto, desencadear um aumento da eficiência energética e inovação no setor.

A Europa ainda não desenvolveu mercados energéticos plenamente competitivos. Apenas quando estes mercados existirem é que os cidadãos e empresas da UE possam desfrutar de todos os benefícios da segurança fornecimento e preços mais baixos. Para atingir este objetivo, devem ser desenvolvidas interconexões, estabelecidos e totalmente implementado na prática quadros legislativos e regulamentares eficazes, e devem ser aplicadas estritamente as regras de concorrência da UE. Além disso, a

consolidação do setor de energia deve ser orientada para o mercado, se a Europa a responder com sucesso para os muitos desafios que enfrentam e investir adequadamente para o futuro.

Esta é a nova paisagem energética do século XXI, em que as regiões econômicas do mundo dependem uns aos outros para garantir a segurança energética e as condições econômicas estáveis e desenvolver uma ação efetiva contra a mudança climática.

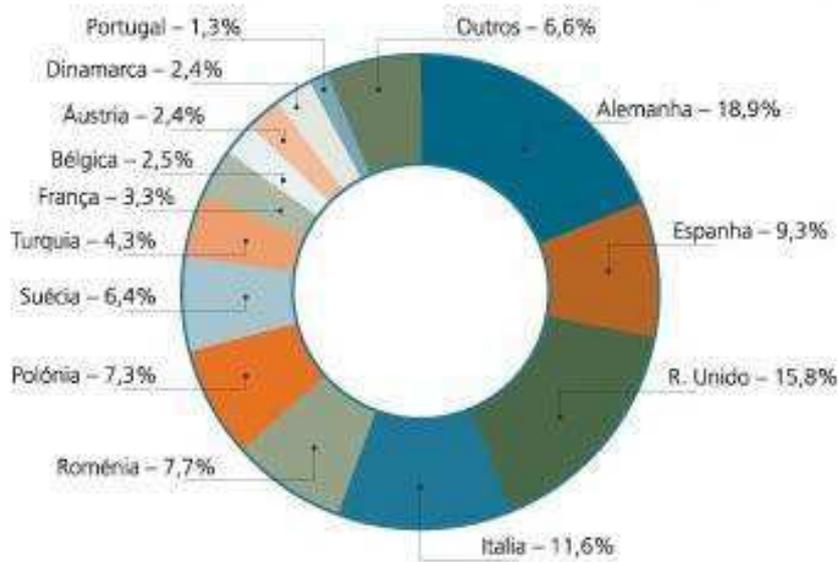


Figura 3 - Porcentagem da nova capacidade instalada em 2012 na Europa
Fonte – Adaptado INEGI (2012)

No cenário atual temos o crescimento do setor de energia eólica na China está sufocada por um acesso insuficiente a ligação à rede, enquanto um cenário de desaceleração parece ter voltado para os EUA, como resultado da incerteza sobre a validade de programas de incentivo. Na Alemanha e na Itália, os cortes tarifários e desafios relacionados com a ligação à rede de energia têm reduzido a atratividade no curto prazo, enquanto o fim de um importante benefício fiscal na Índia deve afetar o crescimento do setor eólico este ano. Por outro lado, muitos países, incluindo México e Chile anunciaram novas metas para a geração de energia limpa ou reafirmaram o apoio do governo por meio de incentivos. No entanto, a potência eólica instalada no mundo vai crescer significativamente nas próximas décadas e será uma parte importante da carteira de energias renováveis em muitos países.

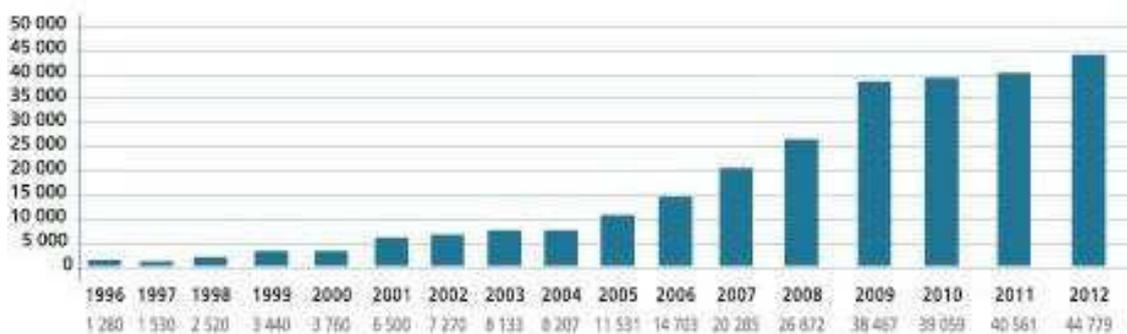


Figura 4 - Potência anual instalada no Mundo 1996-2012(MW)

Fonte - Adaptado de GWEC (2013)

2.2 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

No Brasil, a primeira turbina foi instalada em 1992, em Fernando de Noronha, mas foi a partir de 2005 que o parque eólico brasileiro aumentou de forma significativa.

Na matriz energética brasileira, a participação das energias renováveis não tem índices de grande relevância, excluindo a participação de geração de energia hidrelétrica, como se pode ser visto na Figura 5. No entanto, com alguns incentivos do governo federal, a participação das energias renováveis, especialmente eólica e biomassa, terão uma maior importância no sistema energético brasileiro.

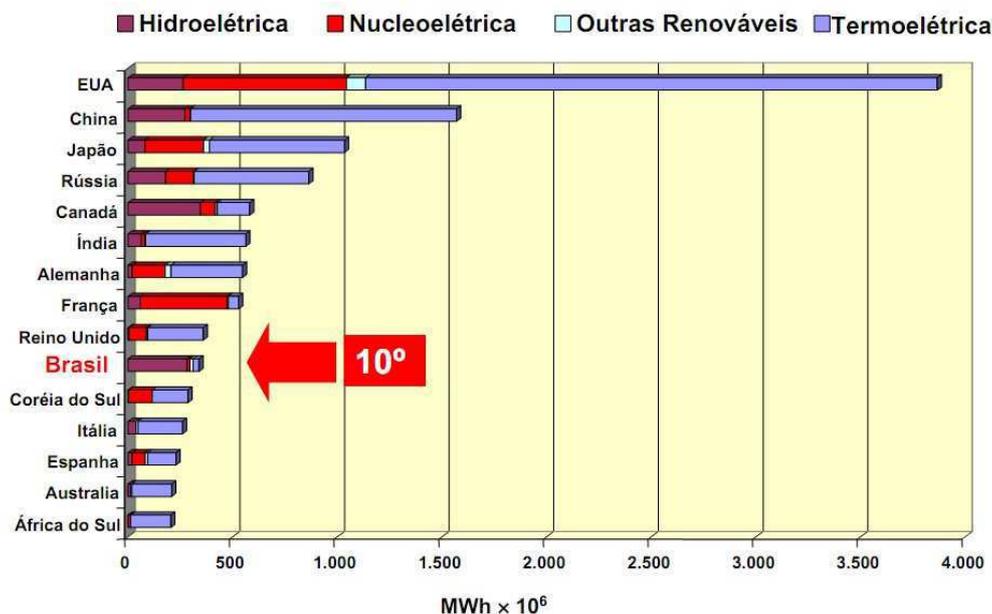


Figura 5 - Participação das fontes energéticas na geração de energia.

Fonte: ANEEL

O Brasil é hoje a 21^a posição no ranking dos países produtores. O primeiro é a China. Em seguida, vem os Estados Unidos, Alemanha, Espanha e Índia. Um dos maiores complexos de energia eólica é em Água Doce, Santa Catarina. Há 86 torres. Em Osório, Rio Grande do Sul, são 75 aerogeradores capazes de produzir 150 megawatts de energia. Mas o Nordeste é o campeão nacional de geração de energia eólica. O Ceará detém 40% da capacidade do país. Existem 17 parques e já existem turbinas eólicas residenciais para o consumidor produzir a sua própria energia.

Em nenhuma parte do Brasil a energia eólica provocou mudanças tão importantes quanto o Rio Grande do Norte. Até dois anos atrás, o Estado foi obrigado a importar energia elétrica para atender a demanda. Mas os bons ventos da região atraíram os investidores. Dez parques eólicos foram construídos. Outros 30 estão em construção. Até 2014, o Rio Grande do Norte é o maior produtor de energia eólica no Brasil.

De acordo com a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, até setembro de 2003, O Brasil tinha, em operação, apenas seis parques eólicos com capacidade instalada total de 22MW, mas até o ano de 2009, a matriz elétrica tinha 33 usinas em operação e mais de 414 MW de capacidade instalada total. Hoje o Brasil possui 96 usinas com um potencial total de 2109MW. Com aerogeradores, alguns da altura de um prédio de 50 andares, em nove estados. Possui ainda nove fábricas e aerogeradores que estão sendo exportados (Um aerogerador custa entre R\$ 4,5 milhões e R\$ 5 milhões). A localização dessas 96 usinas, juntamente com outras informações é mostrada na Tabela 1.

*Tabela 1 - Usinas eólicas em operação no Brasil
Fonte - ANEEL*

Usina	Potência Fiscalizada (kW)	Proprietário	Município
Eólica de Prainha	10.000	Wobben Wind Power Industria e Comércio Ltda	Aquiraz - CE
Eólica de Taíba	5.000	Wobben Wind Power Industria e Comércio Ltda	São Gonçalo do Amarante - CE
Eólio - Elétrica de Palmas	2.500	Copel Geração e Transmissão S.A.	Palmas - PR
Parque Eólico de Beberibe	25.600	Eólica Beberibe S.A.	Beberibe - CE
Mucuripe	2.400	Wobben Wind Power Industria e Comércio Ltda	Fortaleza - CE
RN 15 - Rio do Fogo	49.300	Energias Renováveis do Brasil S.A.	Rio do Fogo - RN
Praia do Morgado	28.800	Central Eólica Praia do Morgado S/A	Acaraú - CE
Volta do Rio	42.000	Central Eólica Volta do Rio S/A	Acaraú - CE

Alegria II	100.650	New Energy Options Geração de Energia S/A	Guamaré - RN
Alegria I	51.000	New Energy Options Geração de Energia S/A	Guamaré - RN
Pirauá	4.950	Eólica Pirauá Geradora de Energia S.A.	Macaparana - PE
Eólica de Bom Jardim	600	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda	Bom Jardim da Serra - SC
Foz do Rio Choró	25.200	SIIF Cinco Geração e Comercialização de Energia S.A.	Beberibe - CE
Praia Formosa	105.000	Eólica Formosa Geração e Comercialização de Energia S.A.	Camocim - CE
Eólica Canoa Quebrada	10.500	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Lagoa do Mato	3.230	Rosa dos Ventos Geração e Comercialização de Energia S.A.	Aracati - CE
Parque Eólico do Horizonte	4.800	Central Nacional de Energia Eólica Ltda	Água Doce - SC
Eólica Icaraizinho	54.600	Eólica Icaraizinho Geração e Comercialização de Energia S.A.	Amontada - CE
Eólica Paracuru	25.200	Eólica Paracuru Geração e Comercialização de Energia S.A.	Paracuru - CE
Parque Eólico Elebrás Cidreira 1	70.000	Elebrás Projetos S.A	Tramandaí - RS
Eólica Praias de Parajuru	28.804	Central Eólica Praia de Parajuru S/A	Beberibe - CE
Gargaú	28.050	Gargaú Energética S.A.	São Francisco de Itabapoana - RJ
Pedra do Sal	18.000	Eólica Pedra do Sal S.A.	Parnaíba - PI
Parque Eólico Enacel	31.500	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	Aracati - CE
Macau	1.800	Petróleo Brasileiro S/A	Macau - RN
Canoa Quebrada	57.000	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	Aracati - CE
Eólica Água Doce	9.000	Central Nacional de Energia Eólica Ltda	Água Doce - SC
Parque Eólico de Osório	50.000	Ventos do Sul Energia S/A	Osório - RS
Parque Eólico Sangradouro	50.000	Ventos do Sul Energia S/A	Osório - RS
Parque Eólico de Palmares	8.000	Parques Eólicos Palmares S.A.	Palmares do Sul - RS
Taíba Albatroz	16.500	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante - CE
Parque Eólico dos Índios	50.000	Ventos do Sul Energia S/A	Osório - RS
Bons Ventos	50.000	Bons Ventos Geradora de Energia S.A.	Aracati - CE
Xavante	4.950	Eólica Gravatá - Geradora de Energia S.A.	Pombos - PE
Mandacaru	4.950	Eólica Gravatá - Geradora de Energia S.A.	Gravatá - PE
Santa Maria	4.950	Eólica Gravatá - Geradora de Energia S.A.	Gravatá - PE
Gravatá Fruitrade	4.950	Eólica Gravatá - Geradora de Energia S.A.	Gravatá - PE
Millennium	10.200	SPE Millennium Central Geradora Eólica S/A	Mataraca - PB
Púlpito	30.000	Púlpito Energia Eólica S.A.	Bom Jardim da Serra - SC
Aquibatã	30.000	Aquibatã Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC

Santo Antônio	3.000	Santo Antônio Energia Eólica S.A.	Bom Jardim da Serra - SC
Cascata	6.000	Cascata Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC
Rio do Ouro	30.000	Rio de Ouro Energia Eólica S.A.	Bom Jardim da Serra - SC
Salto	30.000	Salto Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC
Bom Jardim	30.000	Bom Jardim Energia Eólica S.A.	Bom Jardim da Serra - SC
Campo Belo	10.500	Campo Belo Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC
Amparo	22.500	Amparo Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC
Cruz Alta	30.000	Cruz Alta Energia Eólica S.A.	Água Doce - SC
Vitória	4.500	Cardus Energia Ltda.	Mataraca - PB
Presidente	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Camurim	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Albatroz	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Coelhos I	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Coelhos III	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Atlântica	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Caravela	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Coelhos II	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Coelhos IV	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Mataraca	4.800	Vale dos Ventos Geradora Eólica S.A	Mataraca - PB
Alhandra	6.300	Cedin do Brasil Ltda	Alhandra - PB
Aratuá I	14.400	Brasventos Aratuá 1 Geradora de Energia S.A	Guamaré - RN
Mangue Seco 3	26.000	Eólica Mangue Seco 3 – Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S.A.	Guamaré - RN
Macaúbas	35.070	Macaúbas Energética S.A.	Brotas de Macaúbas - BA
Mangue Seco 2	26.000	Eólica Mangue Seco 2 – Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S.A.	Guamaré - RN
Mangue Seco 1	26.000	Eólica Mangue Seco 1 – Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S.A.	Guamaré - RN
Osório 2	24.000	Ventos do Litoral Energia S.A.	Osório - RS
Pedra do Reino	30.000	Eólica Pedra do Reino S.A.	Sobradinho - BA
Icarai	16.800	Eólica Icarai Geração e Comercialização de Energia S.A	Amontada - CE
Mangue Seco 5	26.000	Eólica Mangue Seco 4 – Geradora e Comercializadora de Energia Elétrica S.A.	Guamaré - RN
Barra dos Coqueiros	34.500	Energen Energias Renováveis S.A.	Barra dos Coqueiros - SE
Dunas de Paracuru	42.000	VENTOS BRASIL GERACAO E COMERCIALIZACAO DE ENERGIA ELETRICA S.A.	Paracuru - CE
Novo Horizonte	30.060	Novo Horizonte Energética S.A	Brotas de Macaúbas - BA
Seabra	30.060	Seabra Energética S.A	Brotas de Macaúbas - BA
Sangradouro 3	24.000	Ventos da Lagoa S.A	Osório - RS
Parque Eólico Cabeço Preto	19.800	Gestamp Eólica Baixa Verde S.A	João Câmara - RN

Fazenda Rosário 3	14.000	Parques Eólicos Palmares S.A.	Palmares do Sul - RS
Fazenda Rosário	8.000	Parques Eólicos Palmares S.A.	Palmares do Sul - RS
Cerro Chato I (Antiga Coxilha Negra V)	30.000	Eletrosul Centrais Elétricas S/A	Santana do Livramento - RS
Cerro Chato II (Antiga Coxilha Negra VI)	30.000	Eletrosul Centrais Elétricas S/A	Santana do Livramento - RS
Cerro Chato III (Antiga Coxilha Negra VII)	30.000	Eletrosul Centrais Elétricas S/A	Santana do Livramento - RS
IMT	2,50	Electra Power Geração de Energia Ltda	Boituva - SP
Quixaba	25.500	Central Eólica Quixaba S.A	Aracati - CE
Miassaba II	14.400	MIASSABA GERADORA EÓLICA S.A.	Guamaré - RN
Sangradouro 2	26.000	Ventos da Lagoa S.A	Osório - RS
Pedra Branca	30.000	Pedra Branca S/A	Sento Sé - BA
Osório 3	26.000	Ventos do Litoral Energia S.A.	Osório - RS
Mel 02	20.000	Mel 2 Energia Renovável S/A	Areia Branca - RN
Sete Gameleiras	30.000	Sete Gameleiras S/A	Sento Sé - BA
São Pedro do Lago	30.000	São Pedro do Lago S/A	Sento Sé - BA
Fazenda Rosário 2	20.000	Parques Eólicos Palmares S.A.	Palmares do Sul - RS
Parque Eólico Cabeço Preto IV	19.800	Gestamp Eólica Moxotó S.A	João Câmara - RN
Ventos do Brejo A-6	6	Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis – CTGAS-ER	Brejinho - RN
Pedra do Reino III	18.000	Gestamp Eolicatec Sobradinho S.A	Sobradinho - BA
Caminho da Praia	2.000	Wind Power Energia S/A	Cabo de Santo Agostinho - PE
Clóvis Ferreira Minare	156	Clóvis Ferreira Minare	Iturama - MG
PGM	2,60	Roseana Sarney Murad	Paço do Lumiar - MA
Total: 96 Usina(s)		Potência Total: 2.109.341,10 kW	

É interessante notar que até Setembro de 2003 a ANEEL teve registros em mais de 92 projetos autorizados no negócio de geração de energia elétrica através da energia eólica. Isso mostra um aumento perceptível no incentivo e na crescente participação da energia eólica na matriz energética nacional.

O Brasil tem uma enorme extensão territorial e um litoral com mais de 8.000 km, um aspecto de fundamental importância, além disso, estudos mostram que grande parte do país tem um potencial para geração eólico. De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro de 2001, o potencial de energia eólica foi estimada em mais de 272 TWh/ano. Este potencial foi estimada com base nos resultados do estudo Atlas do

Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL, 2001) com base na tecnologia dos aerogeradores disponíveis na época a uma altura de 50m. . Tendo em vista a melhoria da eficiência das turbinas eólicas modernas e o aumento da altura da instalação de 80 a 120 m (velocidade do vento aumenta com a altura, devido ao comportamento do perfil vertical do vento na camada limite atmosférica), este potencial é atualmente considerado como muito conservadora. Hoje o potencial eólico brasileiro é estimado em 300GW e a expectativa do setor elétrico brasileiro é de contratar pelo menos 2,0 GW por ano até 2020, acrescentando, a partir de 2012, mais 20GW de energia eólica ao sistema e movimentando cerca de USD50bi. Dados que serão tratados no Brazil Windpower, na 4ª Conferência e Feira de Negócios, promovido anualmente pela ABEEólica, GWEC e Grupo CanalEnergia, uma oportunidade para fazer negócios no mercado de energia eólica. Que será realizado em setembro de 2013. Na figura abaixo uma projeção da evolução de potência instalada no Brasil.

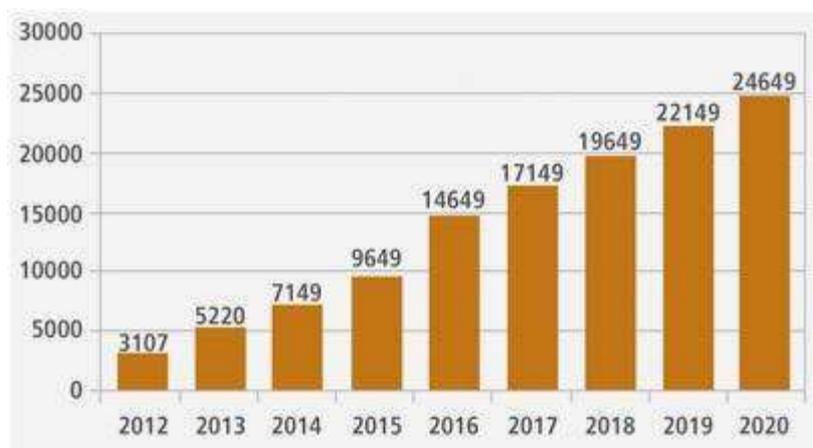


Figura 6 - Projeção da Evolução de Potência instalada no Brasil em kW/ano.
Fonte: Brazil Windpower

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ORIGEM DOS VENTOS

Os ventos são causados pelas diferenças de pressão ao longo da superfície da Terra, devido, em primeiro lugar, a radiação solar na terra ser maior nas zonas equatoriais do que nas regiões polares e, segundo, a rotação da Terra e as variações sazonais de distribuição da energia solar incidente. A fonte do vento é, por conseguinte, a radiação solar.

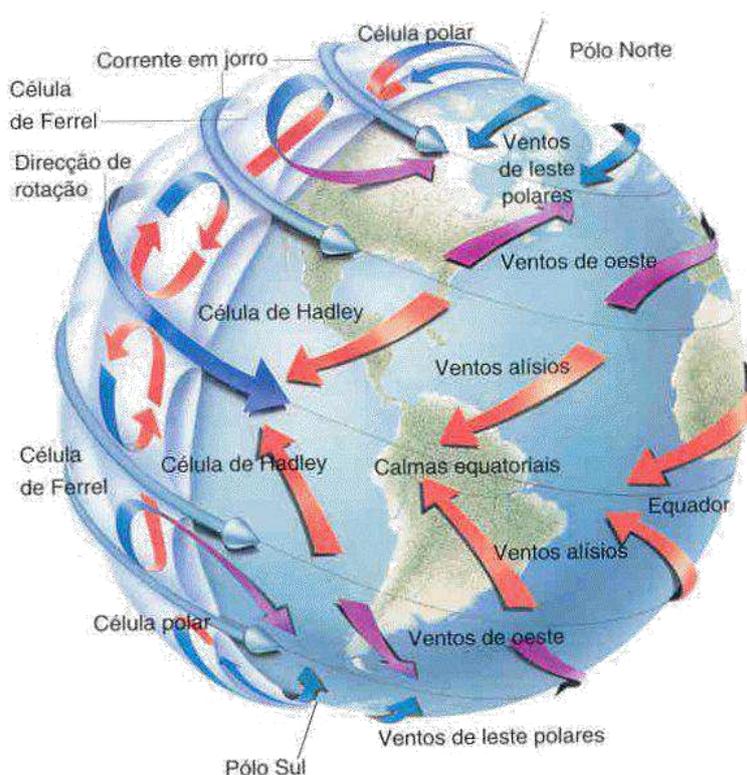


Figura 7- Distribuição geral dos ventos
 Fonte : <http://ventos.pbworks.com>

Os ventos mais fortes, mais estáveis e mais persistentes ocorrem em bandas localizadas a cerca de 10 km da superfície da Terra. Como não é possível colocar as turbinas nessas áreas, a área de interesse é limitada a algumas dezenas de metros na atmosfera. Nestas alturas, o vento é diretamente afetado pelas forças de atrito (devido ao

atrito da massa de ar movendo-se com a superfície da terra, o que provoca uma diminuição da sua velocidade.

3.2 ENERGIA DISPONÍVEL NO VENTO

A potência de uma turbina eólica é obtida através da conversão de energia eólica em torque, o que é rodar as pás do rotor da turbina. A quantidade de energia transferida para o rotor dependerá da densidade do ar (ρ), da área das lâminas do rotor (A) e de velocidade do vento (v_0).

Deste modo, a existência de uma massa de ar (m), que se move de uma maneira constante e uniforme a uma velocidade v_0 , tem associado a si uma energia cinética será a energia disponível para uma turbina eólica.

Uma vez que a energia disponível no vento associada com o movimento desta massa de ar, que se aproxima à velocidade v_0 às lâmina do rotor de uma turbina eólica é dada por:

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \cdot v_0^2 \quad (1)$$

À medida que o fluxo de massa de ar que atravessa as pás do rotor é dado por:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \rho \cdot A \cdot v_0 \quad (2)$$

No caso de uma turbina eólica, as pás do rotor de raio r_{rot} a girar, a área varrida pelas pás corresponde a uma área circular:

$$A = \pi r_{rot}^2 \quad (3)$$

Substituindo (3) em (2) e, em seguida, (1) e rearranjando, obtemos a seguinte equação da potência disponível no vento para a área correspondente à área varrida pelas pás da turbina:

$$P_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot v_0) \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \rho \pi \cdot r_{rot}^2 \cdot v_0^3 \quad (4)$$

Como pode ser visto, a energia eólica disponível irá variar com o cubo da velocidade, ou seja, se a velocidade dobrar, a potência aumenta oito vezes, enquanto que o aumento da área varrida pelas pás para o dobro fará com que a potência aumente duas vezes. Portanto, chegamos à conclusão que, embora esses dois fatores são importantes, ao escolher o local para a construção de um parque eólico, o valor da velocidade do vento no local é o mais relevante.

3.3 COEFICIENTE DE POTÊNCIA (CP)

O coeficiente de uma turbina eólica expressa a eficiência da conversão de energia eólica em energia elétrica, porque apenas uma fração da energia cinética total do ar que atravessa as pás da turbina pode ser convertida em energia mecânica no rotor.

Supondo que a velocidade do vento não perturbado que incide nas pás da turbina é v_0 e a velocidade do vento do lado oposto das pás, ou seja, que “sai” da turbina (vento turbulento e com velocidade reduzida em relação a v_0 é v_{w0} , então a potência mecânica teórica máxima disponível no veio da turbina é dada por:

$$P_{mec_teo} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial m}{\partial t} \cdot (v_0^2 - v_{w0}^2) \quad (5)$$

De acordo com [1,2,3] segue-se que, se em (5), $v_{w0} = v_0$, a potência extraída do vento seria zero, pois seria como se as pás do rotor da turbina não existissem, e não há nenhuma conversão de energia. Se $v_{w0} = 0$, a potência mecânica no eixo seria zero, porque as pás da turbina não iriam deixar passar nenhum vento (atuando como uma parede), o que implica um fluxo de massa de ar zero, em seguida, também de potência nula.

Supondo que a velocidade média do vento que atravessa as pás do rotor é [1,3]:

$$v_{med} = \frac{v_0 + v_{w0}}{2} \quad (6)$$

E que o fluxo de massa de ar que atravessa as pás do rotor pode agora ser dado por:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \rho \cdot A \cdot v_{med} \quad (7)$$

Obtém-se a seguinte equação para a potência mecânica máxima teórica substituindo (6) em (7) e depois em (5):

$$P_{mec_teo} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot A \cdot (v_0^2 - v_{w0}^2) \cdot (v_0 + v_{w0}) \quad (8)$$

O razão entre a potência mecânica teórica e a potência total disponível no vento é conhecido como o coeficiente de potência teórico:

$$Cp_{teo} = \frac{P_{mec_teo}}{P_0} \quad (9)$$

A aplicação das equações (8) e (4) na equação (9) chega-se a:

$$Cp_{teo} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_{w0}}{v_0} \right) \cdot \left(1 - \frac{v_{w0}^2}{v_0^2} \right) \quad (10)$$

Note-se que Cp_{teo} representa um valor teórico do coeficiente de potência, e que a potência mecânica atual da turbina é menor do que a dada por (8), devido às perdas mecânicas. Assim o coeficiente de potência real da turbina que corresponde ao verdadeiro valor da potência mecânica extraída do vento é dado através de:

$$Cp = Cp_{teo} \cdot \eta \quad (11)$$

Onde η representa o rendimento das perdas mecânicas acima referidas e que varia entre 0 e 1, e depois facilmente chegar-se à conclusão de que:

$$Cp_{teo} = \frac{P_{mec_teo}}{P_0} \Leftrightarrow Cp = \frac{P_{mec_teo}}{P_0} \cdot \eta \Leftrightarrow Cp = \frac{P_{mec}}{P_0} \quad (12)$$

Apesar da equação (12) ser considerada à fórmula correspondente ao Cp , os fabricantes de turbinas eólicas normalmente já incluem as perdas elétricas na curva de Cp das turbinas, e é mais comum usar:

$$Cp = \frac{P_e}{P_0} \quad (13)$$

Onde P_e é a potência elétrica da turbina eólica.

3.4 CÁLCULO DA VELOCIDADE DO VENTO ATRÁS DA TURBINA

A velocidade do vento atrás da turbina (que "sai" da turbina) que é v_{w0} é exemplificada na seguinte figura:

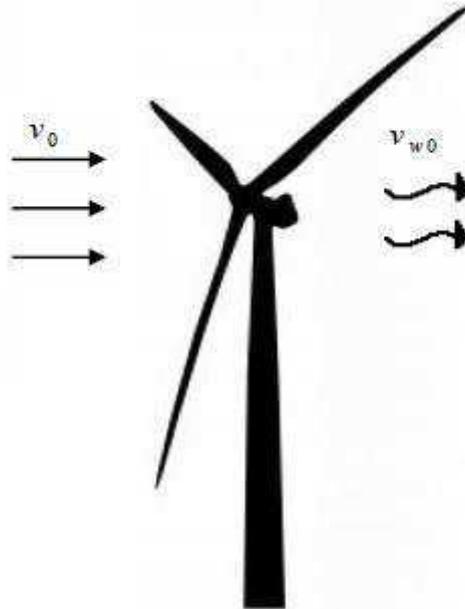


Figura 8 - Exemplo do vento sobre as pás do rotor da turbina eólica.

Para o cálculo do v_{w0} , não só é preciso saber a velocidade do vento incidente não perturbado v_0 , mas calcular o valor correspondente de $C_{p_{teo}}$, usando a equação (10).

O valor máximo é obtido ao derivar à equação (10) em ordem a v_{w0}/v_0 e igualar $C_{p_{teo}}$ a zero, daí advém que:

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{v_{w0}^2}{v_0^2} + \frac{v_{w0}}{v_0} - \frac{1}{2} = 0 \quad (14)$$

Resolvendo esta equação do segundo grau temos que:

$$\frac{v_{w0}}{v_0} = \frac{1}{3} \Rightarrow v_{w0} = \frac{1}{3} \cdot v_0 \quad (15)$$

Assim substituindo (15) em (10) obtém-se o valor máximo de $C_{p_{teo}} = 16/27 \approx 59,3\%$ sendo mais conhecido como limite de Betz, que constata que é

impossível extrair mais de 59,3% da potência disponível no vento. Como o valor mínimo de $C_{p_{teo}}$ é zero, os limites deste valor já podem ser definidos entre $0 \leq C_{p_{teo}} \leq 16/27$.

3.5 FATORES QUE INFLUENCIAM O VENTO

O vento próximo à superfície da Terra é fortemente influenciado pela natureza da superfície do terreno, cuja descrição detalhada é denominada topografia. A interação entre o vento e a superfície acontece em uma ampla faixa de escalas de comprimento, e muito esforço da meteorologia da camada limite tem sido empreendido na separação dessa faixa de escalas em um número de domínios característicos capazes de serem descritos sistematicamente, modelados e/ou parametrizados. A meteorologia da energia eólica, que tem interesse na faixa atmosférica de 10 a 200 m acima do solo, divide os efeitos da topografia em três categorias típicas (PETERSEN, *et al.*, 1998):

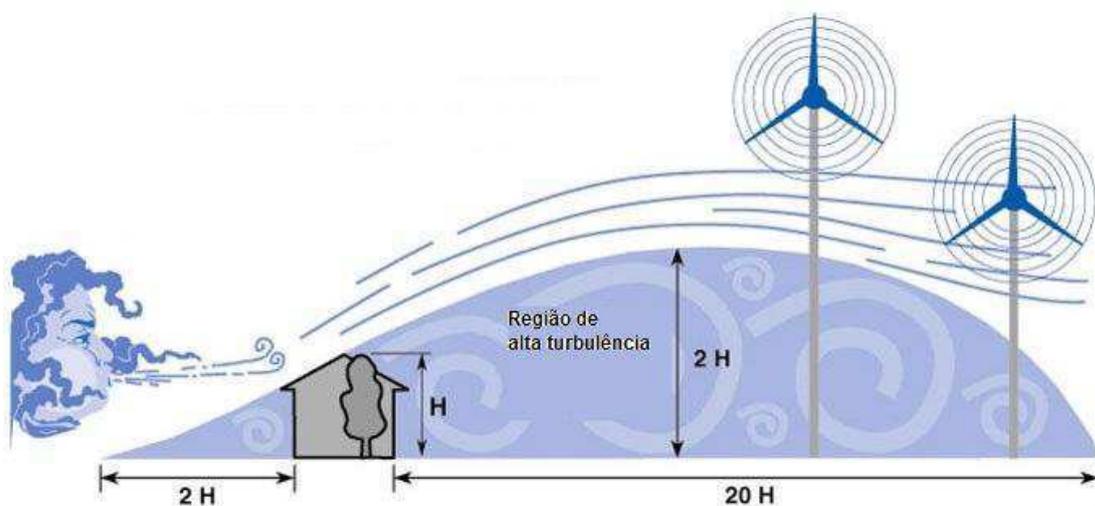


Figura 9 - Obstrução do vento por um edifício ou uma árvore de altura (H)
Fonte - Adaptado de <http://energialateral.pt/energia-eolica.html>

- Rugosidade: O efeito conjugado na superfície do solo e os seus elementos irregulares, que conduzem a uma diminuição do vento perto da superfície, é referido como a rugosidade do terreno. A área de

interesse deve estar localizada o mais distantes dos elementos individuais de rugosidade e a altura da torre da instalação de turbinas eólicas geralmente sua altura é muito maior.

- **Obstáculos:** próximo a um obstáculo como uma construção ou faixa de abrigo o vento é fortemente influenciado pela presença do obstáculo, que reduz consideravelmente a velocidade do vento. Em nenhuma circunstância o ponto de interesse deve estar próximo do obstáculo individual e a uma altura comparável com a altura do obstáculo.
- **Orografia:** Quando o intervalo típico de características do terreno torna-se muito maior do que a altura do ponto de interesse, eles agem como elementos de orografia do vento, perto do ápice ou cumes de morros, falésias, cordilheiras e escarpas o vento vai acelerar, enquanto perto do sopé e em vales ele vai abrandar.

3.6 TURBINAS EÓLICAS

Turbinas Eólicas, ou Aero geradores, são máquinas que removem a energia cinética do vento e transformam em energia mecânica. Tipicamente, estas máquinas são utilizadas para geração de eletricidade através do acoplamento com os geradores, mas também, essas turbinas podem ser usadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos.

As turbinas eólicas são classificadas de acordo com sua forma construtiva:

- Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH), e
- Turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV).

Já quanto à sua potência nominal:

- Pequeno Porte (até 50kW de potência),
- Médio Porte (potência de 50 a 1000kW), e
- Grande Porte (acima de 1MW de potência).



(a) (b)
Figura 10 - Turbinas eólicas de eixo vertical (a) e horizontal (b)
Fonte - <http://www.revistaecoenergia.com.br>

A TEEH são as mais difundidos no mercado, e a característica mais proeminente é a necessidade de um sistema de controle para posicionar o rotor no sentido predominante do vento.

As turbinas eólicas têm três componentes básicos, as pás com o rotor, a gôndola (nacele) e à torre. Os principais componentes ficam na gôndola, tais como o gerador elétrico, caixa multiplicadora de velocidades, eixos, rolamentos, sistema de freio e sistema de controle e mecanismos de giro da turbina.

O rotor tem geralmente um conjunto de três pás, que pode ter o controle passivo ou ativo do mesmo para operar numa rotação específica. Na maioria das máquinas o eixo que transmite o torque das pás tem uma velocidade baixa e é necessário usar um multiplicador de velocidade para aumenta - lá. Depois o multiplicador é ligado ao gerador elétrico, que converte a energia mecânica em energia elétrica. O gerador elétrico pode ser assíncrono (indução), apropriado para trabalhar com rotação constante ou um gerador síncrono utilizados em sistemas com rotação variável.

Existem também grandes turbinas eólicas que utilizam geradores síncronos de ímãs permanentes que operam em baixa rotação eliminando a caixa de velocidades.

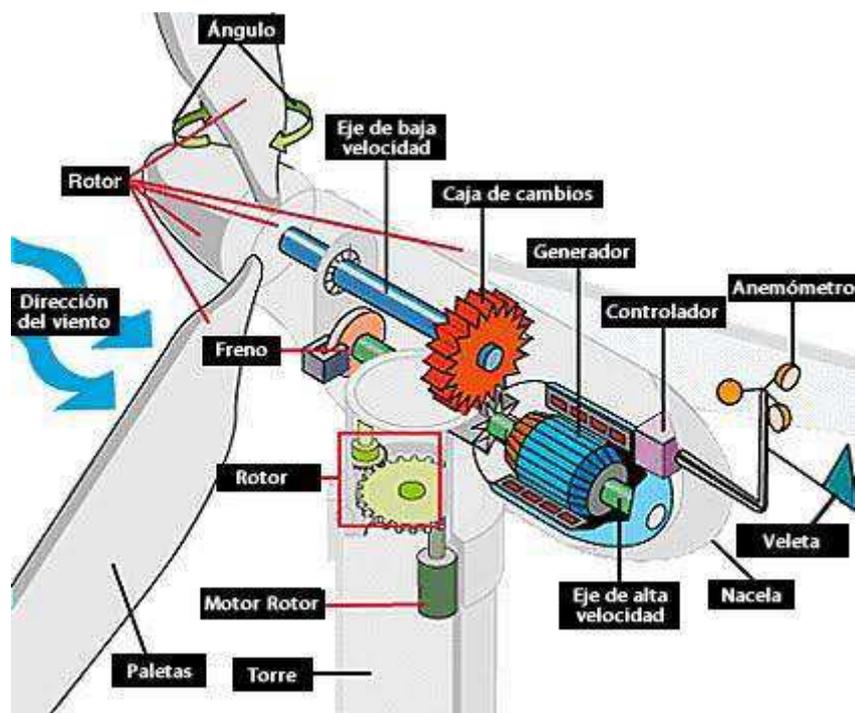


Figura 11 - Componentes de uma TEEH
 Fonte - <http://aero-mini.blogspot.com.br>

As turbinas têm um sofisticado sistema de controle que permite aperfeiçoar os ganhos de energia posicionando o rotor no plano perpendicular à velocidade do vento. A máquina possui sistemas para conduzir operações de segurança de frenagem da máquina em velocidades muito elevadas (acima de 25 m/s). As pás podem ser fixas ou podem alterar o ângulo de passo.

As turbinas eólicas têm diferentes tipos de controle de frenagem para altas velocidades de vento - são os controles por *Stall* ou *Pitch*. No controle por *Stall*, em velocidades de vento elevadas, existe um descolamento do fluxo de vento no perfil aerodinâmico, gerando vórtices e assim aumentando o arrasto e diminuindo a velocidade angular ou de rotação. No controle de *pitch*, existe um sistema que gira as pás posicionando-as de forma perpendicular ao vento, reduzindo a elevação aerodinâmica e, conseqüentemente, a rotação do rotor.

O sistema de controle do ângulo de inclinação das pás, embora mais complexo e com maiores custos é o mais utilizado. Apresenta uma curva que permite maiores ganhos de potência sendo menores os esforços de transmissão. O sistema de controle por *stall* apresenta menor custo do rotor, mas maior custo no sistema de freio. Requer um sistema auxiliar para a proteção em altas velocidades.

3.7 EFEITO ESTEIRA

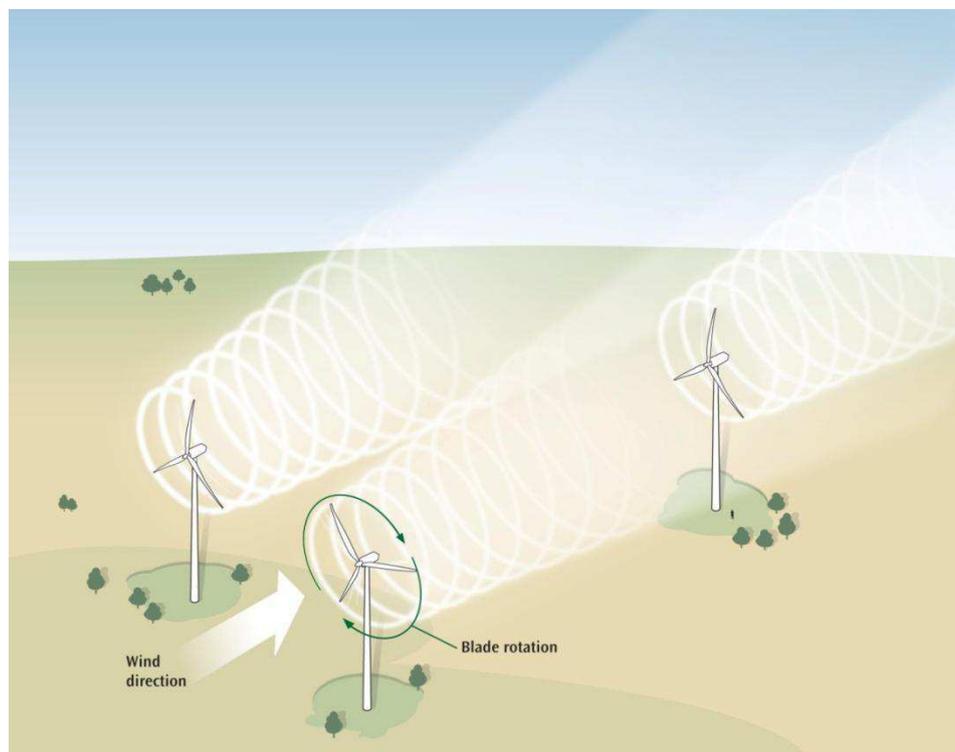


Figura 12 - Efeito esteira
Fonte - <http://energy.sandia.gov/>

Uma turbina eólica extrai energia através do vento incidente, conseqüentemente o vento da turbina eólica atrás terá um aproveitamento menor dessa energia, na qual se forma uma esteira de vento turbulento e de menor velocidade do que o vento que incide na primeira turbina. A verdade é que, depois do vento passar numa turbina eólica, esta sempre provocará uma sombra (interferência do vento que atravessa uma turbina e exerce sobre a outra, diminuindo o fluxo de massa de ar e a velocidade do vento) na mesma direção do vento incidente em turbinas que se encontram ainda mais para trás, provocando assim uma menor produção de energia por essas turbinas, este efeito é conhecido como efeito esteiras.

Assim, o ideal seria que o arranjo das turbinas eólicas fosse o mais afastado possível, de modo a anular o efeito esteira e aumentar a produção de energia. Mas fatores como o custo da terra e conexões da rede nos traz à disposição das turbinas para ser o mais perto possível, então terá que se encontrar um consenso.

Geralmente, nos parques eólicos o espaçamento usual entre as turbinas é de cinco a nove vezes o valor do diâmetro das pás do rotor na direção predominante do vento, e três a cinco vezes na direção perpendicular à velocidade predominante do vento. Mesmo com esse tipo de espaçamento as perdas pelo efeito esteira estão em torno de 5%.

4 LEIAUTE DE PARQUES EÓLICOS

4.1 PARQUE EÓLICO

Um parque eólico ou usina eólica é um espaço, terrestre ou marítimo, onde estão concentrados vários aerogeradores destinados a transformar energia eólica em energia elétrica. O primeiro e grande parte do leiaute de um parque eólico é encontrar os locais ideais para a instalação das turbinas eólicas. Esta seção irá definir importantes fatores que afetam a construção do parque e a produção de energia eólica.

4.2 LOCAL DO PARQUE EÓLICO

Muitos aspectos são levados em conta quando se encontrar e decidir sobre um projeto de um parque eólico. Estes aspectos incluem encontrar um local acessível e com boas condições de vento, não abrangendo, por exemplo, as zonas úmidas ou qualquer tipo de reserva natural. Além disso, poderia haver considerações sobre a área do local do parque ser um habitat de espécies ameaçadas de extinção ou de ser uma região de nidificação de aves. Restrições quanto distância mínima de, por exemplo, as estradas existentes devem ser contabilizadas na definição da área do projeto.

4.3 DISTRIBUIÇÃO DO VENTO

A energia contida no vento é proporcional a sua velocidade ao cubo, v^3 , aonde v^2 , vem da energia cinética da massa de ar e v , a partir do fluxo de massa de ar (Figura 13). Deste modo, uma pequena mudança na velocidade do vento pode ter grande impacto na saída de energia elétrica produzida. Assim a boa localização e colocação das turbinas dentro do parque eólico são, portanto, de grande importância.

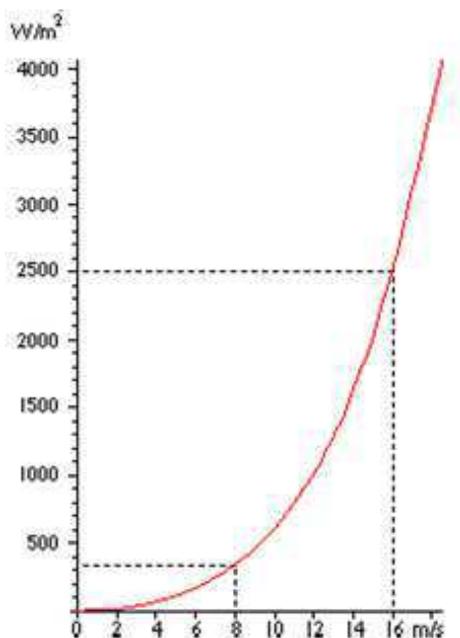


Figura 13 - Gráfico que relaciona a velocidade do vento com a potência disponível por m^2 de área varrida pelo rotor de uma turbina eólica

Fonte – Energia eólica - uma fonte de energia alternativa

A distribuição e as direções da velocidade do vento são calculadas para toda a área do parque. Esse cálculo é baseado em medições de vento feitas por um longo período, de preferência a partir de uma altura do mastro no local do projeto, que são corrigidas para desvio de médias anuais. A figura 14 mostram dois meios de medição do vento características, um mastro equipado com anemômetros e uma sodar, instrumentos que fornecem medições de vento e ambientais, incluindo a velocidade do vento, direção de cisalhamento e turbulência, que pode ser usado para comparar os dados capturados por qualquer Sodar. Softwares utilizados na modelagem podem ser baseados em dinâmica de fluidos computacional (CFD) ou algum modelo de fluxo do terreno, e incorporar, por exemplo, a elevação, a rugosidade da superfície do solo por uma grande área em torno do local.



Figura 14 - Instrumentos usados para medição do vento e ambientais Mastro e Sodar
Fonte - <http://www.renewableenergyfocus.com>

4.4 OS NÍVEIS DE RUÍDO EM ÁREAS CIRCUNVIZINHAS

Há regulamentos que determinam os níveis máximos de ruído provenientes de turbinas eólicas em casas próximas ou outras áreas sensíveis a esses ruídos. Através da utilização de modelos o cálculo dos níveis de som em torno de uma determinada fonte, este se refere a uma distância mínima possível entre as turbinas e estas áreas. Os regulamentos poderiam ser formulados com um valor fixo estipulado, como, por exemplo, "não deve exceder um nível equivalente de som de 40 dB (A) em casas próximas e áreas sensíveis onde a soma do ruído de todas essas turbinas simultaneamente não ultrapasse esse valor". A distância mínima, no entanto pode variar dependendo do número de turbinas eólicas posicionadas. Duas turbinas do mesmo tipo sobre o mesmo local vão render o dobro de ruído sonoro, equivalente a um aumento de 3dB no nível de som, em um ponto próximo. Isso efetivamente aumenta a distância mínima.

*Tabela 2 - Comparativo de ruído com atividades cotidianas.
Fonte - EWEA, 2009.*

Fonte/Atividade	Indicativo de nível de ruído (dB(A))
Limiar de audição	0
Ruído de fundo rural à noite	20-40
Quarto silencioso	35
Parque eólico a 350 m	35-45
Estrada movimentada a 5 km	35-45
Carro a 65 km/h a 100 m	55
Escritório padrão movimentado	60
Conversação	60
Caminhão a 50 km/h a 100m	65
Tráfego urbano	90
Broca pneumática a 7m	95
Avião a jato a 250 m	105
Limiar da dor	140

4.5 ESCOLHA DA TURBINA EÓLICA, INFRA-ESTRUTURA E REDUÇÃO DE CUSTOS

A escolha de turbinas eólicas irá afetar a produção em um local, a magnitude do efeito esteira e os níveis de som. Em muitas turbinas eólicas existe também uma opção para diminuir o último com o custo de diminuindo também produção de energia.

Não é só a quantidade de energia eólica disponível em um local que vai decidir os locais ideais das turbinas eólicas e retorno sobre o investimento. O custo de construção de um parque eólico pode variar dependendo da quantidade de trabalho e do material necessário para as fundações bem como estradas e cabos de conexão dos aerogeradores, subestação e a rede elétrica externa. O problema de otimizar este está em contraste com os aspectos acima de maximização da produção de um problema de minimizar os custos. Em relação aos custos das turbinas eólicas os custos de estradas e cabos são bastante pequenos e é comum que estes custos não serem considerados até depois do local das turbinas serem escolhido. Se os locais já estão decididos, o modelo de otimização dos custos poderiam ser formulado e utilizado de imediato. Se, no

entanto, esses custos devem ser considerados quando encontrar o local ideal das turbinas.

4.6 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA DIMENSÃO DAS TURBINAS

EÓLICAS

Na figura 15 observa-se a relação entre o diâmetro típico do rotor e a potência nominal da turbina. Numa primeira análise, de acordo com a figura, pode-se pensar que quanto maior a turbina instalada maior a energia produzida e, portanto, maior retorno sobre o investimento. A análise acima apresentada nem sempre é verdade, uma vez que existem muitos fatores que determinam a escolha do tamanho das turbinas.

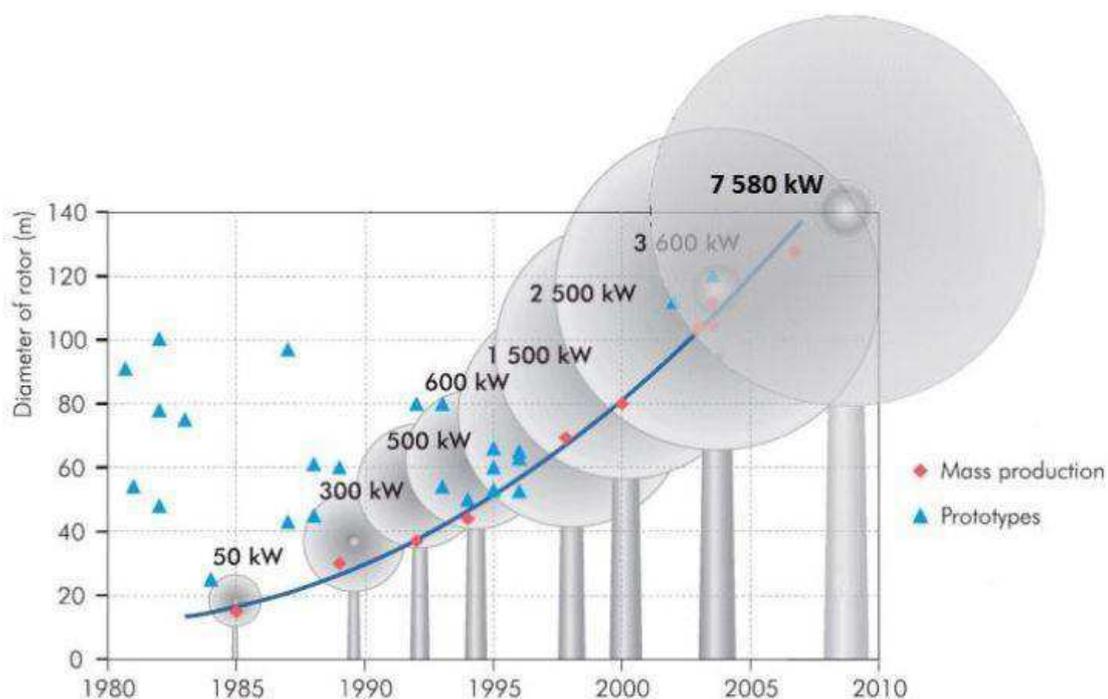


Figura 15 - Evolução do tamanho e potência das turbinas eólicas
Fonte – International Energy Agency (IEA)

As condições de vento, onde está instalada a turbina são muito importantes, quanto maior for de potência do gerador a ser instalado, maior será a energia que temos disponível para rodar a turbina. Se quiser instalar uma turbina eólica em um local com baixo potencial eólico, devemos escolher uma turbina com um gerador de baixa potência e um grande rotor. Esta escolha será para maximizar a potência produzida anualmente como a turbina irá operar mais vezes ao longo do ano.

Abaixo estão listadas algumas razões por se optar na escolha de turbinas maiores ou menores.

4.6.1 RAZÕES PARA OPTAR POR TURBINAS MAIORES:

- Como em muitas outras coisas, as turbinas eólicas também existem economias de escala, ou seja, grandes máquinas normalmente podem gerar energia por um preço menor. Isto ocorre porque o custo das fundações, estradas, ligação à rede elétrica, além de o número de componentes da turbina eólica são praticamente independente de seu tamanho.
- Grandes turbinas adaptam-se muito bem a parques eólicos "off-shore" (parques construídos no mar). O custo de bases não cresce proporcionalmente com o tamanho da máquina e os custos de manutenção é bastante independente do tamanho.
- Em lugares onde é difícil encontrar espaço para instalar mais de uma turbina, a instalação de uma grande turbina com uma torre, podemos usar o recurso eólico existente de forma mais eficiente.

4.6.2 RAZÕES PARA OPTAR POR TURBINAS MAIORES:

- A rede de energia local pode não ter suporte para apoiar a produção de uma grande turbina. Isso pode acontecer em locais com baixa densidade populacional, que têm pouco consumo de energia elétrica, e é distante da rede elétrica principal.
- Um parque eólico composto por várias turbinas eólicas de pequena variação tem menor consumo de energia, as flutuações ocorrem de forma arbitrária e, portanto, têm uma tendência a anular-se mutuamente. Novamente turbinas de menores dimensões podem ser vantajosas em linhas de baixa potência.
- O custo da utilização de grandes veículos especializados e a construção de estradas suficientemente firmes para permitir o transporte de todos os componentes da turbina pode fazer com que pequenas turbinas sejam mais competitivas em determinadas áreas.

4.7 FUNDAÇÕES

As turbinas não devem ser construídas em terreno, por exemplo, íngreme, muito áspero ou em terreno muito instável para que seja economicamente benéfico ou mesmo possível de se usar como um local para instalação de um parque eólico. Para lidar com isso, o custo da fundação deve ser fixado e o preço real para diferentes áreas. Deve-se também adicionar o custo de cada turbina eólica, embora este custo geralmente não varie devido à escolha da localização. Se estiver usando vários tipos de turbinas eólicas, os custos destes e, eventualmente, os custos da fundação podem variar dependendo do tipo de escolhido. Figura 16 mostra imagens da construção da fundação de uma torre de um parque eólico.



Figura 16 - Concretagem da fundação de um Aerogerador
Fonte - <http://www.piniweb.com.br>

4.8 CABOS

As turbinas eólicas têm de ser ligadas a uma estação transformadora e à rede externa, e nessa interligação os cabos são geralmente enterrados no solo. Uma vez que o ato de transportar e enterrar um cabo requer um caminho a ser construído ao longo do seu percurso, estradas e cabos são geralmente construídas usando os mesmos caminhos. Cabos de interconexão de diferentes dimensões podem permitir diferentes níveis de corrente e, portanto, diferentes número de turbinas eólicas conectadas. Vários cabos Também podem ser colocados ao lado uns dos outros requerendo apenas um caminho a ser construído e afetando o valor das perdas de energia. O modelo deve, portanto, ser capaz de incorporar diferentes tipos de cabos em cada caminho. O custo de um cabo dependem tanto do trabalho necessário para a construção da estrada e do enterramento bem como o tipo de cabo selecionado. Para ligar a estação transformadora à rede externa, um cabo de exportação com alta capacidade e de alto custo é utilizado. Além dos custos de construção, há o custo das perdas de energia que é proporcional ao comprimento de um cabo e do quadrado da corrente. Vários cabos provenientes de turbinas eólicas podem ser combinados em cabos de alta capacidade, como os ramos de uma árvore, com custos adicionais para conectar as estações se essa conexão não é realizada em outra turbina eólica.



Figura 17 - Valas para cabos de média tensão
Fonte - <http://www.piniweb.com.br>

4.9 ESTRADAS

São necessárias estradas que liguem as turbinas eólicas ao mundo exterior para que seja realizado o transporte das turbinas eólicas para os locais e realizar manutenção quando necessário, onde a primeira é a necessidade de definir se será preciso construir ou não estradas.

O Transporte de turbinas eólicas não é nada fácil, são pesadas, com o gerador como a parte mais pesada, ou muito longa, como acontece no transporte das hélices, como pode ser visto na figura 18. Essa tarefa solicita estradas robustas e de baixa inclinação, que, por exemplo, pode resultar em não ser possível a construção no topo de uma colina, embora os níveis de energia eólica sejam altos.



Figura 18 - Transporte da pá de turbina eólica modelo B75 da Siemens de 75m
Fonte - <http://www.siemens.com>

4.10 SUBESTAÇÃO

Um grande parque eólico normalmente se conectar a uma rede de energia externa através de uma subestação que, assim como na colocação de uma turbina eólica, resultará em um local para sua instalação, bem como os custos de estradas e dos cabos, juntamente com o custo da subestação em si. O seu posicionamento ideal depende do custo dos cabos de exportação de alta tensão necessária para a conexão com a fonte de alimentação externa em comparação com os cabos necessários para ligar as turbinas eólicas. O custo de construção da subestação também pode variar dependendo da sua localização dentro do parque. As perdas de energia na subestação dependerão da corrente e, assim, do número de turbinas eólicas, mas não sobre o local das turbinas dentro do parque.

4.11 A DISTÂNCIA MÍNIMA ENTRE AS TURBINAS EÓLICAS

As turbinas eólicas não podem ser colocadas muito próximas umas das outras. A mais óbvia distância tem de ser de dois raios do rotor para evitar que as pás do rotor colidam. Há, no entanto geralmente outros requisitos ou exigências sobre distância mínima de separação a serem cumpridas, feitas pelos fabricantes, em parte para evitar desgaste excessivo na construção devido aos ventos turbulentos. Uma típica distância mínima poderia ser em torno de quatro ou cinco diâmetros de rotor, mas que às vezes

pode ser definida superior devido às perdas de produção entre eles. Na literatura encontrada, a distância proposta entre duas turbinas é de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento e de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento. Esse será o fator de estudo levado em conta neste trabalho e apresentado no próximo capítulo no estudo individual de cada parque.

5 ESTUDO DE CASO

No projeto de parques eólicos, o *leiaute* é definido de acordo com a direção predominante do vento, de modo a se obter as menores perdas por esteira e é por esta razão que a localização das turbinas dentro de um parque eólico tem de ser efetuada de modo criterioso. Esse capítulo apresenta um estudo de caso no *leiaute* de alguns parques eólicos instalados no nordeste brasileiro para verificação do espaçamento das turbinas e qual critério está sendo utilizado na sua instalação, se estão sendo levadas em conta as perdas causadas pelo efeito esteira.

As direções predominantes dos ventos foram tomadas, tomando-se por base o mapa das direções predominantes anuais de ventos (Figura 19), encontrados no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001.



Figura 19 - Direções Predominantes anuais de ventos
Fonte - Atlas do Potencial Eólico Brasileiro 2001

Foi utilizado também o Google maps como ferramenta para a geração das coordenadas dos aerogeradores de cada parque, como o uso da ferramenta para medição de distâncias para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais. Os dados e resultado das sete usinas estudadas encontram-se a seguir.

5.1 USINA EÓLICA PEDRA DO SAL

A Usina Eólica Pedra do Sal está localizada no município de Parnaíba – PI. Ela está instalada numa área de 6.665,83m², com capacidade de 18MW, distribuídos em 20 turbinas modelo E-44 da Wobben de 900kW cada. O projeto foi realizado pela Wobben Windpower e inaugurado em 2008.



Figura 20 - Usina eólica Pedra do Sal
Fonte - <http://www.portalcostanorte.meionorte.com>

Dados da Usina Eólica Pedra do Sal:

- 20 aerogeradores.
- Modelo E-44/900kW.
- Diâmetro 44m.
- Potência instalada: 18MW.
- Área: 6.665,83m².
- Vol. de Concreto: 4.354,00m³.
- Local: Parnaíba - PI.

- Conclusão: 2008.
- Cliente: Wobben WindPower.

Na tabela 3 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 3 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Pedra do Sal em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-2.840181	-41.699121
2	-2.838455	-41.698885
3	-2.836808	-41.699025
4	-2.834882	-41.700819
5	-2.833513	-41.7029
6	-2.832021	-41.704676
7	-2.830941	-41.705309
8	-2.830084	-41.706594
9	-2.829237	-41.707841
10	-2.828104	-41.708506
11	-2.82722	-41.709914
12	-2.826344	-41.711312
13	-2.825264	-41.712326
14	-2.824498	-41.71371
15	-2.823724	-41.715096
16	-2.822634	-41.716006
17	-2.821166	-41.716121
18	-2.820423	-41.717119
19	-2.819371	-41.717905
20	-2.818449	-41.7189

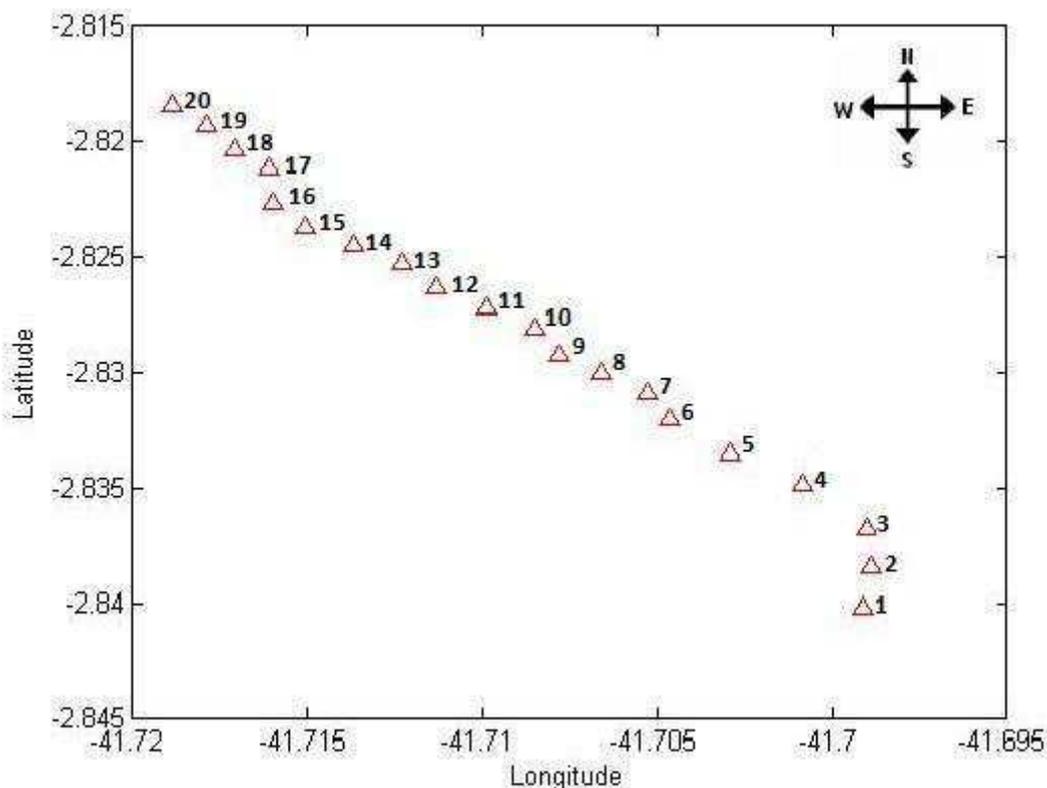


Figura 21 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica Pedra do Sal

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 139m entre as turbinas 6 e 7, e também, na 17 e 18 na direção perpendicular ao sentido do vento. Pela forma como as turbinas estão instaladas, essa foi a única direção levada em consideração para esse parque.

As turbinas utilizadas na Usina eólica Pedra do Sal possuem um diâmetro de 44m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 132m.

5.2 USINA EÓLICA DE PRAIA FORMOSA

A Usina Eólica de Praia Formosa está localizada no município de Camocim-CE. Ela está instalada numa área de 301.311m², com capacidade de 105MW, distribuídos

em 50 turbinas modelo Suzlon S-88 da Suzlon de 2100kW cada. O projeto foi realizado pela SIIF Enérgies do Brasil e inaugurado em 2009.

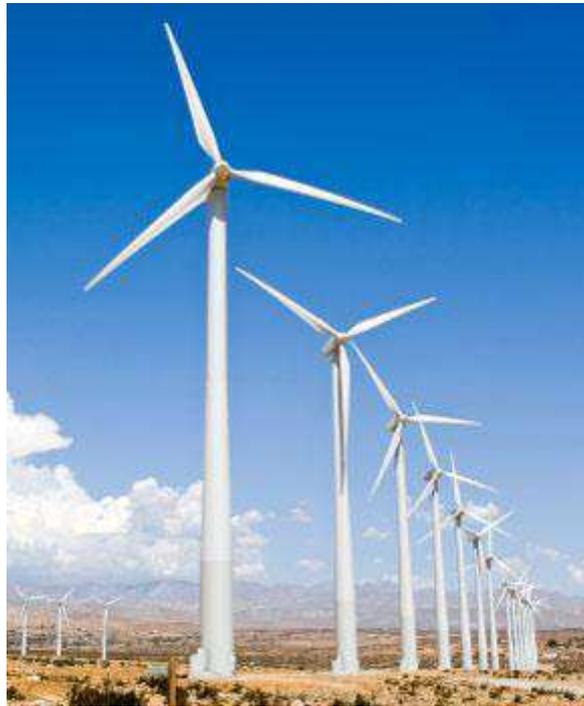


Figura 22 - Usina eólica Praia de Formosa
Fonte - <http://www.mercurius.com.br>

Dados da Usina Eólica Praia de Formosa:

- 50 aerogeradores.
- Modelo Suzlon S-88.
- Diâmetro 88m.
- Potência instalada: 105,0MW.
- Área: 201.311,00m².
- Vol. de Concreto: 17.430,00m³.
- Vol. Terraplenagem: 1.200.000,00m³.
- Local: Camocim-CE.
- Conclusão: 2009.
- Cliente: SIIF Enérgies do Brasil.

Na tabela 4 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 4 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Praia Formosa em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-2.916222	-41.032321
2	-2.915	-41.032343
3	-2.913784	-41.032364
4	-2.912474	-41.032415
5	-2.911287	-41.032474
6	-2.910098	-41.032584
7	-2.908866	-41.032681
8	-2.907663	-41.032772
9	-2.90646	-41.032842
10	-2.905279	-41.03293
11	-2.904055	-41.033005
12	-2.902841	-41.033062
13	-2.901614	-41.033051
14	-2.900422	-41.033169
15	-2.899027	-41.036385
16	-2.897837	-41.036366
17	-2.896621	-41.036412
18	-2.895418	-41.036471
19	-2.89424	-41.036524
20	-2.916763	-41.037887
21	-2.915523	-41.037793
22	-2.914301	-41.037814
23	-2.913104	-41.037908
24	-2.908228	-41.043388
25	-2.907098	-41.043356
26	-2.905812	-41.043372
27	-2.904617	-41.04338
28	-2.903369	-41.043345
29	-2.902032	-41.043353
30	-2.900795	-41.043348
31	-2.899587	-41.043353
32	-2.898365	-41.04338
33	-2.897157	-41.043377
34	-2.895949	-41.043402
35	-2.92024	-41.042863
36	-2.919067	-41.042938
37	-2.91785	-41.042927
38	-2.914529	-41.046336
39	-2.913302	-41.04647
40	-2.912118	-41.046685
41	-2.910888	-41.0468
42	-2.90968	-41.046926
43	-2.90593	-41.0514
44	-2.904679	-41.051445
45	-2.903474	-41.051408
46	-2.900972	-41.054216
47	-2.899755	-41.054224
48	-2.898553	-41.054238
49	-2.897323	-41.054227
50	-2.896112	-41.0542

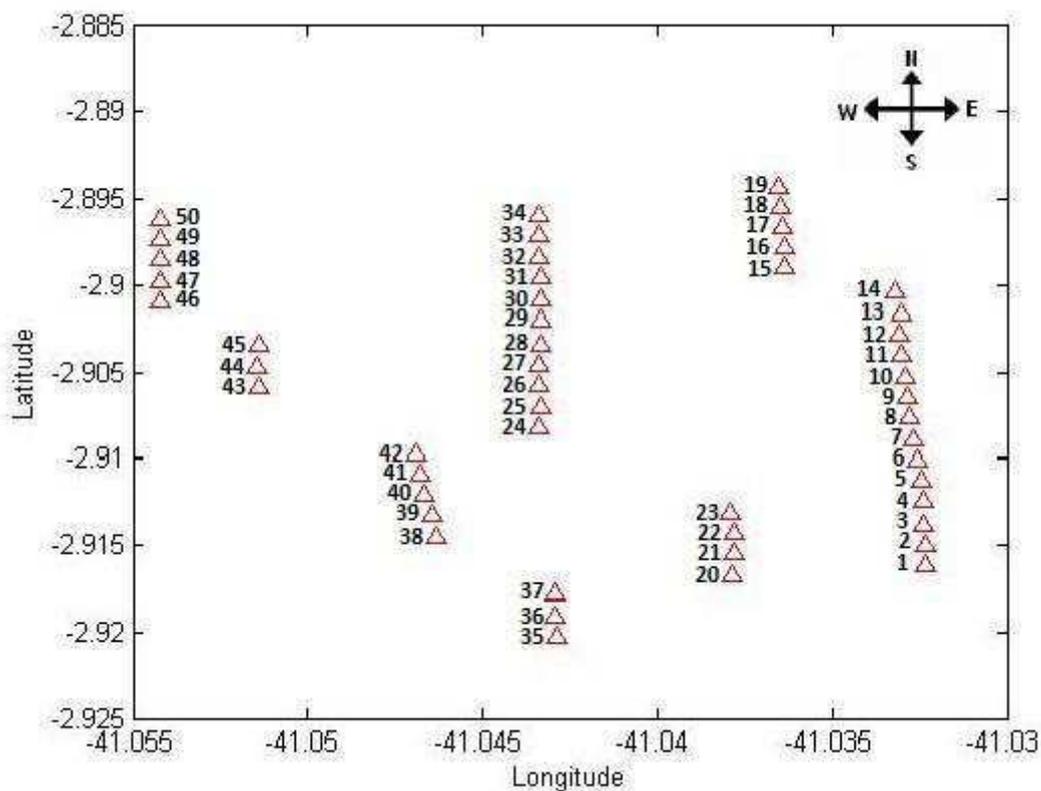


Figura 23 - Disposição dos Aeroogeradores da Usina Eólica de Praia de Formosa

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 132m entre várias turbinas, a exemplo entre a 5 e 6 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 609m entre as turbinas 2 e 21 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Praia de Formosa possuem um diâmetro de 88m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 264m e 440m respectivamente.

5.3 USINA EÓLICA DE PRAINHA

A Usina Eólica de Prainha está localizada no Município de Aquiraz - CE, a 30 quilômetros de Fortaleza e bem próximo ao Beach Park, a Central Eólica de Prainha (Figura 24) está instaladas numa área de 20 hectares, onde a visão dos aerogeradores montados em torres de 44 metros de altura contrasta com a paisagem de restinga da localidade, com capacidade de 10 MW (20 turbinas E-40 da Wobben de 500 kW cada). O projeto foi realizado pela Wobben Windpower e inaugurado em abril de 1999. As turbinas utilizam geradores síncronos, funcionam com velocidade variável e com controle de potência por pitch (ângulo de passo das pás).

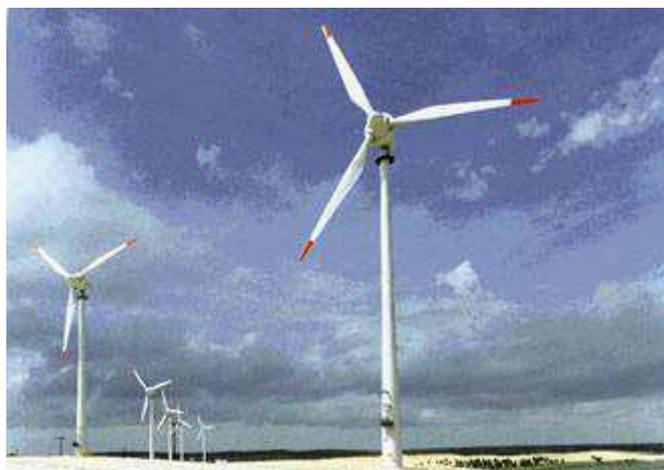


Figura 24 - Central Eólica da Prainha (Aquiraz - CE)

Fonte: CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA - CBEE / UFPE, 2000.

Dados da Usina Eólica de Prainha:

- 20 aerogeradores.
- Modelo E-40/500kW.
- Diâmetro 40m.
- Potência instalada: 10MW.
- Área: 20 hectares.
- Localização: Aquiraz-CE.
- Conclusão: 1999.
- Cliente: Wobben WindPower.

Na tabela 5 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina do parque.

Tabela 5 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica da Prainha em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-3.880648,	-38.380716
2	-3.878818,	-38.379209
3	-3.87813,	-38.380727
4	-3.878815,	-38.382808
5	-3.877726,	-38.385753
6	-3.876615,	-38.383173
7	-3.87577,	-38.385874
8	-3.875106,	-38.383696
9	-3.874592,	-38.381298
10	-3.873934,	-38.385354
11	-3.873586,	-38.383554
12	-3.873332,	-38.380233
13	-3.872869,	-38.381714
14	-3.872074,	-38.383557
15	-3.871927,	-38.385169
16	-3.871293,	-38.382611
17	-3.870921,	-38.38798
18	-3.869749,	-38.385078
19	-3.869411,	-38.386301
20	-3.86916,	-38.38776

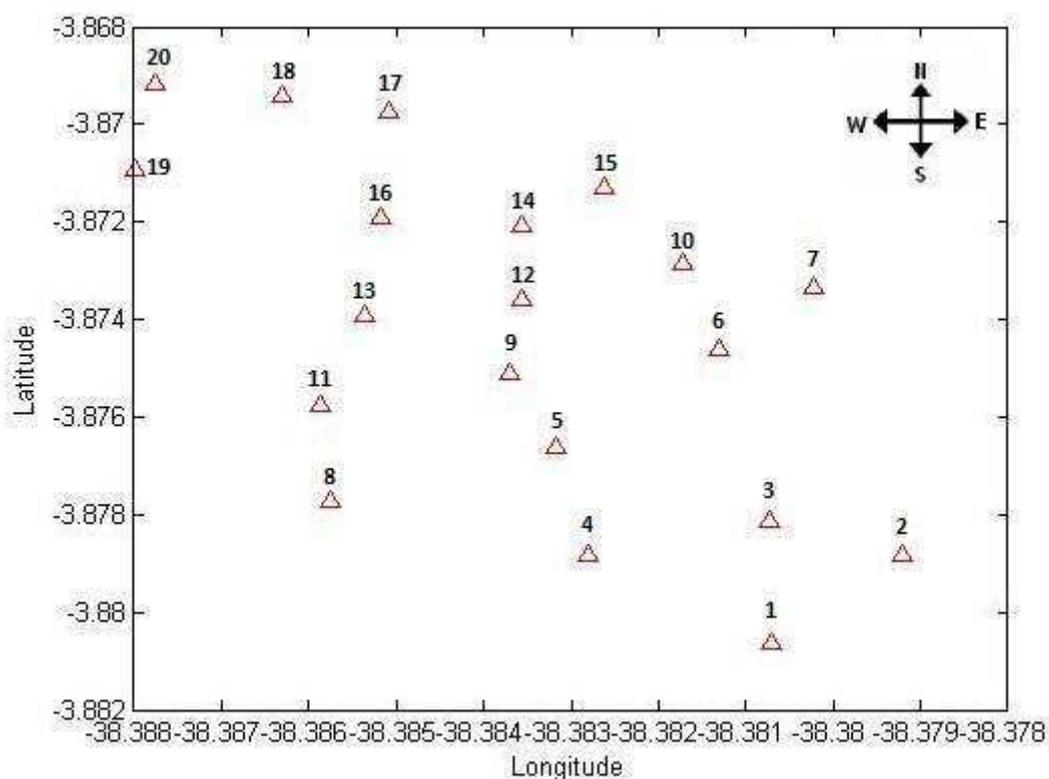


Figura 25 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Prainha

O Google maps disponibiliza algumas ferramentas, uma dessas foi utilizada para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, a ferramenta para medição de distâncias. Após efetuar o cálculo de todas as distâncias, foi encontrando uma distância mínima de 168m entre as turbinas 12 e 14 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 141m entre as turbinas 17 e 18 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Prainha possuem um diâmetro de 40m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 120m e 200m respectivamente.

5.4 USINA EÓLICA DE BEBERIBE

A Usina Eólica está localizada no município de Parnaíba – PI. Ela está instalada numa área de 6.665,83m², com capacidade de 18MW, distribuídos em 20 turbinas modelo E-44 da Wobben de 900kW cada. O projeto foi realizado pela Wobben Windpower e inaugurado em 2008.



Figura 26 - Usina eólica de Beberibe
Fonte - <http://www.mercurius.com.br>

Dados da Usina Eólica de Beberibe:

- 32 aerogeradores.
- Modelo E-48/800kW.
- Diâmetro 48m.
- Potência instalada: 25,6MW.
- Área: 46.400,00m².
- Vol. de concreto: 10.494,00m³.
- Localização: Beberibe-CE.
- Conclusão: 2008.
- Cliente: Wobben WindPower.

Na tabela 6 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 6 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Beberibe em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-4.209518	-38.066678
2	-4.209168	-38.067802
3	-4.208101	-38.068942
4	-4.20714	-38.069446
5	-4.20611	-38.069966
6	-4.205105	-38.070484
7	-4.204003	-38.070441
8	-4.202486	-38.072935
9	-4.201341	-38.072976
10	-4.200183	-38.072866
11	-4.198759	-38.072399
12	-4.197874	-38.074118
13	-4.196673	-38.074684
14	-4.195643	-38.07576
15	-4.194814	-38.076479
16	-4.193848	-38.077147
17	-4.192947	-38.077833
18	-4.192002	-38.078633
19	-4.191066	-38.079587
20	-4.190989	-38.081414
21	-4.189993	-38.082058
22	-4.189057	-38.082677
23	-4.187029	-38.082495
24	-4.186104	-38.083198
25	-4.185197,	-38.08392
26	-4.184242	-38.084611
27	-4.186553	-38.088042
28	-4.185317	-38.087495
29	-4.184309	-38.086958

30	-4.183964	-38.088787
31	-4.18341	-38.087621
32	-4.182822	-38.08584

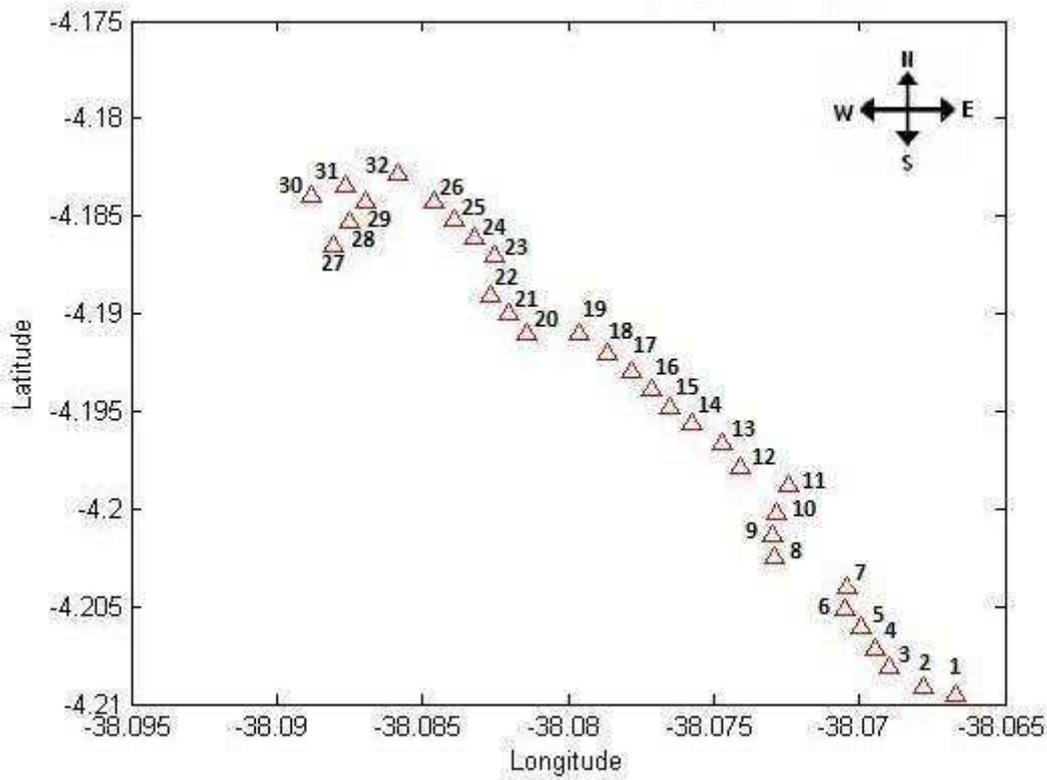


Figura 27 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Beberibe

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 120m entre as turbinas 6 e 7 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 205m entre as turbinas 19 e 20 na direção predominante do vento onde poucas turbinas podem ser analisadas nesse direção. A maior distância encontrada entre duas turbinas seguidas foi entre as turbinas 7 e 8 com uma distância entre si de 325m.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Beberibe possuem um diâmetro de 48m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 144m e 240m respectivamente.

5.5 USINA EÓLICA DE PRAIAS DE PARAJURU

A Usina Eólica de Praias de Parajuru está localizada no município de Beberibe-CE. Ela está instalada numa área de 79.175,5m², com capacidade de 28,5MW, distribuídos em 19 turbinas modelo IMPSA-IV77 da IMPSA Wind de 1500kW cada. O projeto foi realizado pela IMPSA e inaugurado em 2009.



Figura 28 - Usina eólica de Praias de Parajuru
Fonte - <http://www.mercurius.com.br>

Dados da Usina Eólica de Praias de Parajuru:

- 19 Aerogeradores.
- Modelo IMPSA-IV7.
- Diâmetro 77m , Altura 85m.
- Potência instalada: 28,5MW.
- Área: 79.175,50m².
- Vol. de Concreto: 7.200,00m³.
- Vol. Terraplenagem: 130.000,00m³.
- Local: Beberibe-CE.
- Conclusão: 2009.
- Cliente: IMPSA.

Na tabela 7 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 7 - Localização dos aerogeradores da Usina eólica Praias de Parajuru em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-4.366138	-37.888547
2	-4.364116	-37.887721
3	-4.3621	-37.886901
4	-4.359971	-37.886289
5	-4.357831	-37.885978
6	-4.362854	-37.895215
7	-4.360276	-37.894481
8	-4.357863	-37.894255
9	-4.355339	-37.894159
10	-4.353493	-37.894888
11	-4.351808	-37.895741
12	-4.349851	-37.896734
13	-4.347995	-37.89793
14	-4.353418,	-37.906819
15	-4.351124	-37.906084
16	-4.349048	-37.905392
17	-4.346962	-37.904716
18	-4.344887	-37.904035
19	-4.343068	-37.903455

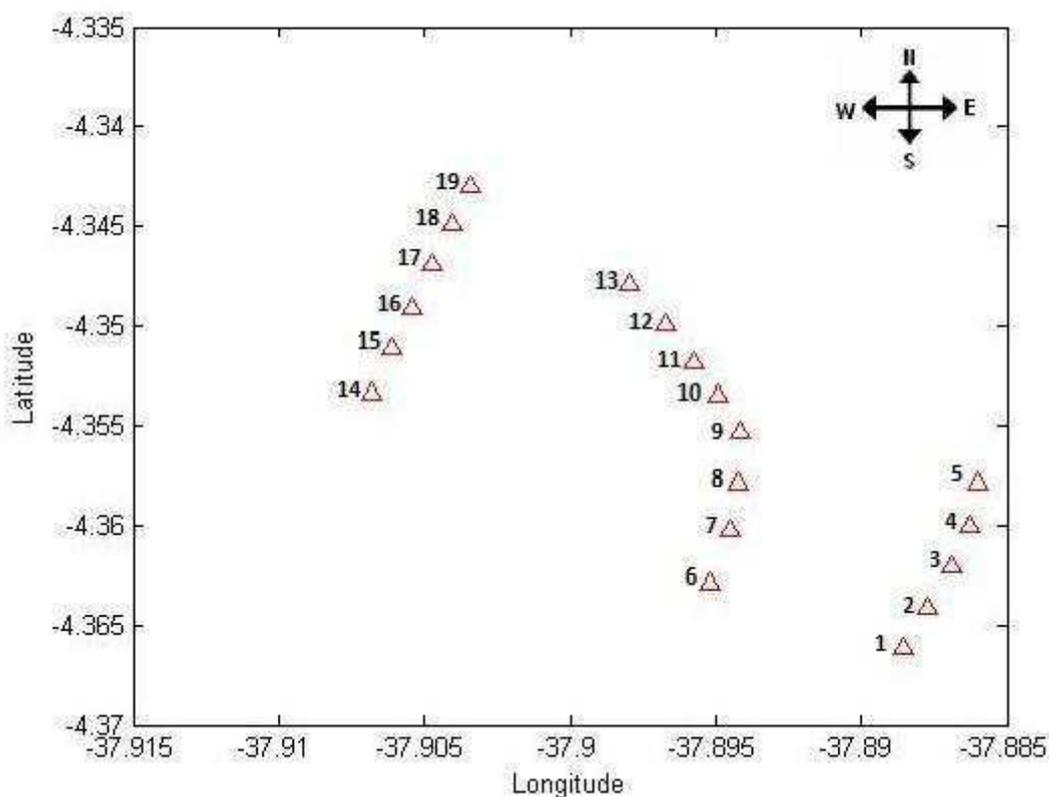


Figura 29 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Praias de Parajuru

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 242m entre as turbinas 2 e 3 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 762m entre as turbinas 13 e 17 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Beberibe possuem um diâmetro de 77m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 231m e 385m respectivamente.

5.6 USINA EÓLICA BONS VENTOS

A Usina Eólica de Bons Ventos está localizada no município de Aracati-Ce. Ela possui uma potência instalada de 138,5MW (Unidade I- 50 MW; Unidade II - 57 MW e Unidade III - 31,5 MW), distribuídos em 67 turbinas modelo Suzlon S-88 da Suzlon de 2100kW cada.



Figura 30 - Usina eólica Bons Ventos
Fonte - [http:// www.bonsventos.eng.br](http://www.bonsventos.eng.br)

Dados da Usina Eólica Bons Ventos:

- 67 aerogeradores.
- Modelo Suzlon S-88.
- Diâmetro 88m.
- Potência instalada: 138,5MW.
- Vol. de Concreto: 13.179,21m³.
- Linha de transmissão: 65,6 km.
- Local: Aracati-CE.

Na tabela 8 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 8 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Bons Ventos em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-4.514147	-37.753918
2	-4.512019	-37.754164
3	-4.509773	-37.754282
4	-4.507495	-37.753649
5	-4.505259	-37.753446
6	-4.510596	-37.760547
7	-4.508661	-37.7611
8	-4.506816	-37.762124
9	-4.507677	-37.769335
10	-4.505484	-37.769153
11	-4.503602	-37.769517
12	-4.501387	-37.769571
13	-4.502291	-37.758911
14	-4.500152	-37.758342
15	-4.498115	-37.758187
16	-4.475311	-37.741324
17	-4.473674	-37.742277
18	-4.471738	-37.743157
19	-4.469834	-37.744069
20	-4.467909	-37.74498
21	-4.466027	-37.745871
22	-4.46409	-37.746751
23	-4.462165	-37.747502
24	-4.460165	-37.748253
25	-4.458272	-37.749004
26	-4.45625	-37.749669
27	-4.454261	-37.750431

28	-4.452185	-37.75101
29	-4.450196	-37.751697
30	-4.448313	-37.752501
31	-4.446345	-37.753167
32	-4.444409	-37.753993
33	-4.442441	-37.754894
34	-4.440409	-37.755623
35	-4.438472	-37.756417
36	-4.436483	-37.757297
37	-4.434643	-37.758209
38	-4.433274	-37.760816
39	-4.431188	-37.761996
40	-4.47437	-37.747566
41	-4.472605	-37.748049
42	-4.473065	-37.754787
43	-4.471129	-37.753692
44	-4.469706	-37.759679
45	-4.467642	-37.758842
46	-4.465577	-37.758906
47	-4.463534	-37.75955
48	-4.46162	-37.760054
49	-4.459662	-37.760838
50	-4.457865	-37.762136
51	-4.455715	-37.762383
52	-4.453458	-37.762576
53	-4.451447	-37.763756
54	-4.450207	-37.76175
55	-4.447843	-37.7619
56	-4.470187	-37.766824
57	-4.467577	-37.766492
58	-4.46531	-37.76647
59	-4.462989	-37.764872
60	-4.451832	-37.755774
61	-4.449843	-37.757104
62	-4.447447	-37.757984
63	-4.44565	-37.759529
64	-4.443478	-37.760044
65	-4.4412	-37.760376
66	-4.439339	-37.761492
67	-4.437413	-37.761943

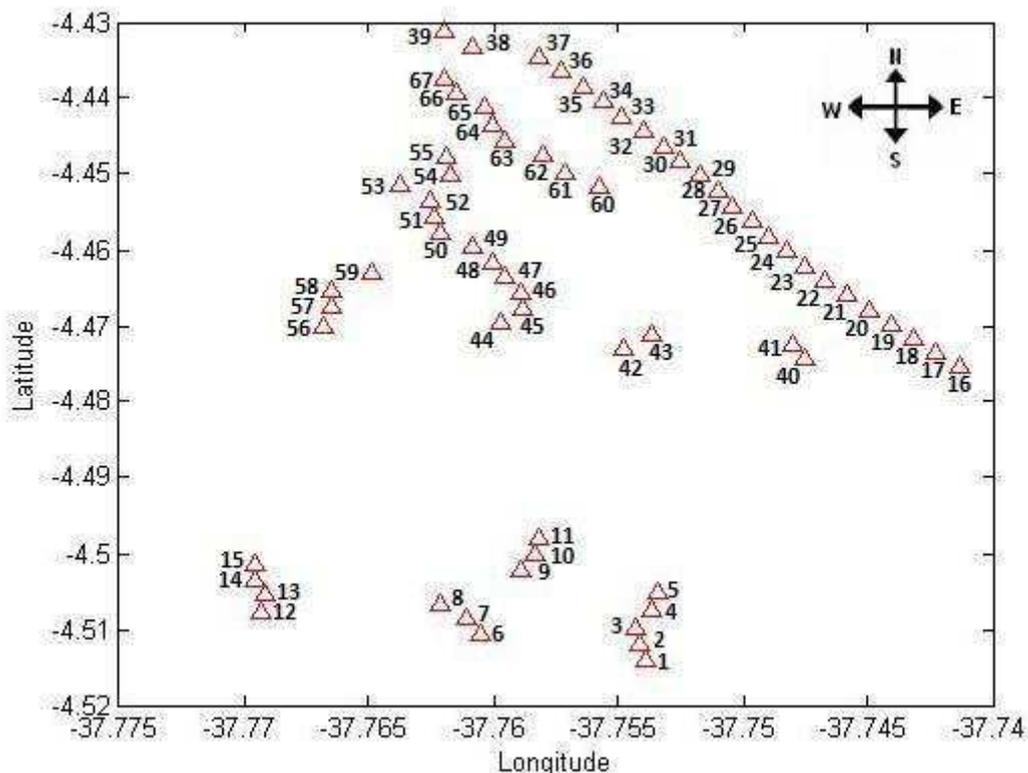


Figura 31 - Disposição dos Aero geradores da Usina Eólica Bons Ventos

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 230m entre as turbinas 45 e 46 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 445m entre as turbinas 55 e 62 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Praia de Formosa possuem um diâmetro de 88m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 264m e 440m respectivamente.

5.7 USINA EÓLICA RIO DO FOGO

A Usina Eólica Rio do Fogo está localizada no município de Zumbi Rio do Fogo–RN. Ela está instalada numa área de 159.000 m², com capacidade de 49,6 MW, distribuídos em 62 turbinas modelo E-48 da Wobben de 800kW cada. O projeto foi realizado pela Iberdrola e inaugurado em 2006.

Dados da Usina Eólica Rio do Fogo:

- 62 Aerogeradores.
- Modelo E-48/800kW.
- Diâmetro 48m.
- Potência instalada: 49,6MW.
- Área: 159.000,00m².
- Vol. de Concreto: 19.632,00m³.
- Vol. terraplenagem: 400.000,00m³.
- Local: Zumbi Rio do Fogo-RN.
- Conclusão: 2006.
- Cliente: Iberdrola.



Figura 32 - Usina eólica Rio do Fogo
Fonte - <http://www.mercurius.com.br>

Na tabela 9 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 9 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Rio do Fogo em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-5.34128	-35.376235
2	-5.341018	-35.374894
3	-5.340206	-35.37417
4	-5.339565	-35.373501
5	-5.338668	-35.372616
6	-5.337653	-35.371951
7	-5.33725	-35.382058
8	-5.336868	-35.381044
9	-5.33608	-35.380279
10	-5.335324	-35.379504
11	-5.334552	-35.378724
12	-5.33396	-35.377042
13	-5.332926	-35.376355
14	-5.331839	-35.376189
15	-5.332851	-35.387436
16	-5.332136	-35.386454
17	-5.331527	-35.385612
18	-5.330587	-35.384915
19	-5.32986	-35.384142
20	-5.328867	-35.383409
21	-5.328186	-35.382704
22	-5.327553	-35.381854
23	-5.326768	-35.381092
24	-5.326028	-35.380328
25	-5.32524	-35.37955
26	-5.324479	-35.378772
27	-5.323736	-35.377981
28	-5.322994	-35.377222
29	-5.322316	-35.376245
30	-5.32059	-35.376516
31	-5.319925	-35.374711
32	-5.321202	-35.372436
33	-5.320884	-35.371401
34	-5.327804	-35.393664
35	-5.327056	-35.392854
36	-5.326372	-35.39191
37	-5.325635	-35.391164
38	-5.324861	-35.390391
39	-5.323838	-35.389924
40	-5.323333	-35.388857
41	-5.322636	-35.38802
42	-5.321723	-35.387269
43	-5.321058	-35.386438
44	-5.320387	-35.385528
45	-5.319533	-35.385011
46	-5.318772	-35.384228
47	-5.317992	-35.383463
48	-5.317164	-35.382758
49	-5.316197	-35.381966

50	-5.315813	-35.380915
51	-5.314824	-35.380564
52	-5.314595	-35.379142
53	-5.313035	-35.379979
54	-5.322548	-35.399399
55	-5.321731	-35.398449
56	-5.321111	-35.397773
57	-5.320347	-35.39699
58	-5.319589	-35.396223
59	-5.318884	-35.395305
60	-5.311417	-35.388171
61	-5.310642	-35.387397
62	-5.309838	-35.38658

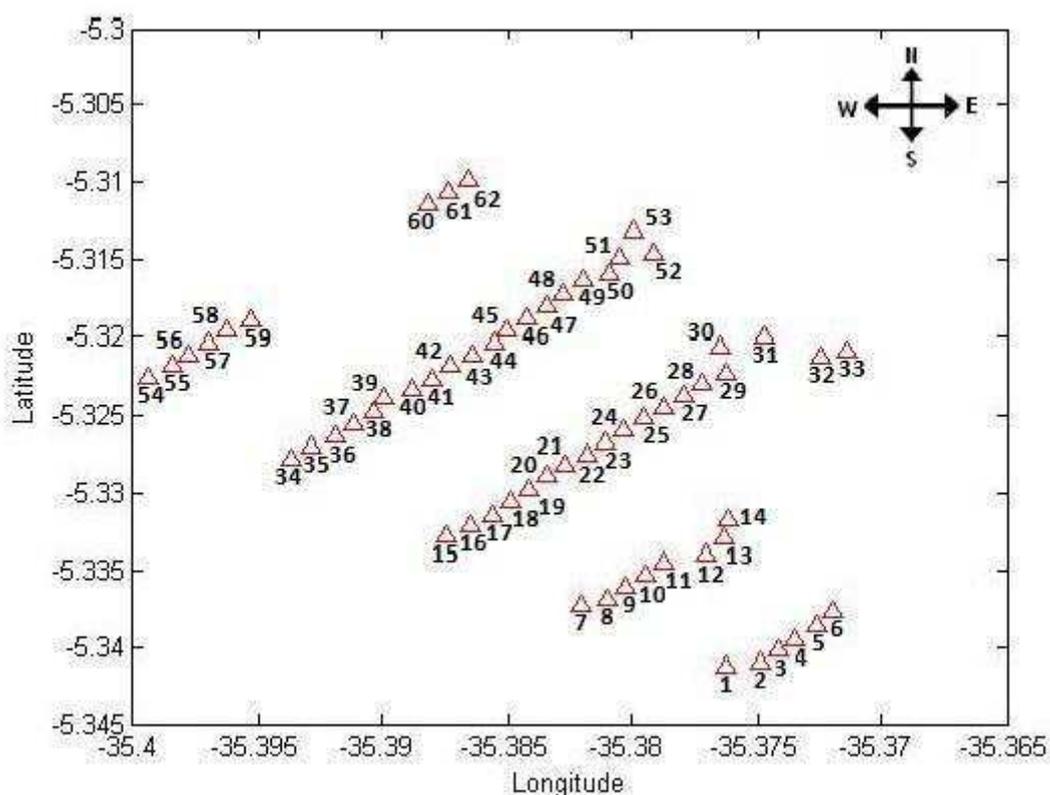


Figura 33 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica Rio do Fogo

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 120m entre quase todas as turbinas na direção perpendicular ao sentido do vento e de 195m entre as turbinas 52 e 53 na direção predominante do vento, mas esse foi um caso isolado de duas turbinas. Nas demais turbinas foram encontradas uma distância mínima de 697m na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na usina eólica de Rio do Fogo possuem um diâmetro de 48m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco

diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 144m e 240m respectivamente.

5.8 USINA EÓLICA DE MATARACA

A Usina Eólica Mataraca está localizada no município de Mataraca-PB. Ela está instalada numa área de 39.400 m², com capacidade de 10,4MW, distribuídos em 13 turbinas modelo E-48 da Wobben de 800kW cada. O projeto foi realizado pela Wobben Windpower e inaugurado em 2007.



Figura 34 - Usina eólica de Mataraca
Fonte - <http://epoca.globo.com/>

Dados da Usina Eólica Vale dos Ventos:

- 13 aerogeradores.
- Modelo E-48/800kW.
- Diâmetro 48m.
- Potencia instalada: 10,4MW.
- Área: 39.400,00m².
- Vol. de concreto: 4.374,45m³.

- Local: Mataraca-PB.
- Conclusão: 2007.
- Cliente: Wobben Windpower.

Na tabela 10 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 10 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica de Mataraca em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-6.505536	-34.968888
2	-6.503993	-34.969156
3	-6.502674	-34.969247
4	-6.501403	-34.969539
5	-6.500132	-34.969799
6	-6.498935	-34.970073
7	-6.497525	-34.970384
8	-6.496294	-34.970859
9	-6.494951	-34.971146
10	-6.493496	-34.971677
11	-6.492118	-34.972039
12	-6.491228	-34.973179
13	-6.491081	-34.97536

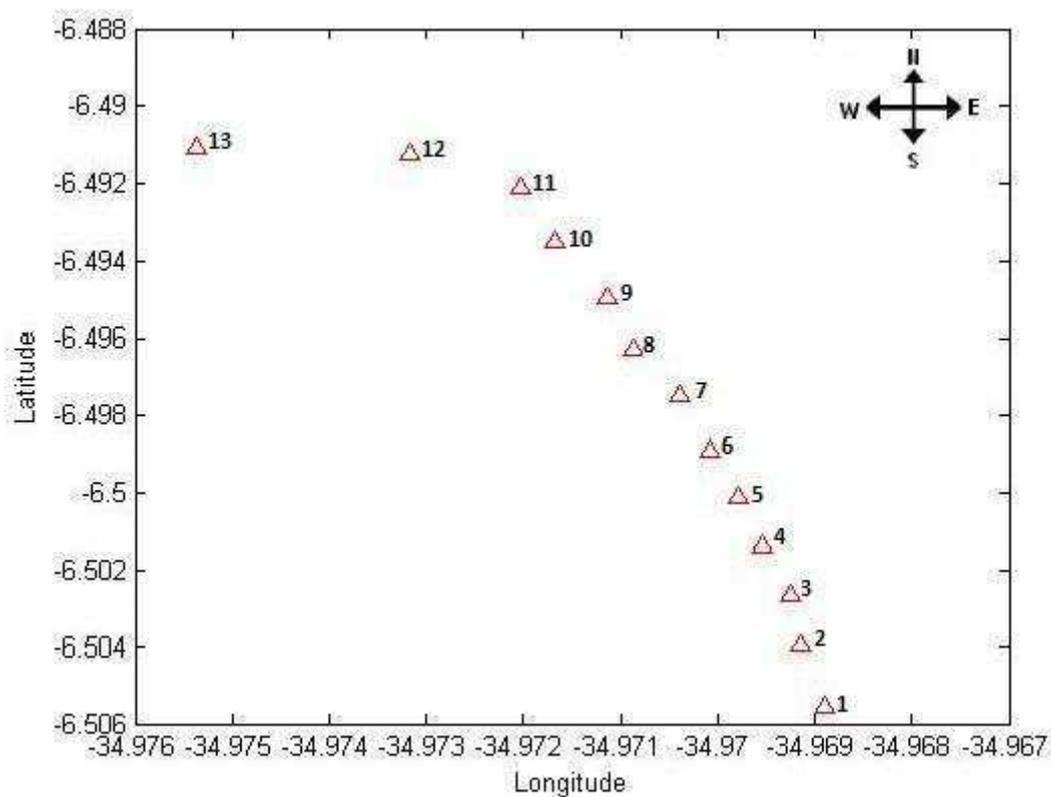


Figura 35 - Disposição dos Aerogeradores da Usina Eólica de Mataraca

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 136m entre as turbinas 5 e 6 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 158m entre as turbinas 11 e 12 e a maior distância encontrada foi de 170m entre as turbinas 1 e 2 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Vale dos Ventos possuem um diâmetro de 48m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 144m e 240m respectivamente.

5.9 USINA EÓLICA VALE DOS VENTOS

A Usina Eólica Vale dos Ventos está localizada no município de Mataraca-PB. Ela está instalada numa área de 7.936,95 m², com capacidade de 48MW, distribuídos em 60 turbinas modelo E-48 da Wobben de 800kW cada. O projeto foi realizado pela Wobben Windpower e inaugurado em 2009.



Figura 36 - Usina eólica Vale dos Ventos
Fonte - <http://pacifichydro.com.br>

Dados da Usina Eólica Vale dos Ventos:

- 60 aerogeradores.
- Modelo E-48/800kW.
- Diâmetro 48m.
- Potencia instalada: 48MW.
- Área: 7.963,95m².
- Vol. de concreto: 18.998,70m³.
- Local: Mataraca-PB.
- Conclusão: 2008.
- Cliente: Wobben Windpower.

Na tabela 11 está a localização em coordenadas geográficas de cada turbina da Usina:

Tabela 11 - Localização dos aerogeradores da Usina Eólica Vale dos Venstos em latitude e longitude

Nº Aerogerador	Latitude	Longitude
1	-6.589901	-34.983077
2	-6.588603	-34.982239
3	-6.58742	-34.981
4	-6.586456	-34.98004
5	-6.585323	-34.979313
6	-6.584236	-34.978538
7	-6.582691	-34.978648
8	-6.589158	-34.97588
9	-6.587751	-34.975566
10	-6.586509	-34.975003
11	-6.5849	-34.974989
12	-6.583346	-34.974922
13	-6.581801	-34.974818
14	-6.580261	-34.974676
15	-6.58244	-34.982294
16	-6.58066	-34.982218
17	-6.578731	-34.982176
18	-6.577839	-34.98089
19	-6.578265	-34.978281
20	-6.575872	-34.979238
21	-6.574236	-34.979262
22	-6.572395	-34.979251
23	-6.570626	-34.979257

24	-6.576568	-34.976226
25	-6.57498	-34.976162
26	-6.573562	-34.975765
27	-6.572248	-34.97526
28	-6.579275	-34.973093
29	-6.577897	-34.972696
30	-6.576248	-34.972144
31	-6.574308	-34.971666
32	-6.572923	-34.971342
33	-6.57154	-34.970921
34	-6.570146	-34.970601
35	-6.567663	-34.970279
36	-6.566389	-34.969429
37	-6.564574	-34.969781
38	-6.562403	-34.970739
39	-6.56022	-34.971623
40	-6.558129	-34.972406
41	-6.55613	-34.972948
42	-6.554337	-34.973318
43	-6.55281	-34.973246
44	-6.550638	-34.973968
45	-6.54929	-34.973914
46	-6.547771	-34.973927
47	-6.572137	-34.967442
48	-6.570596	-34.967388
49	-6.568795	-34.967348
50	-6.56361	-34.967487
51	-6.56195	-34.967584
52	-6.560348	-34.967587
53	-6.558395	-34.968676
54	-6.556383	-34.969209
55	-6.554665	-34.969325
56	-6.553543	-34.968536
57	-6.552386	-34.967847
58	-6.549921	-34.969754
59	-6.548629	-34.969325
60	-6.54771	-34.968198

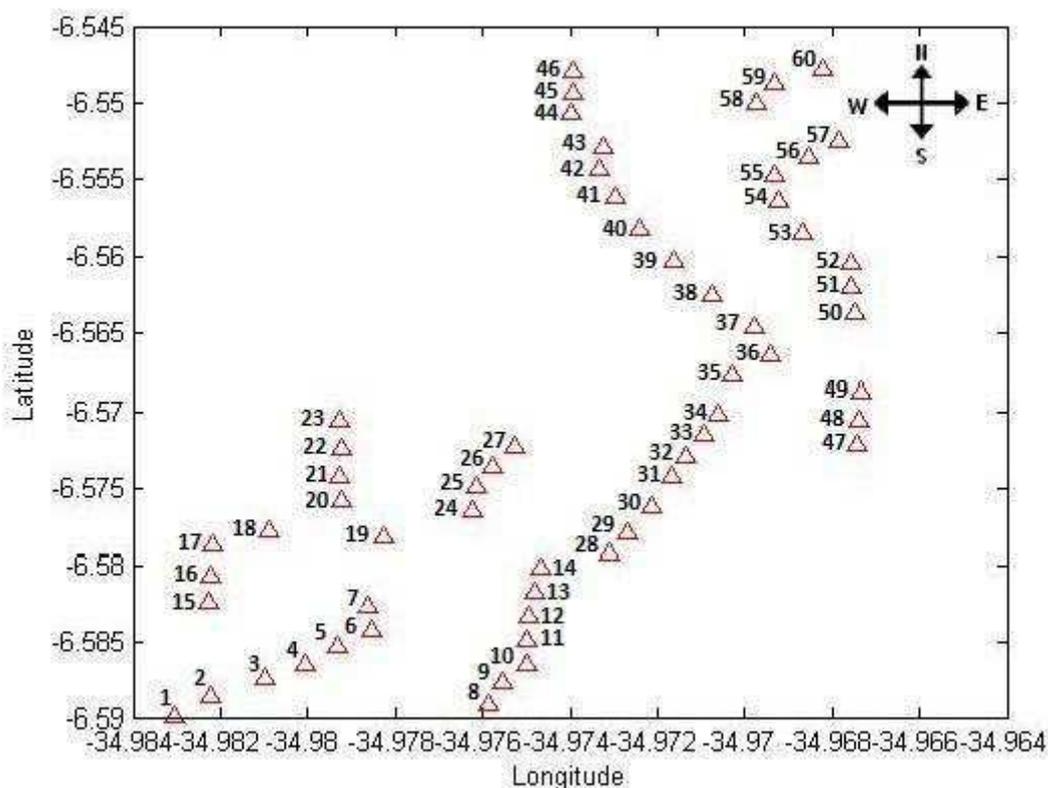


Figura 37 - Disposição dos Aerogeradores da Usina eólica Vale dos Ventos

Com a utilização da ferramenta para cálculo de distância, disponível no Google maps, para efetuar o cálculo da distância de cada aerogerador aos demais, foi encontrando uma distância mínima 152m entre as turbinas 58 e 59 na direção perpendicular ao sentido do vento e de 349m entre as turbinas 49 e 35 na direção predominante do vento.

As turbinas utilizadas na Usina eólica de Vale dos Ventos possuem um diâmetro de 48m, onde, como já visto a distância proposta entre duas turbinas é de três a cinco diâmetros na direção perpendicular à velocidade predominante do vento e de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento. Onde a distância mínima ideal seria de 144m e 240m respectivamente.

6 CONCLUSÃO

A energia eólica vem aumentando sua participação no contexto energético brasileiro nos últimos anos. O Brasil é o país mais promissor do mundo em termos de produção de energia eólica, na avaliação do Global Wind Energy Council, organismo internacional que reúne entidades e empresas relacionadas à produção desse tipo de energia. Na elaboração dos projetos desses parques eólicos são levados em consideração diversos fatores, antes da sua fase de construção.

Com a realização deste trabalho, foi possível compreender os fatores que influenciam o vento, o fenômeno conhecido como efeito esteira e os principais fatores levados em consideração na elaboração do projeto de um parque eólico. Ao projetar um parque eólico um dos maiores desafios encontradas pelos agentes de implantação é conseguir uma maior produção de energia para um espaço limitado. Há, naturalmente, muitos aspectos a considerar na concepção de um projeto desse. Assim, a busca pelo melhor posicionamento das turbinas eólicas dentro do parque é de fundamental importância na busca de um leiaute que seja minimamente afetado pelo efeito esteira. Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho teve por objetivo analisar o leiaute de parques eólicos, a disposição dos aerogeradores levando-se em conta a distância mínima entre cada um.

Na literatura encontrada, a distância proposta entre duas turbinas é de cinco a nove diâmetros do rotor na direção predominante do vento e de três a cinco diâmetros do rotor na direção perpendicular à velocidade predominante do vento. Mesmo com esse tipo de espaçamento as perdas pelo efeito esteira estão em torno de 5%. Contudo, foi verificado, que apenas três dos parques estudados possuem todas as suas turbinas dentro dessas recomendações de distâncias mínimas. Como não foi possível fazer uso dos dados usados na elaboração do projeto de cada parque eólico, uma vez que, esses projetos não são disponibilizados para eventuais consultas ou estudos, não foi possível calcular as reais perdas causadas pelo efeito esteira em cada parque.

Sugere-se como possível continuação deste trabalho, a utilização de um algoritmo Genético ou software, como WindPro, para simular e calcular as perdas causadas pelo efeito esteira e outras sugestões de leiaute para cada parque.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL. Matriz Energética do Brasil. **ANEEL**, 2013. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=7&ger=Outros&principal=E%C3%B3lica>> . Último acesso em: 30/08/2013.

AMARANTE, O.A.C.; ZACK, J.; BROWER, M.; SÁ, A.L. **Atlas do Potencial Eólico brasileiro do Brasil**. Brasília, 2001. BOCCARD, N. **Capacity factor of Wind Power realized values vs. estimates – Energy Policy 37**. Departamentd'Economia, universitat de Girona, 17071 Girona, Spain. 2009

BONS VENTOS, Parque Eólico Aracati, **Bons Ventos**. Disponível em:
< <http://www.bonsventos.eng.br/sis.interna.asp?pasta=1&pagina=125>>. Último acesso em: 25/08/2013.

BRAZIL WINDPOWER. Homepage, **Brazil Windpower**. Disponível em:
<www.brazilwindpower.org/>. Último acesso em: 27/08/2013.

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. **Wind Energy Handbook**. John Wiley & Sons Inc., N.Y. (2001).

CASTRO, R.M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada – Introdução à Energia Eólica**. Universidade Técnica de Lisboa. Março de 2008 ed. 3.1

CBEE / UFPE, Central Eólica da Prainha, **Centro Brasileiro de Energia Eólica** . Disponível em:
< http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_6_1.htm>. Último acesso em: 26/08/2013.

DUTRA, R.M. **Propostas de políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA**. Rio de Janeiro, 2007.

ECOENERGIA, Tecnologias: Turbinas Eólicas, **Revista Ecoenergia**. Disponível em:
<<http://www.revistaecoenergia.com.br/artigo.php?id=5>>. Último acesso em: 25/08/2013.

ENERGIALATERAL, Energia Eólica, **Energia Lateral**. Disponível em:
<<http://energialateral.pt/energia-eolica.html>>. Último acesso em: 22/08/2013.

EWEA, 2002, **European Best Practice Guidelines for implementation of wind energy projects**. [S.l.]: European Wind Energy Association. Disponível em:
<http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/wind_energy/2002_best_practice.pdf>. Último acesso em: 02/07/2013

FOCUS, Wind Power, **Renewable Energy Focus** . Disponível em:
< <http://www.renewableenergyfocus.com/category/61/wind-power/>>. Último acesso em: 26/08/2013.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Roadmap towards a Competitive Europea Energy Market**. Copyright @ 2012 World Energy Council, 2010.

GWEC. Global statistics. **GWEC**, 2013. Disponível em:

<<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>>. Último acesso em: 29/08/2013.

IEA, Evolução Turbinas Eólicas, **International Energy Agency**. Disponível em:

<<http://fqnosecundario.ning.com/photo/evolucao-turbinas-eolicas>>. Último acesso em: 27/08/2013.

IMPSA. Proyectos **IMPSA**, 2013. Disponível em:

<<http://www.impsa.com/pt/projetos/wind/SitePages/ceara.aspx>>. Último acesso em: 29/08/2013.

MATARACA, O vento ficou a favor, **Usina de Mataraca** . Disponível em:

<<http://revistaepoca.globo.com/Revista/Epoca/0,,EDG83178-6010-518,00O+VENTO+FICOU+A+FAVOR.html>>. Último acesso em: 30/08/2013.

MERCURIUS. Portifólio. **Mercurius**, 2013. Disponível em:

<<http://www.mercurius.com.br/portifolio>>. Último acesso em: 29/08/2013.

PACIFICHYDRO, Parque Eólico Vale dos Ventos, **PacificHydro**. Disponível em:

<<http://pacifichydro.com.br>>. Último acesso em: 23/08/2013.

PBWORKS, Ventos, **Pbworks**. Disponível em:

<<http://ventos.pbworks.com/w/page/9917412/Ventos>>. Último acesso em: 27/08/2013.

PEDRA DO SAL, Usina Eólica da praia da Pedra do Sal, **Pedra do Sal**. Disponível em:

<<http://www.portalcostanorte.meionorte.com>>. Último acesso em: 26/08/2013.

PINIWEB, Infraestrutura, **Pini Web**. Disponível em:

<<http://piniweb.pini.com.br/construcao/infra-estrutura/brasil-vai-construir-71-parques-eolicos-159913-1.aspx>>. Último acesso em: 29/08/2013.

RENOVÁVEIS, Energia Eólica, **Energias Renováveis**. Disponível em:

<<http://aero-mini.blogspot.com.br>>. Último acesso em: 26/08/2013.

RICARDO RODRIGUES, **Energia Eólica - Uma Fonte de Energia Alternativa** . Disponível em:

<<http://www.publicarartigos.com/energia-eolica-fonte-energia-alternativa.php#ixzz2e4KA0cG0>>. Último acesso em: 15/08/2013.

SANDIA, Scaled Wind Farm Technology, **Sandia National Laboratories**. Disponível em:

<http://energy.sandia.gov/?page_id=7942>. Último acesso em: 26/08/2013.

SIEMENS, Wind Turbine with Record-Breaking Rotors, **Siemens**. Disponível em:

<http://www.siemens.com/innovation/en/news/2012/e_inno_1223_2.htm>. Último acesso em: 25/08/2013.

SUZLON, Parque eólico no Ceará, **SUZLON**. Disponível em:

<<http://luizabrito67.blogspot.com.br/2012/03/indiana-suzlon-vende-100-de-seu-parque.html>>. Último acesso em: 25/08/2013.

THE WIND POWER. Turbines list. **The Wind Power**, 2013. Disponível em:
<http://www.thewindpower.net/manuturb_turbines_en.php>. Último acesso em: 29/08/2013.