



Universidade Federal  
de Campina Grande

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Bruno Albuquerque Dias

**ENERGIA EÓLICA E O ESTUDO DE CASO DO PARQUE  
EÓLICO DE BROTAS DE MACAÚBAS**

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2015

BRUNO ALBUQUERQUE DIAS

ENERGIA EÓLICA E O ESTUDO DE CASO DO PARQUE  
EÓLICO DE BROTAS DE MACAÚBAS

*Trabalho de conclusão de curso submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica 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

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba.  
Janeiro de 2015

BRUNO ALBUQUERQUE DIAS

# ENERGIA EÓLICA E O ESTUDO DE CASO DO PARQUE EÓLICO DE BROTAS DE MACAÚBAS

*Trabalho de conclusão de curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica 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 Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a Deus, minha família, namorada, amigos e a todos os outros que me acompanharam nessa caminhada.

*“O período de maior ganho em  
conhecimento e experiência é o período  
mais difícil da vida de alguém”.*

Dalai Lama.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e por me conceder a oportunidade e o suporte para cursar uma graduação.

Agradeço também a meus pais, por todo o esforço que tiveram para me proporcionar uma boa educação, que dentre todas as dificuldades sempre me proporcionaram o melhor estudo possível, e por serem prova viva que não há distância que separe uma família.

Agradeço aos meus irmãos, colegas, amigos e familiares, pelo incentivo e pelos momentos de alegria e descontração que me proporcionaram. Também à minha namorada, Maria Tereza, pela colaboração em toda minha vida acadêmica.

Agradeço em especial ao professor Leimar de Oliveira pela orientação e colaboração em todo o trabalho, pela chance e pelo compartilhamento dos seus conhecimentos, os quais foram de extrema importância para o aprendizado durante a elaboração do trabalho.

Enfim, agradeço a todas as pessoas com as quais tive a oportunidade e o privilégio de conviver durante minha formação, que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção do profissional que sou hoje.

## RESUMO

O presente trabalho visa apresentar um estudo de caso em geração de energia eólica, tomando como base o Complexo Eólico de Brotas e Macaúbas. Para tanto analisou-se inicialmente todo o contexto de implantação de um parque: condições locais de vento, leiaute e tipo de equipamentos utilizados. Verificou-se ainda a capacidade instalada e os aspectos relacionados à sua interligação com o SIN. O trabalho realiza um histórico, contextualizando o atual estado da energia eólica no Mundo e no Brasil e suas perspectivas futuras. É feita uma revisão bibliográfica com ênfase no estado da arte da tecnologia dos aerogeradores ressaltando os tipos mais usados no Brasil e as condições de vento. Aborda-se ainda os fatores econômicos, impactos ambientais decorrentes de suas instalações e utilizações.

**Palavras-chave:** Energia Eólica, Parque Eólico, Complexo Eólico, Turbina Eólica, Aerogeradores, Subestação.

# LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, UNIDADES E TERMOS EM INGLÊS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

LT – Linha de Transmissão

MT – Média Tensão

SIN – Sistema Interligado Nacional

SE – Subestação

WWEA – World Wind Energy Association

GWEC – Global Wind Energy Council

IEA – International Energy Agency

TEEH – Turbina Eólica de Eixo Horizontal

TEEV – Turbina Eólica de Eixo Vertical

UHE – Usina Hidrelétrica

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

UTE – Usina Termelétrica

FUNCEF – Fundação dos Economistas Federais

km – Quilômetro (10<sup>3</sup> m)

m – Metro

m<sup>2</sup> – Metros quadrado

mm – Milímetro

mm<sup>2</sup> – Milímetros quadrado

m/s – Metro por segundo

km/h – Quilômetro por hora

V – Volt

kV – Quilovolt (10<sup>3</sup> V)

MV – Megavolt (10<sup>6</sup> V)

A – Ampère

VA – Volt-ampère

kVA – Quilovolt-ampère (10<sup>3</sup> VA)

MVA – Megavolt-ampère (10<sup>6</sup> VA)

W – Watt

MW – Megawatt (10<sup>6</sup> W)

GW – Gigawatt (10<sup>9</sup> W)

MΩ – Megaohm (10<sup>6</sup> Ω)

MWh – Megawatt hora (10<sup>6</sup> Wh)

TWh/ano – Terawatt hora por ano (10<sup>12</sup> Wh/ano)

US\$ – Dólar americano

$E_c$  – Energia Cinética

$P_{mec}$  – Potência mecânica disponível

$\rho$  – Massa específica do ar

$A$  – Área da circunferência que é varrida pelas pás da turbina

$V_v$  – Velocidade do vento

$C_p(\lambda, \beta)$  – Coeficiente de potência do aerogerador

$\lambda$  – Razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade do vento incidente

$\beta$  - Família de curvas que varia de acordo com ângulo de passo das pás

$R$  – Raio do rotor

$\omega$  - Velocidade angular do rotor

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura típica de um moinho de vento.....	15
Figura 2: Turbinas eólicas.....	16
Figura 3: Capacidade total instalada 2010-2014.....	17
Figura 4: Nova capacidade instalada no primeiro semestre de 2014. ....	18
Figura 5: Ranking dos países geradores de energia eólica .....	19
Figura 6: Projeção da evolução de potência instalada no brasil.....	20
Figura 7: Mapa dos ventos do brasil.....	21
Figura 8: Distribuição geral dos ventos .....	22
Figura 9:Variação da velocidade do vento através do rotor da turbina .....	23
Figura 10:Trajetória da máxima potência .....	24
Figura 11: Relação coeficiente de potência/Número de pás.....	25
Figura 12: Turbina de eixo vertical tipo Darrieus.....	26
Figura 13: Turbina de eixo vertical tipo savonius .....	26
Figura 14: Turbina de eixo horizontal .....	27
Figura 15: Componentes de aerogerador de eixo horizontal .....	28
Figura 16:composição do custo de parques geradores eólicos na Europa.....	30
Figura 17:custos de implantação de parque eólico na Europa.....	30
Figura 18:Produção de ee no cenário da IEA e do GWEC.....	32
Figura 19: Disposição dos Aerogeradores.....	34
Figura 20: Curva de geração da turbina eco 86 .....	36
Figura 21: Turbina eólica eco 86 (a) aerogerador montado (b) Esquema de montagem (c) base do aerogerador (d) tramos da torre (e) Nacele (f) pás do rotor.....	36
Figura 22: Países que utilizam a eco 86.....	37
Figura 23: Esquema de um sistema de conversão tipo C .....	38
Figura 24: Condutor em alumínio isolado para rede de média tensão. ....	39

# SUMÁRIO

1.	Introdução .....	12
1.1	Objetivos .....	12
1.2	Estrutura .....	13
2.	Panorama da Energia Eólica .....	14
2.1	História .....	14
2.2	Energia Eólica no Mundo .....	16
2.3	Energia Eólica no Brasil .....	19
3.	Revisão Bibliográfica .....	22
3.1	O Vento .....	22
3.2	Aproveitamento da energia cinética dos ventos .....	23
3.3	Turbinas .....	23
3.4	Modelos de turbinas .....	25
3.4.1	Turbina Eólica de eixo vertical .....	25
3.4.2	Turbina Eólica de eixo horizontal .....	26
3.5	Principais componentes de um aerogerador .....	27
3.5.1	Configurações de controle da potência gerada no rotor .....	29
3.6	Custos de implantação .....	30
3.7	Impactos Sócio ambientais .....	31
3.8	Projeções para o futuro .....	32
4.	Estudo de Caso .....	33
4.1	A empresa e o investimento .....	33
4.2	O leiaute do complexo eólico .....	33
4.3	Aerogerador Eco 86 .....	35
4.4	Sistema de conversão de energia da turbina eco 86 .....	37
4.5	A rede de média tensão .....	38
4.6	A Subestação .....	39
5.	Conclusões .....	41
	Referências Bibliográficas .....	42

# 1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um elemento vital para qualquer nação sendo a base de sustentação do desenvolvimento econômico e dos altos padrões de vida que atualmente se verificam. Face ao contínuo crescimento da população mundial, é essencial que se diversifique as fontes de energia primária e se amplie num curto prazo de tempo, a eficiência dos sistemas de conversão de energia de modo a atender, de forma sustentada e equilibrada, ao previsível aumento de demanda de energia elétrica no futuro.

Hoje em dia a energia eólica é vista como uma das fontes de energia renováveis mais promissoras, caracterizada por ser uma tecnologia, madura, “limpa”, sustentável e apresentando como a fonte renovável com maior viabilidade econômica dentro de um leque das novas fontes renováveis. Mais intensamente utilizada na Europa, Estados Unidos e recentemente na China e em países emergentes como o Brasil.

O presente estudo tem como centro de interesse apresentar um estudo de caso do Parque Eólico Brotas de Macaúba situado na Bahia. Para tanto aborda-se anteriormente as noções básicas da Energia Eólica, desde as tecnologias de aproveitamento das Turbinas Eólicas à análise sucinta do Potencial Eólico, tanto no Brasil como no mundo.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa estudar um caso prático, o Parque Eólico de Brotas de Macaúba, abordando seu leiaute, condições de terreno e dos ventos locais, potência instalada, equipamentos, conexão com o Sistema Interligado Nacional (SIN) e empresas envolvidas.

Para um entendimento melhor, é previamente feita uma revisão sobre os conceitos relacionados à energia eólica, desde o contexto histórico, sua conversão em energia elétrica, ventos, aerogeradores, turbinas e partes que compõem as turbinas até as tendências para o futuro. Abordando também a sustentabilidade e os possíveis impactos ambientais.

## 1.2 ESTRUTURA

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Este, o primeiro, apresenta uma visão geral sobre os temas abordados no trabalho.

No Segundo capítulo será apresentado a história da energia eólica e a situação atual da energia eólica no mundo e no Brasil.

No terceiro capítulo será feita uma revisão bibliográfica sobre a energia eólica, desde a origem dos ventos, a potência disponível nele, composição do sistema de geração, modelos de turbinas e ainda fatores socioeconômicos e impactos ambientais.

No quarto capítulo serão apresentados os estudos referentes ao caso do Parque Eólico de Brotas de Macaúbas desde as turbinas utilizadas a sua conexão com a rede elétrica.

No capítulo cinco serão feitas considerações finais sobre o estudo, levando-se em consideração tudo que foi apresentado e por fim, têm-se as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa.

## 2. PANORAMA DA ENERGIA EÓLICA

Atualmente, a utilização de energia eólica para gerar energia elétrica está ganhando mais espaço. A busca por energia sustentável e a diminuição da dependência de combustíveis fósseis vêm estimulando países a dar iniciativas ao desenvolvimento de tecnologias e implantação de parques eólicos.

### 2.1 HISTÓRIA

Os primeiros aproveitamentos da força dos ventos pelo homem têm data bastante imprecisa, mas, certamente, ocorreram há milhares de anos, no Oriente. Estima-se que a partir da Idade Média o homem passou a utilizar em maior escala as forças aerodinâmicas de sustentação, permitindo as grandes navegações e também maior eficiência às máquinas eólicas. Possivelmente, máquinas eólicas movidas por forças de sustentação foram introduzidas na Europa pelas Cruzadas, por volta do século XI. O certo é que no século XIV, na Holanda, essas máquinas já apresentavam grande evolução técnica e de capacidade em potência e ampla aplicação como fonte de energia, principalmente em moagem de grãos, serrarias e bombeamento d'água. À época da descoberta do Brasil, em 1500, havia muitos milhares de moinhos de vento em toda a Europa, da Península Ibérica aos países nórdicos. Durante os séculos seguintes, as máquinas eólicas tiveram grandemente expandida, a sua aplicação na Europa: em fabricação de papel para atender à demanda após a invenção da imprensa, em produção de óleos vegetais e até em grandes projetos de drenagem. Com a expansão do uso de máquinas a vapor, no século XIX, os moinhos de vento europeus entraram gradualmente em desuso.

A utilização de cata-ventos de múltiplas pás destinados ao bombeamento d'água desenvolveu-se de forma efetiva, em diversos países, principalmente nas suas áreas rurais. Acredita-se que desde a segunda metade do século XIX mais de seis milhões de cata-ventos já teriam sido fabricados e instalados somente nos Estados Unidos para o bombeamento d'água em sedes de fazendas isoladas e para abastecimento de bebedouros para o gado em pastagens extensas. Os cata-ventos de múltiplas pás foram

usados também em outras regiões como a Austrália, Rússia, África e América Latina. O sistema se adaptou muito bem às condições rurais tendo em vista suas características de fácil operação e manutenção. Toda a estrutura era feita de metal e o sistema de bombeamento era feito por meio de bombas e pistões favorecidos pelo alto torque fornecido pelo grande número de pás. Até hoje esse sistema é largamente usado em várias partes do mundo para bombeamento d'água.

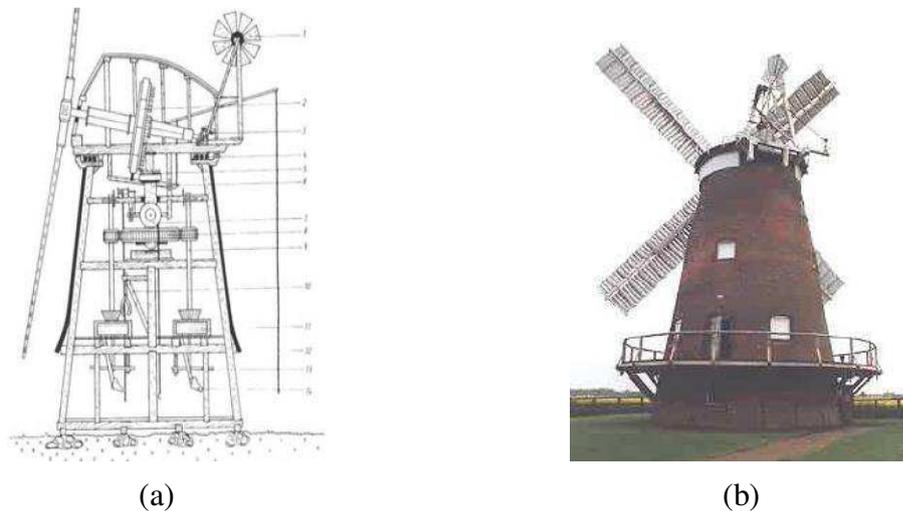


Figura 1: Estrutura típica de um moinho de vento  
 (a) Vista Interior;  
 (b) Vista Exterior.

Fonte: Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - Cepel

Para a geração de energia elétrica, também nos Estados Unidos, a partir da década de 1930, iniciou-se uma ampla utilização de pequenos aerogeradores para carregamento de baterias, o que favoreceu o acesso à energia elétrica aos habitantes do meio rural. Entre 1930 e 1960, dezenas de milhares desses aerogeradores foram produzidos e instalados nos Estados Unidos, bem como exportados para diversos países. A produção dessas máquinas foi desativada gradualmente nas décadas de 1950 e 1960, à medida que as redes de eletrificação passaram a dominar o atendimento rural.

A geração de eletricidade em grande escala, para alimentar de forma suplementar o sistema elétrico com o uso de turbinas eólicas de grande porte, é tecnologia que existe há diversas décadas. Desde a fase experimental, ressaltam-se os primeiros aproveitamentos eólico-elétricos realizados durante as décadas de 1940 e 1950 nos Estados Unidos (Smith-Putnam) e Dinamarca (Gedser). Pode-se dizer que o precursor das atuais turbinas eólicas surgiu na Alemanha (Hütter, 1955), já com pás fabricadas em materiais compostos, controle de passo e torre tubular esbelta.

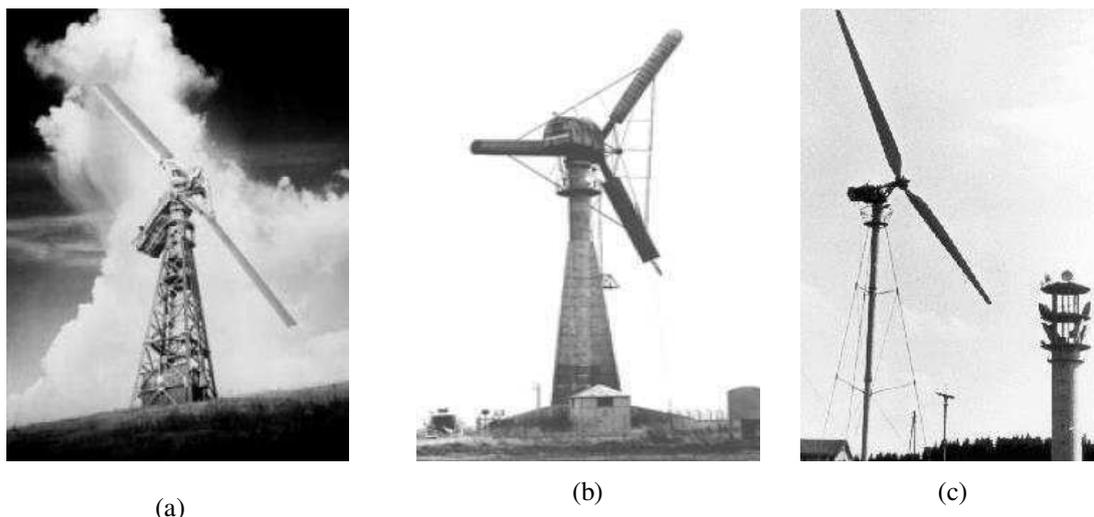


Figura 2: Turbinas eólicas.  
 (a) Smith-Putnam (1941-1945) USA;  
 (b) Gedser (1977-1979) Dinamarca;  
 (c) Hütter (1955) Alemanha.

Na década de 1970 e até meados da década de 1980, após a primeira grande crise de preços do petróleo, diversos países – inclusive o Brasil – aumentaram seus esforços em pesquisa sobre utilização da energia eólica para a geração elétrica. Data dessa época a turbina DEBRA 100kW, desenvolvida em conjunto entre os institutos de pesquisa aeroespacial do Brasil e da Alemanha (DEBRA = DEutsche BRAsileira).

Entretanto, foi a partir de experiências de estímulo ao mercado, realizadas na Califórnia (década de 1980), Dinamarca e Alemanha (década de 1990), que o aproveitamento eólico-elétrico atingiu escala de contribuição mais significativa ao sistema elétrico, em termos de geração e economia.

## 2.2 ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

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.

A capacidade eólica mundial atingiu 336 GW pelo final de Junho de 2014, dos quais 17.6 GW foram adicionados nos primeiros seis meses de 2014. O total da capacidade eólica instalada em todo o mundo, em meados de 2014 pode gerar cerca de

4% da demanda de eletricidade do mundo. A capacidade eólica mundial cresceu 5,5% em seis meses.

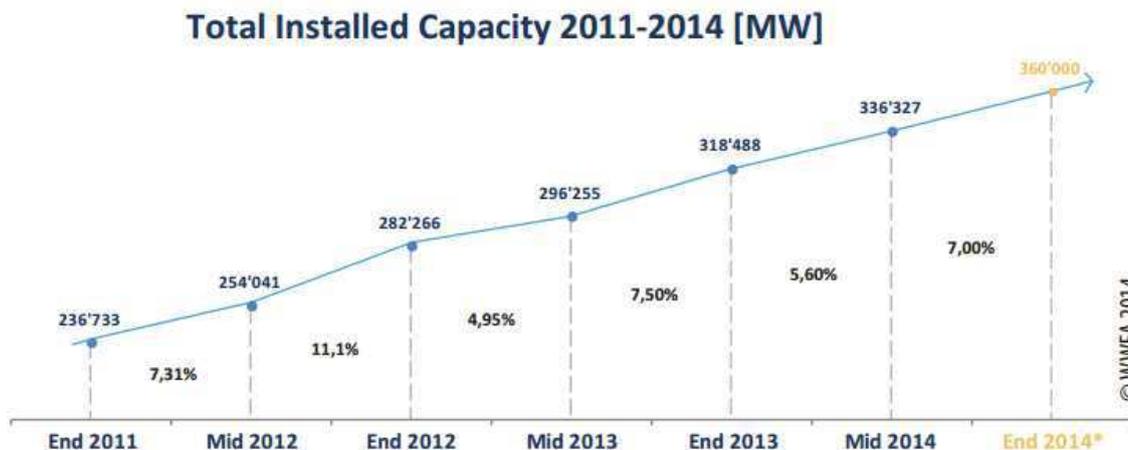


Figura 3: Capacidade total instalada 2010-2014  
 Fonte: The World Wind Energy Association - Half Year 2014 Report.

Os cinco países: China, Alemanha, Índia, Estado unidos e Espanha ainda representam coletivamente a maior parte da capacidade eólica global cerca de 72%.

O mercado chinês mostrou um desempenho muito forte e adicionou 7,1 GW, alcançando uma capacidade eólica total de 98 GW em junho de 2014.

A Alemanha adicionou 1,8 GW dentro do primeiro semestre. Este novo recorde, vem devido antecipação das mudanças na legislação da energia renovável, o que pode levar a um abrandamento do mercado alemão nos próximos anos.

Índia manteve claramente a sua posição como número dois da Ásia, com 1,1 GW de nova capacidade eólica.

O mercado norte-americano, após colapso em 2013, tem mostrado fortes sinais de recuperação, com um tamanho de mercado de 835 MW, um pouco à frente do Canadá (723 MW), Austrália (699 MW).

O mercado espanhol, no entanto, não contribuiu para a crescimento global em 2014, com apenas 0,1 MW de novas instalações no primeiro semestre de 2014.

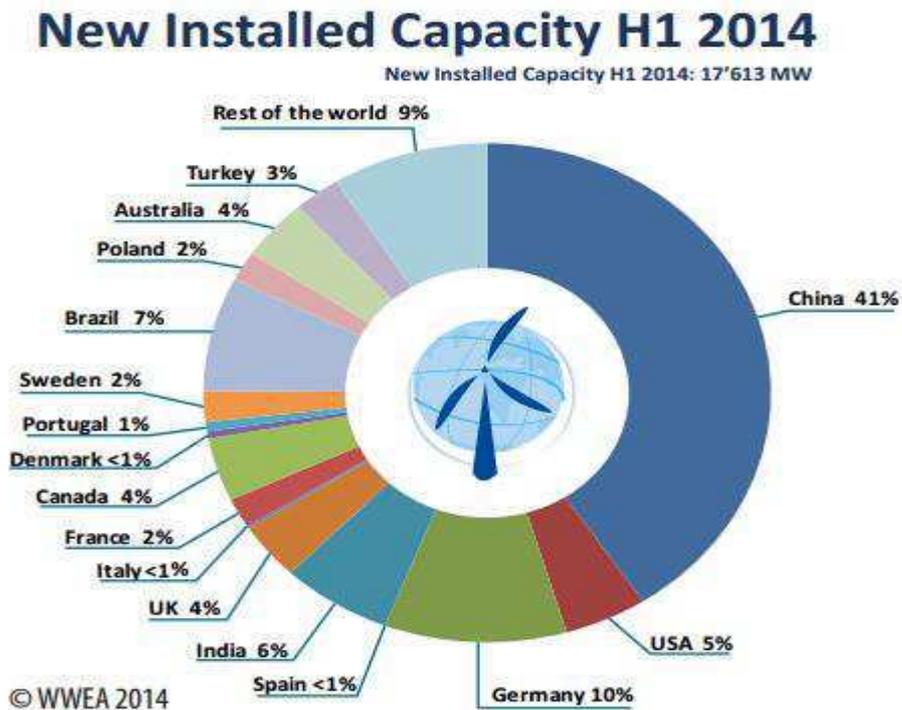


Figura 4: Nova capacidade instalada no primeiro semestre de 2014.  
 Fonte: The World Wind Energy Association - Half Year 2014 Report.

Os dez primeiros países mostram um quadro semelhante no primeiro semestre de 2014, embora em um desempenho ligeiramente superior. Cinco países cresceram mais forte do que em 2013: China, EUA, Alemanha, França e Canadá. Cinco países viram um mercado decrescente: Espanha, Reino Unido, Itália, Dinamarca e, em menor grau, na Índia. Espanha e Itália praticamente paralisaram, com apenas 0,1 MW e 30 MW, respectivamente, de nova capacidade instalada. Polónia está agora na lista dos top 15 países de capacidade instalada, enquanto o Japão caiu para fora.

Position	Country	Total Capacity by June 2014 [MW]	Added Capacity H1 2014 [MW]	Total Capacity end 2013 [MW]	Added Capacity H1 2013 [MW]	Total Capacity end 2012 [MW]	Added Capacity H1 2012 [MW]	Total Capacity end 2011 [MW]
1	China	98'588	7'175	91'413	5'503	75'324	5'410	62'364
2	USA	61'946	835	61'108	1,6	59'882	2'883	46'919
3	Germany	36'488	1'830	34'658	1'143	31'315	941	29'075
4	Spain	22'970	0,1	22'959	122	22'796	414	21'673
5	India*	21'262	1'112	20'150	1'243	18'321	1'471	15'880
6	United Kingdom	11'180	649	10'531	1'331	8'445	822	6'018
7	France	8'592	338	8'254	198	7'499	320	6'877
8	Italy	8'586	30	8'551	273	8'144	650	6'640
9	Canada	8'526	723	7'698	377	6'201	246	5'265
10	Denmark	4'855	83	4'772	416	4'162	56	3'927
11	Portugal	4'829	105	4'724	22	4'525	19	4'379
12	Sweden	4'824	354	4'470	526	3'745	-	2'798
13	Brazil	4'700	1'301	3'399	281	2'507	118	1'429
14	Australia	3'748	699	3'049	475	2'584	-	2'226
15	Poland	3'727	337	3'390	310	2'497	-	1'616
	Rest of the World	31'506	2'042	29'451	1'761	24'660	3'026	16'493
	<b>Total</b>	<b>336'327</b>	<b>17'613</b>	<b>318'488</b>	<b>13'978</b>	<b>282'607</b>	<b>16'376</b>	<b>233'579</b>

© WWEA 2014

Figura 5: Ranking dos países geradores de energia eólica  
 Fonte: The World Wind Energy Association - Half Year 2014 Report.

O desenvolvimento positivo de mercados eólicos em todo o mundo ocorre certamente devido as vantagens econômicas da energia eólica e da sua crescente competitividade em relação a outras fontes de eletricidade, bem como a necessidade urgente de implementar tecnologias livres de emissões, a fim de mitigar a mudança climática e ar poluição.

## 2.3 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

Pela primeira vez, o Brasil entrou no grupo dos que mais investem em energia eólica com a impressionante taxa de crescimento de 38,2% durante o primeiro semestre de 2014, o país tornou-se o terceiro maior mercado para novas turbinas eólicas representando 7% de todas as novas vendas, depois da China e da Alemanha, e à frente dos EUA e Índia. Com isso, o Brasil tem sido capaz de estender sua liderança incontestável na América Latina. Estudos afirmam que 300 GW podem ser extraídos no território nacional e a expectativa é de que chegue a 20 GW em 2020.



Figura 6: Projeção da evolução de potência instalada no Brasil.  
 Fonte: [http://www.brazilwindpower.org/pt/index\\_2014.asp](http://www.brazilwindpower.org/pt/index_2014.asp)

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. 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. O Brasil é hoje a 13<sup>a</sup> posição no ranking dos países produtores. O Nordeste é o campeão nacional de geração de energia eólica. O Ceará detém 40% da capacidade do país.

Em nenhuma parte do Brasil a energia eólica provocou mudanças tão importantes quanto o Rio Grande do Norte. Até 4 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.

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. Possui ainda nove fábricas e aerogeradores que estão sendo exportados.

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 estimado em mais de 272 TWh/ano.

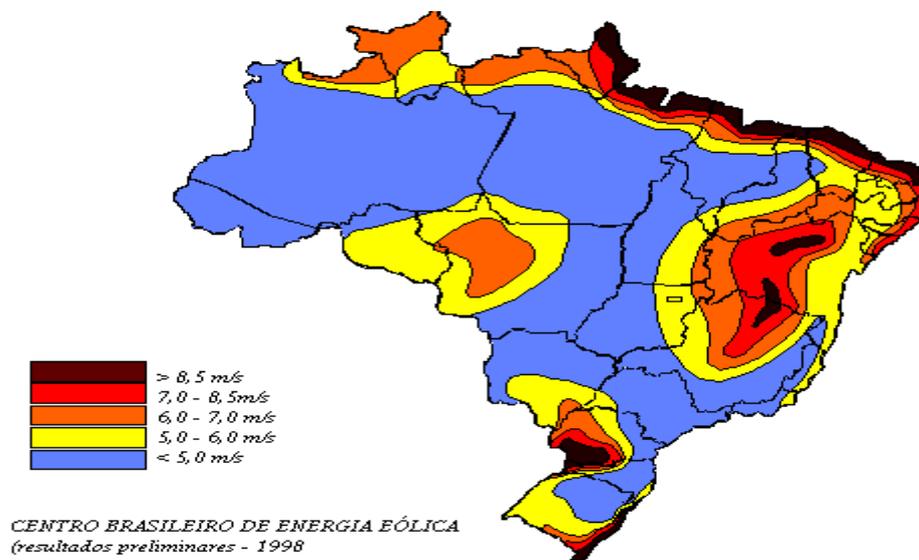


Figura 7: Mapa dos ventos do Brasil  
Fonte: Eletrobras/Cepel 2001

Na Paraíba um leilão garantiu a construção de mais três parques eólicos que serão construídos no Seridó paraibano. Vencedores do leilão de geração de energia A-5, realizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) na manhã do dia 28/11/2014, os projetos serão instalados no município de São José do Sabugi, mas inclui ainda territórios dos municípios de Santa Luzia e do Junco do Seridó.

Os três parques totalizam um investimento de cerca de R\$ 300 milhões e terão 30 MW (Megawatt) de potência cada. Foram comprados 488 lotes das três usinas, valendo R\$136,24 cada MWh, o que resulta em cerca de R\$ 60 milhões de renda fixa anual. O preço ficou abaixo da média registrada no leilão que foi R\$ 196,11 por cada MWh.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente foi realizado um estudo aprofundado sobre a formação dos ventos, aproveitamento da energia cinética fornecida pela ação dos ventos, composição do sistema e modelos de turbinas.

Foram avaliados também os fatores econômicos, e impactos ambientais gerados junto com o crescimento da tecnologia, bem como as perspectivas para o futuro.

#### 3.1 O VENTO

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.

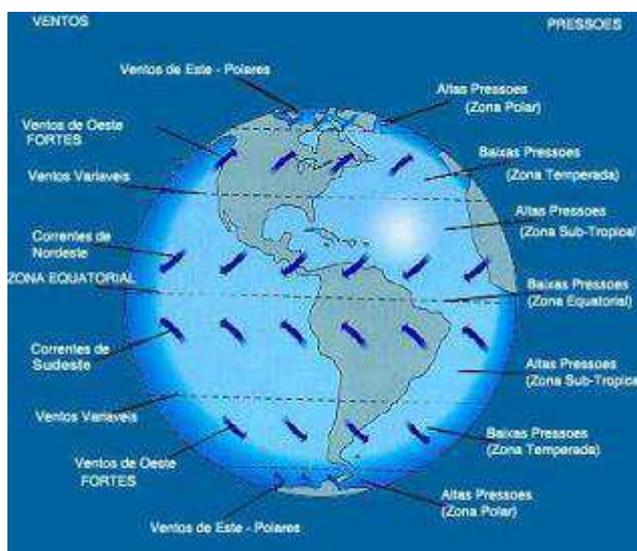


Figura 8: Distribuição geral dos ventos

Fonte: [http://mundodosventos.com.br/2009/12/direcao-dos-ventos\\_06.html](http://mundodosventos.com.br/2009/12/direcao-dos-ventos_06.html)

Os ventos mais fortes 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.

### 3.2 APROVEITAMENTO DA ENERGIA CINÉTICA DOS VENTOS

O aproveitamento da energia dos ventos para a geração de eletricidade ocorre pela conversão de parte da energia cinética, disponível no ar em movimento, utilizando o aerogerador. A conversão pelo aerogerador consiste em duas fases: o rotor, acionado pelas pás do aerogerador, retira energia cinética do vento e a converte em conjugado mecânico e o gerador converte o conjugado mecânico em eletricidade.

### 3.3 TURBINAS

A função principal da turbina eólica é converter a energia cinética dos ventos em conjugado mecânico. Quando acoplada a um sistema de transmissão e um gerador elétrico, essa energia é convertida em energia elétrica pela conversão eletromecânica. A energia cinética do vento por unidade de volume, pode ser calculada pela equação 1:

$$Ec = \frac{1}{2} * \rho * V_v^2 \quad (1)$$

Na equação 1,  $\rho$  é massa específica do ar. A potência disponível é, portanto:

$$Pe = \frac{1}{2} * \rho * A * V_v^2 \quad (2)$$

Onde “A”, na equação 2, é a área da secção transversal que intercepta perpendicularmente um fluxo de ar.

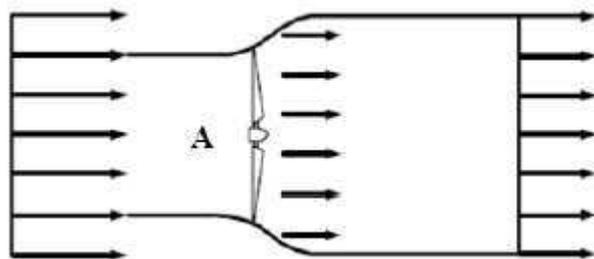


Figura 9:Variação da velocidade do vento através do rotor da turbina  
Fonte: Tese COPE

Como apenas parte dessa energia cinética pode ser convertida em energia mecânica, o rendimento da turbina é influenciado pela sua curva de coeficiente de

potência  $C_p(\lambda, \beta)$ . Esta curva é função da razão da velocidade de ponta da pá  $\lambda$  e a velocidade do vento e do ângulo de passo das pás  $\beta$ , que tem seus valores alterados em função das características aerodinâmicas das pás. A potência que pode ser extraída por uma turbina eólica de 3 pás com eixo horizontal pode ser calculada a partir da Equação 3:

$$P_m = \frac{1}{2} * \rho * A * C_p(\lambda, \beta) * V_v^3 \quad (3)$$

Um sistema de conversão eólico pode ser classificado como de velocidade fixa, variável ou limitada. Os sistemas que operam com velocidade constante só conseguem extrair a máxima potência da turbina em uma pequena faixa de velocidades do vento, que geralmente é a velocidade mais frequente na região. Nos sistemas com velocidade variável, o ganho pode variar de 3% a 28% quando comparados com o de velocidade fixa, dependendo das condições do vento e dos parâmetros da turbina. A curva de potência extraída por uma turbina eólica, em função da velocidade da turbina, pode ser observada na Figura 10.

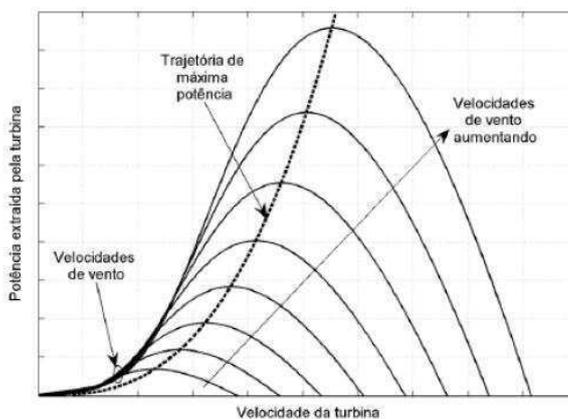


Figura 10: Trajetória da máxima potência  
Fonte: Tese COPE

Em relação à quantidade de pás utilizadas na turbina, tem-se na figura 11 mostra a influência do número de pás no coeficiente de potência.

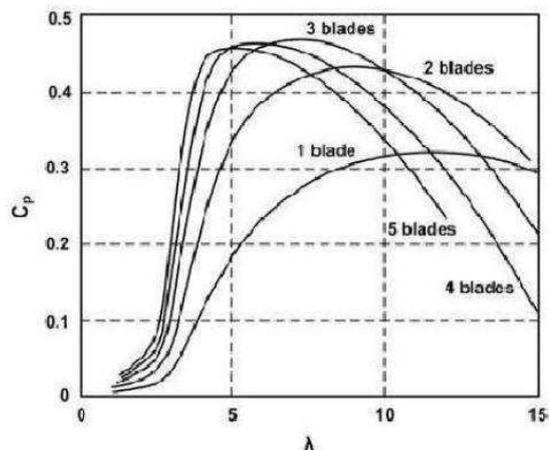


Figura 11: Relação coeficiente de potência/Número de pás  
Fonte: Tese COPE

Turbinas de eixo horizontal com duas e três pás são as que permitem maior aproveitamento da energia eólica com velocidades entre 7m/s e 15m/s, as mais comumente utilizadas, são as turbinas de eixo horizontal com três pás.

### 3.4 MODELOS DE TURBINAS

Iremos abordar dois modelos principais de turbinas no mercado: turbina eólica de eixo horizontal (TEEH) e turbina eólica de eixo vertical (TEEV).

#### 3.4.1 TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL

A turbina eólica de eixo vertical, tem o seu eixo montado na vertical, perpendicular ao solo. São turbinas menos usuais do que as de eixo horizontal.

Vantagens, todos os equipamentos se encontram ao nível do solo, facilitando a instalação e manutenção dos mesmos. Não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços.

Desvantagens, as TEEVs são estaiadas no solo, ocasionando em menor elevação do rotor e conseqüentemente, ventos mais lentos e eficiência reduzida.

Os principais tipos de TEEVs são o Darrieus e Savonius. As Figuras 12 e 13 ilustram esses modelos de turbinas.



Figura 12: Turbina de eixo vertical tipo Darrieus

Fonte: <http://www.powermag.com/changing-winds-the-evolving-wind-turbine/>



Figura 13: Turbina de eixo vertical tipo savonius

Fonte: <http://www.odnawialne-firmy.pl/blog/turbina-savoniusa/>

### 3.4.2 TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL

Turbina cujo eixo é montado paralelo ao solo, a turbina eólica de eixo horizontal é a mais comum no mercado e nos parques eólicos.

Vantagens, o seu rendimento aerodinâmico é superior aos de eixo vertical e estão menos expostos aos esforços mecânicos, compensando seu maior custo.

Desvantagens, essas turbinas precisam se alinhar constantemente com a direção do vento, usando um mecanismo automático de ajuste. O controlador eletrônico da turbina lê a posição de um dispositivo mecânico ou eletrônico e ajusta a posição do rotor para capturar o máximo de energia disponível pelo vento. A Figura 14 ilustra uma TEEH.



Figura 14: Turbina de eixo horizontal  
Fonte: <http://www.aerogeradores.org/images/gerador.jpg>

### 3.5 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM AEROGERADOR

Podemos observar a seguir as partes que compõem um aerogerador de eixo horizontal

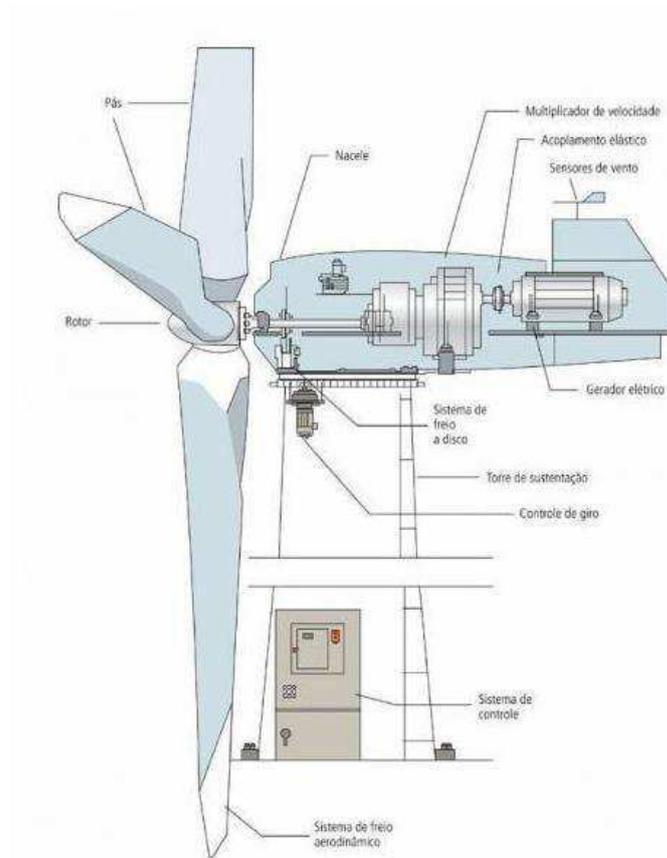


Figura 15: Componentes de aerogerador de eixo horizontal

Fonte: <https://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com/aerogerador-de-eixo-horizontal>

- **Torre de sustentação:** Item fundamental para sustentar e posicionar o rotor. Capaz de sustentar o grande peso das partes componentes do aerogerador que ficam na nacelle. É responsável por grande parte do custo de instalação da turbina eólica.

- **Nacelle:** É a carcaça do aerogerador montada sobre a torre, abriga as partes componentes do sistema de geração de energia como o gerador e caixa multiplicadora, além do eixo e freios do sistema.

- **Eixo:** O eixo da turbina eólica é conectado ao cubo do rotor. Quando o rotor gira, o eixo gira junto, transferindo sua energia mecânica rotacional para um gerador elétrico na outra extremidade.

- **Freios:** Em caso de sobrecarga de energia ou algum outro tipo de falha do sistema, detém a rotação do eixo.

- **Caixa Multiplicadora:** Sistema de engrenagens para a multiplicação da velocidade entre os eixos do rotor e do gerador.

- **Pás do Rotor:** As pás são responsáveis pela interação com vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico rotacional no eixo. Atualmente são fabricadas em a fibra de vidro reforçada com epóxi.

- **Sistemas de Controle Aerodinâmico da Potência:** Monitora todo o sistema, realiza o desligamento da turbina em caso de falha e ajusta o mecanismo de alinhamento da turbina com o vento de maneira que atinjam e consigam manter a máxima potência nominal no maior intervalo de tempo possível.

### 3.5.1 CONFIGURAÇÕES DE CONTROLE DA POTÊNCIA GERADA NO ROTOR

- Controle Passivo de Perda de Eficiência Aerodinâmica:

As pás são montadas no rotor em ângulo fixo, mas são projetadas de modo que a torção das próprias pás aplique a frenagem quando o vento for excessivo. As pás estão dispostas em ângulo, assim os ventos acima de certa velocidade causarão turbulência no lado contrário da pá, induzindo à perda da eficiência aerodinâmica. Em termos simples, a perda de eficiência aerodinâmica ocorre quando o ângulo da pá voltado para a chegada do vento se torna tão acentuado que começa a eliminar a força de empuxo, diminuindo a velocidade das pás.

- Controle Ativo de Perda de Eficiência Aerodinâmica:

As pás neste tipo de sistema de controle de potência possuem passo variável. Um sistema ativo de perda de eficiência aerodinâmica lê a geração de potência do mesmo modo que um sistema de passo controlado, mas em vez de mudar o passo das pás para desalinhá-las com o vento, ele as altera para gerar perda de eficiência aerodinâmica.

- Controle de Passo:

O controlador eletrônico da turbina monitora a geração de potência. Com velocidades do vento acima de 72 km/h, a geração de potência será excessiva, a ponto de o controlador ordenar que as pás alterem seu passo de modo que fiquem desalinhas com o vento. Isto diminui a velocidade de rotação das pás. Este controle requer que o ângulo de montagem das pás seja ajustável.

### 3.6 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Os aerogeradores representam o principal custo para implantação de um parque eólico como pode ser verificado na figura 16.

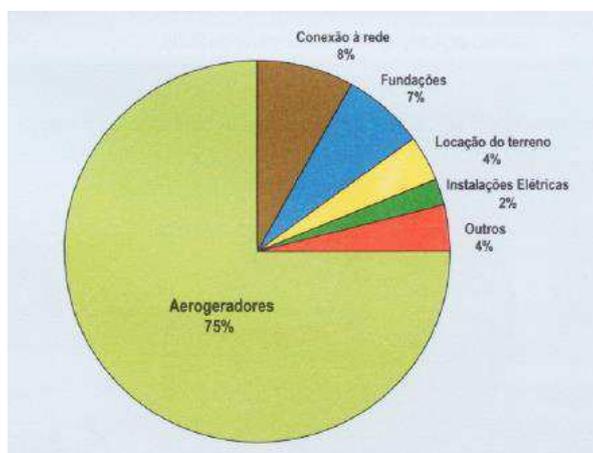


Figura 16: composição do custo de parques geradores eólicos na Europa

Fonte: Energia Eólica para produção de energia elétrica / Ronaldo dos Santos Custódio, -Rio de Janeiro, Eletrobrás 2009.

O acréscimo nos anos entre 2008 e 2011 foram consequência do forte mercado mundial, que gerou uma demanda superior a capacidade produtiva da indústria de energia eólica, outro fator foi o aumento nos preços das commodities no mercado internacional, em especial o aço.

Entretanto o amadurecimento do mercado eólico e o desenvolvimento tecnológico tem resultado o decréscimo dos custos, como pode ser verificado na figura 17.

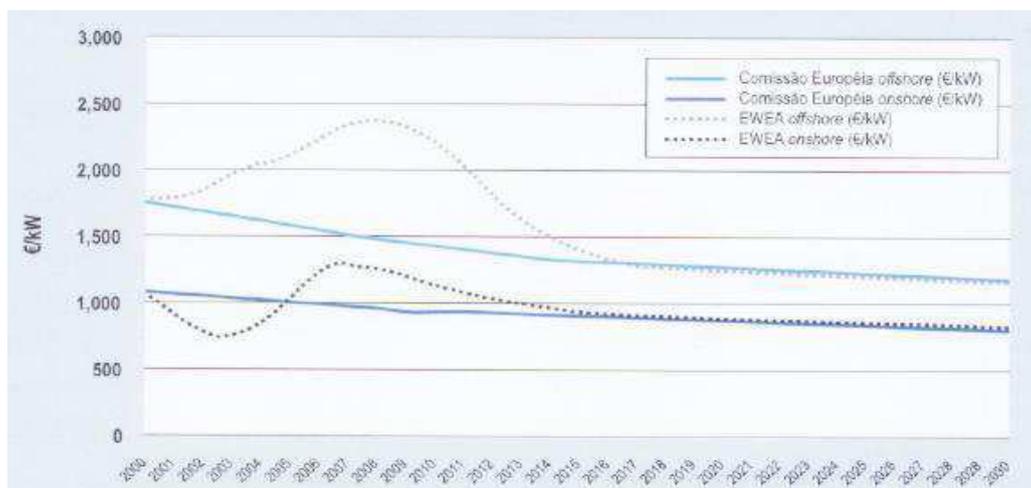


Figura 17: Custos de implantação de parque eólico na Europa.

Fonte: Energia Eólica para produção de energia elétrica / Ronaldo dos Santos Custódio, -Rio de Janeiro, Eletrobrás 2009.

### 3.7 IMPACTOS SÓCIO AMBIENTAIS

A energia eólica apresenta baixos impactos sócio ambientais, o seu uso não implica emissões de gases ou particulados, não há resíduos, não existe deslocamento de populações, animais ou plantas, não há alagamento de áreas, cidades, sítios arqueológicos, florestas, etc. Dessa forma, podemos fazer um comparativo entre cada unidade (kWh) de energia elétrica gerada por turbinas eólicas e a mesma energia que seria gerada por uma planta convencional de geração de energia elétrica. Ao fazer essa análise chegamos à conclusão de que a energia eólica apresenta grandes vantagens na redução de emissão de gases de efeito estufa e na redução da concentração de CO<sub>2</sub> durante a sua operação. Com o avanço de programas de eficiência energética, com o propósito de tornar mais eficiente o parque gerador de energia, as emissões de CO<sub>2</sub> e de gases de efeito estufa têm-se reduzido ao longo dos anos, mas permanecem, ainda, em uma faixa muito alta.

Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos. O ruído proveniente das turbinas eólicas tem duas origens: mecânica e aerodinâmica. O ruído mecânico é proveniente, principalmente, da caixa de engrenagens que multiplica a rotação das pás para o gerador. O conjunto de engrenagens funciona na faixa de 1000 a 1500 rpm, onde toda a vibração da caixa multiplicadora é transmitida para as paredes da nacelle onde esta é fixada. A transmissão de ruído também pode ser ocasionada pela própria torre, através dos contatos desta com a nacelle. Estudos sobre a geração e o controle do ruído gerado pelas partes mecânicas já são bastante conhecidos. A tecnologia atual mostra que é possível a construção de turbinas eólicas com níveis de ruído bem menores. Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores.

Outro aspecto que se deve ressaltar é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados. Estas interferências não são significativas. No entanto, é necessário efetuar estudos mais detalhados quando o parque se situa junto de aeroportos ou de sistemas de retransmissão.

Essas interferências variam muito, segundo o local de instalação da usina e suas especificações técnicas, particularmente o material utilizado na fabricação das pás. Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as

especificações das turbinas. Apesar de ser considerado como negativo, esses impactos tendem a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional.

### 3.8 PROJEÇÕES PARA O FUTURO

De acordo com o conselho mundial de energia eólica (Global Wind Energy Council – GWEC), é esperado que o mercado mundial da indústria eólica continue a crescer nos próximos anos.

O mercado chinês demonstra ter atingido a estabilização após alguns anos de enormes taxas de crescimento. Por outro lado, mercados como a Índia e o Brasil apresentam uma tendência de crescimento robusto, embora sobre uma base expressivamente menor. Canadá e Austrália são dois países que tendem a adicionar expressiva capacidade instalada.

Em 2009 a Agência Internacional de Energia (IEA) publicou um roadmap com projeções de crescimento da energia eólica no mundo até o ano de 2050. De acordo com o roadmap sugerido pela IEA, a indústria eólica deverá vivenciar um enorme crescimento nas próximas décadas, atingindo a produção anual de aproximadamente 2.600 TWh em 2030 (provindos de uma capacidade instalada de 1.000 GW), o que representaria cerca de 9% do consumo global de eletricidade, e, 5.100 TWh em 2050 (provindos de uma capacidade instalada acima de 2.000 GW), o que representaria cerca de 12% do consumo global de eletricidade.

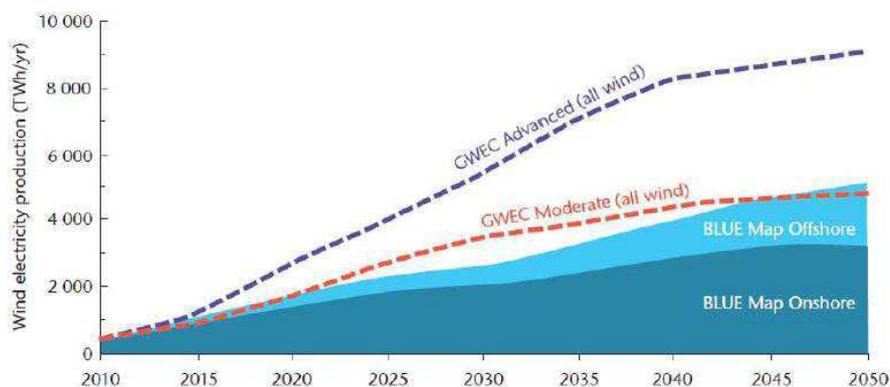


Figura 18: Produção de ee no cenário da IEA e do GWEC.

Fonte: International Energy Agency – IEA (2008a), Global Wind Energy Council (2008).

## 4. ESTUDO DE CASO

Este capítulo aborda o estudo específico do Parque Eólico de Brotas de Macaúbas, tratando da empresa, valores do investimento, turbinas utilizadas no empreendimento e a conexão do parque ao SIN (Sistema Interligado Nacional).

### 4.1 A EMPRESA E O INVESTIMENTO

A Desenvix Energias Renováveis S.A., empresa controlada pelo Grupo Engevix, pela norueguesa SN Power e pela FUNCEF, foi constituída no ano de 1995 com a finalidade de identificar, avaliar e desenvolver oportunidades de negócios na área de energia renovável. Durante esse período, desenvolveu e contribuiu para implantação de mais de 5.300 MW em empreendimentos de geração de energia elétrica, os quais se encontram em operação no Brasil. Atualmente a Desenvix foca a sua atuação no desenvolvimento, implantação e operação de novos projetos na área geração e transmissão de energia elétrica baseada em fontes renováveis, notadamente UHEs, PCHs, e UTEs.

O Parque Eólico de Brotas de Macaúbas é um dos maiores empreendimentos já executados pela Desenvix, com investimentos de R\$ 425 milhões. O complexo tem 95 MW de capacidade instalada e um total de 57 turbinas eólicas em operação. A geografia privilegiada da Bahia, a presença de indústrias construtoras de aerogeradores no Estado e os estímulos ao investimento privado oferecidos pelo Governo da Bahia foram determinantes para o sucesso do empreendimento.

### 4.2 O LEIAUTE DO COMPLEXO EÓLICO

O complexo eólico instalado na cidade de Brotas de Macaúbas – BA é composto por 57 aerogeradores, totalizando uma capacidade de geração de 95 MW de energia elétrica e está dividido em três parques eólicos da seguinte forma:

- Parque Seabra: 18 aerogeradores;
- Parque Novo Horizonte: 18 aerogeradores;
- Parque Macaúbas: 21 aerogeradores.

Possui uma geografia privilegiada, está localizado no alto da Serra da Mangabeira, onde o vento possui velocidade média de 25 quilômetros por hora, sendo superior assim aos 11 quilômetros por hora necessários para ativação do aerogerador.



Figura 19: Disposição dos Aerogeradores.  
Fonte: [www.desenvix.com.br](http://www.desenvix.com.br) <Acesso em 20/01/2015>

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, assim uma menor produção de energia por essas turbinas, este efeito é conhecido como efeito esteira.

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.

Infelizmente não foram disponibilizados pela empresa, e nem foi possível encontrar no Google Maps a localização das torres eólicas no parque, nem o espaçamento entre elas, isso impossibilitou a realização de um estudo aprofundado desse efeito no parque eólico em questão

### 4.3 AEROGERADOR ECO 86

No complexo eólico de Brotas de Macaúbas, o sistema de conversão eólio-elétrica é feito por aerogeradores cujo modelo é o **ECO 86** da Alston. Basicamente, constituem-se de turbina eólica, gerador elétrico e sistemas de controles para processamento da energia.

A principal função da turbina eólica é converter a energia cinética dos ventos em energia mecânica rotacional que posteriormente é transformada em eletricidade por meio de um gerador elétrico acoplado a ela. Cada um deles conta com 1,67 MW de potência.

O rotor tem cerca de 85,5 m de diâmetro onde são instaladas três lâminas. A caixa multiplicadora de voltas converte uma única revolução do rotor em 149 revoluções na saída de uma caixa de engrenagens. Por sua vez, ela aciona um gerador de indução produzindo assim, energia elétrica na tensão de 690 V.

A velocidade mínima de operação é de 3 m/s e a velocidade máxima de operação é de 25 m/s. No caso estudado possuímos um vento de 25 km/h o que equivale a 7 m/s. Logo, analisando a curva de operação do aerogerador podemos analisar que o mesmo tem capacidade de geração de 500 kW.

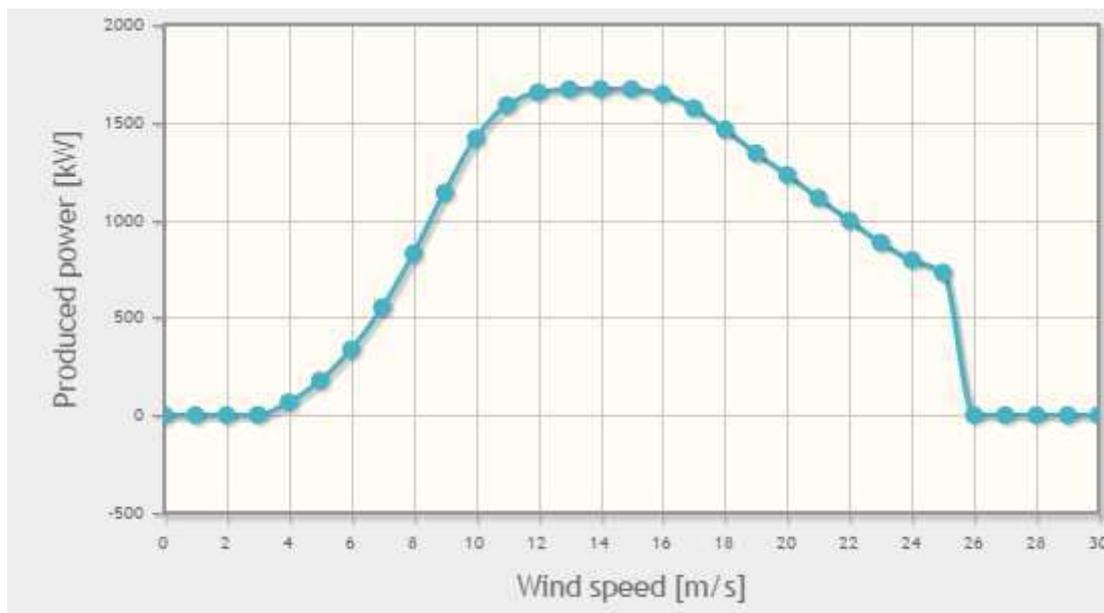


Figura 20: Curva de geração da turbina eco 86  
 Fonte: <http://www.windmatching.com/turbine/324/>

As torres são construídas em aço carbono com 80m de altura e 4m de diâmetro (na base). Elas são montadas sobre um bloco maciço de concreto armado onde é fica engastado o primeiro tramo (T0). No interior do terceiro tramo (T2) existe um transformador a seco que eleva a tensão para 34,5 kV que está conectada a um painel de média tensão localizado no interior do segundo tramo (T1).

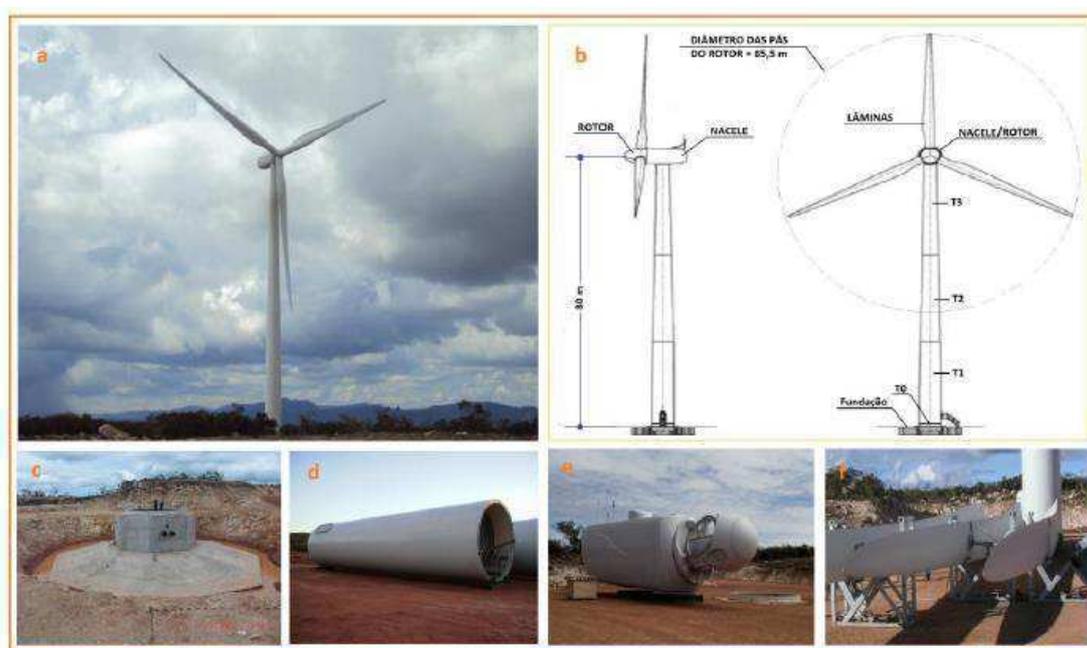


Figura 21: Turbina eólica eco 86 (a) aerogerador montado (b) Esquema de montagem (c) base do aerogerador (d) tramos da torre (e) Nacele (f) pás do rotor.

Esse modelo de turbina é um dos principais fabricados pela Alstom sendo utilizadas em várias fazendas eólicas pelo mundo, principalmente na Europa e Ásia, como mostrado na figura abaixo.



Figura 22: Países que utilizam a eco 86.

Fonte: Catálogo Alstom (Alstom Wind Brochures – Wind Power Solutions).

#### 4.4 SISTEMA DE CONVERSÃO DE ENERGIA DA TURBINA ECO 86

O modelo de turbina eólica **ECO 86** utiliza um gerador elétrico cuja tensão é de 690 V. Ele é uma máquina trifásica assíncrona com rotor bobinado, em corrente alternada com enrolamentos trifásicos que possuem anéis deslizantes e escovas para alimentar as bobinas do rotor. Essas máquinas também são conhecidas como geradores de indução duplamente alimentados quando usadas em sistemas eólicos de geração.

O modelo **ECO 86** utiliza um conversor eletrônico processando parcialmente a energia (Tipo C). Nesse sistema, a turbina eólica opera com velocidade variável associada a um gerador de indução de rotor bobinado e um conversor em configuração de realimentação.

Conforme é indicado na Figura 23, o estator é diretamente conectado à rede elétrica, enquanto que o rotor é conectado à rede por um conversor estático. O conversor do lado da máquina controla a frequência das tensões no rotor e conseqüentemente, sua velocidade. A utilização dos conversores de potência possibilita às turbinas operar com velocidade variável, maximizando a energia extraída do gerador. Além de corrigir o fator de potência e garantir proteção eletrônica para a turbina evitando danos em

condições extremas de vento. **Fonte: Rafael Araruna Martins "Relatório de Estágio Integrado - Energy Eletricidade Limitada, UFCG, Campina Grande, 2011.**

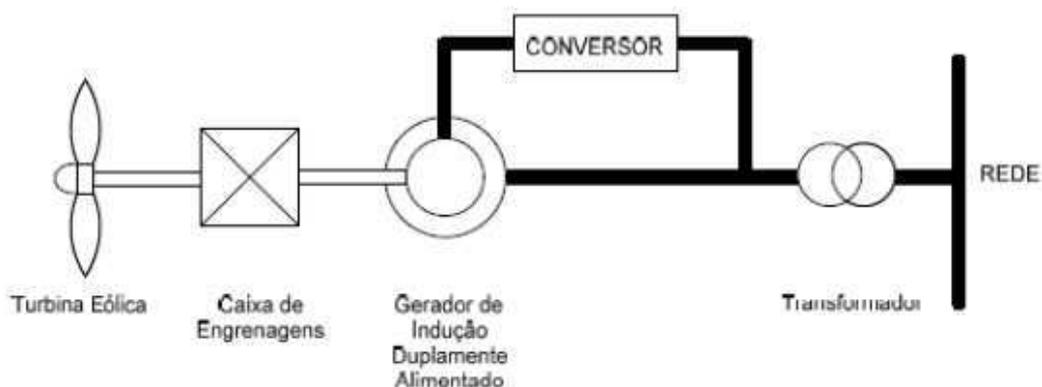


Figura 23: Esquema de um sistema de conversão tipo C

## 4.5 A REDE DE MÉDIA TENSÃO

A rede de média tensão é trifásica, em 34,5 kV, do tipo radial e enterrada diretamente sob o solo. Na medida do possível, ela segue o caminho de acesso às torres garantindo facilidade de manutenção e minimizando os impactos ambientais. A configuração é tal que cada parque eólico foi dividido em dois circuitos, totalizando seis alimentadores onde cada um deles atende em média nove aerogeradores.

No interior de cada aerogerador existe um transformador a seco que eleva a tensão de 690 V para 34,5 kV. Ele está ligado a um painel de média tensão, localizado na parte interna da base da torre, dotado de dispositivos de proteção e manobra como disjuntor e chave seccionadora. Por sua vez, este painel está conectado à rede de média tensão que leva a energia gerada até a subestação.

Os condutores que foram utilizados na rede são de 50, 95, 240 e 300 mm<sup>2</sup> fabricados pela Wirex com classe de isolamento até 35 kV, cujos aspectos construtivos são mostrados na figura 21 conforme se segue.

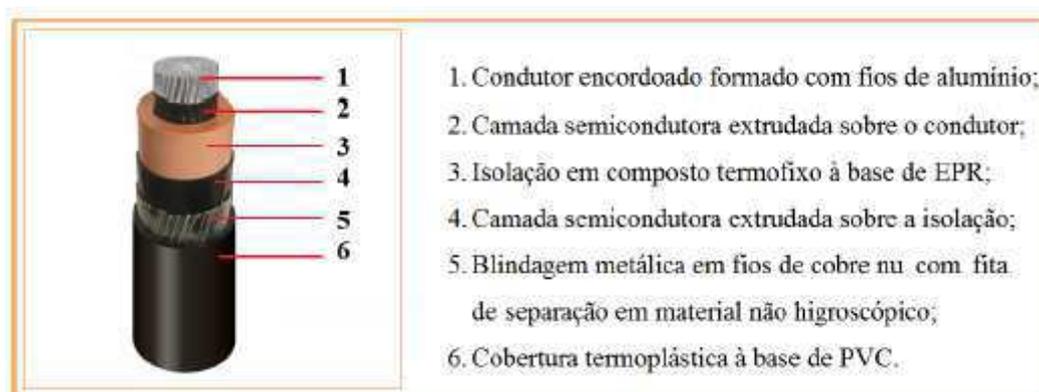


Figura 24: Condutor em alumínio isolado para rede de média tensão. variando de 0,8 a 1,5 m de largura. Em seu interior, são acomodados os cabos elétricos (em trifólio), uma fita de sinalização e o duto de passagem da fibra ótica para monitorar e controlar os aerogeradores. Estas valas são cobertas parcialmente por uma camada de areia fina e a maior parte por material é da própria escavação (solo natural). Por fim, será feita a sinalização do percurso da rede usando balizadores em concreto.

Nos locais onde é previsto a passagem de veículo sobre os cabos de média tensão, os mesmos devem ser instalados dentro de duto flexíveis envelopados por uma camada de concreto magro de modo a garantir a sua integridade.

## 4.6 A SUBESTAÇÃO

A instalação corresponde a uma subestação elevadora de tensão 34,5/ 230 kV a céu aberto construída junto ao complexo eólico. Ela secciona uma linha de transmissão de 230 kV cerca de 20 km depois do barramento, interligando a subestação elevadora ao seccionamento da LT Bom Jesus da Lapa – Irecê de propriedade da Chesf.

O desmembramento formará um anel ligando a SE do complexo eólico ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio de duas novas linhas de transmissão de 230 kV em circuitos verticais, duplos e independentes: SE Brotas – Irecê e SE Brotas – Bom Jesus da Lapa.

A subestação está dividida em dois setores. O lado de média tensão (34,5 kV) e os transformadores de potência pertencem ao setor Desenvix. O lado de alta tensão (230 kV), exceto os transformadores, pertence ao setor Chesf. Cada setor conta com uma casa de comando que será aparelhada com os equipamentos necessários para o seu

perfeito funcionamento. Após a sua construção, a instalação será doada à Chesf que ficará responsável pela sua operação e manutenção.

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo abordar as noções básicas de funcionamento de uma turbina eólica e de todo um parque de energia eólica levando em conta a sua conversão em energia elétrica, as tecnologias empregadas nos modelos de turbinas eólicas e interligação a rede elétrica.

Fica evidente que deve-se fazer investimentos na criação dos mapas eólicos de forma que se possa oferecer estudos mais consistentes de levantamento de velocidades e condições de vento para locar as turbinas nos parques eólicos. Assim podemos evitar o sobre dimensionamento das turbinas e conseqüentemente reduzir custos não necessários.

Percebe-se que o conceito de potência instalada pode não ser o mais apropriado para dimensionar a participação da energia eólica na matriz energética, dado que a energia gerada pode ser bem inferior.

Constata-se que a máquina fornecida pelo fabricante é dimensionada para um rendimento máximo quando submetida a ventos de 13 m/s, o que não corresponde à realidade do parque estudado onde os ventos possuem velocidade de 7 m/s, como a potência varia com o cubo da velocidade do vento isso pode comprometer a geração de energia implicando em custos altos.

Durante a elaboração desse trabalho, foram encontradas dificuldades em obter informações consistentes sobre a localização dos aerogeradores do Parque Eólico de Brotas de Macaúbas, não fornecida pela empresa, nem disponível no Google Maps, o que impossibilita a realização de um estudo sobre o espaçamento dos aerogeradores.

Conclui-se a partir da análise do potencial eólico brasileiro que, existe um bom potencial para geração de energia elétrica que não é aproveitado, mas que os investimentos estão aumentando e o Brasil é hoje um dos países que mais investem nessa forma de geração. Além disso, a energia proveniente dos ventos gera boas expectativas para o futuro, além de já ser uma necessidade para o presente.

## Referências Bibliográficas

DUTRA, RICARDO **Energia Eólica, Princípios e Tecnologia**. CRESESB/CEPEL.

Marcelo Silva de Matos Melo "Energia Eólica: Aspectos Técnicos e Econômicos" Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

Custódio, Ronaldo dos Santos. **Energia Eólica para Produção de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, Eletrobrás 2009.

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

CRESESB/CEPEL. *Energia eólica – princípios e aplicações*. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/eolica/>.

BRAZIL WINDPOWER. Homepage, **Brazil Windpower**. Disponível em: [www.brazilwindpower.org/](http://www.brazilwindpower.org/). Último acesso em: 20/12/2014.

CATALOGO ALSTOM. Home Page, **Alstom**. Disponível em: [http://www.alstom.com/Global/Brazil/Resources/Documents/catalogo%20eolica\\_port\\_01ago.pdf](http://www.alstom.com/Global/Brazil/Resources/Documents/catalogo%20eolica_port_01ago.pdf). Último acesso em: 22/01/2015.

NEGOCIOS DESENVIX. Home Page, **Desenvix**. Disponível em: <http://www.desenvix.com.br/negocios/Lists/Operacao/DispForm.aspx?ID=10&Foto=51#album>. Último acesso em: 01/02/2015.

BROTAS DE MACUBAS. Disponível em: <http://brotasaqui.blogspot.com.br/2012/09/desenvix-inaugura-parque-eolico-em.html>. Último acesso em: 25/01/2015.

Anderson Lopes e Silva "Energia Eólica, o Estado da Arte" Trabalho de Conclusão de Curso, UFCG, Campina Grande, 2006.

Rafael Araruna Martins "Relatório de Estágio Integrado - Energy Eletricidade Limitada, UFCG, Campina Grande, 2011

The World Wind Energy Association - Half Year 2014 Report.

TURBINA EÓLICA. Disponível em: <http://www.powermag.com/changing-winds-the-evolving-wind-turbine/>. Último acesso em: 27/01/2015.