



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

DAYVSON FÁBER ALCÂNTARA SILVA

**SETOR ELÉTRICO: A PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO
NORDESTE BRASILEIRO**

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

DAYVSON FÁBER ALCÂNTARA SILVA

SETOR ELÉTRICO: A PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO

*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: Energias Renováveis

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira

Campina Grande, Paraíba
Outubro de 2013

DAYVSON FÁBER ALCÂNTARA SILVA

SETOR ELÉTRICO: A PRODUÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO NORDESTE BRASILEIRO

*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: Energias Renováveis

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

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

Dedico este trabalho aos meus Pais, Flávio e Joana, a meu irmão Diego, a minha noiva Lunara, e a todos meus amigos e familiares que me apoiaram no decorrer dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por me dar forças para seguir em frente para conquistar meus objetivos e sonhos.

Agradeço ao meu Pai, Flávio Cândido, por tudo que ele fez até hoje, um grande PAI, que sempre me ensinou, aconselhou de como se tornar um bom homem de caráter e de me proporcionar uma boa formação. A minha mãe, Joana Dar’c, por estar sempre ao meu lado, cuidando, me dando força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada.

Agradeço também a minha noiva, Lunara Caroline, que me ajudou de forma direta ou indireta nessa trajetória. Agradeço ao meu irmão, Diego Fabricio, que também me ajudou ao longo da vida. Agradeço a toda minha família, que sempre me apoiaram de alguma forma.

Agradeço ao GRUPO DE ESTUDO “AINDA BEM”, em especial para André Guimarães, Diogo Ferreira, Kennedy Luna, Leiva Casemiro, Ramsés de Araujo, Pablo Ribeiro, e Wesley Costa, pela nossa amizade, que juntos conseguimos vencer essa batalha, que durante cinco anos, muitas noites mal dormidas, discussões, foram momentos que valeram a pena, e que nos tornaram o que somos hoje.

Agradeço ao Prof. Leimar de Oliveira, pela paciência sempre dedicada na orientação e no decorrer da minha graduação que sempre me aconselhou da melhor forma possível.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“Tudo tem seu tempo e até certas manifestações mais vigorosas e originais entram em voga ou saem de moda. Mas a sabedoria tem uma vantagem: é Eterna.”

Baltasar Gracián.

RESUMO

Este trabalho apresenta um panorama da Energia Eólica no Brasil e no mundo, evidenciando seus principais aspectos técnicos e ambientais, mostrando o crescimento do mercado da Energia Eólica nos últimos anos e os fatores políticos que ajudaram a promover esse desenvolvimento. No âmbito nacional, este estudo descreve também o atual cenário da geração de energia elétrica no país, assim como o seu Potencial Eólico e os programas e recursos utilizados pelo Brasil para promover o desenvolvimento interno desta fonte de energia. Desta maneira foi analisado o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) lançado pelo governo através da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. O Brasil também tem adotado os leilões como mecanismo para comercialização de energia elétrica no mercado regulado e como incentivo às fontes renováveis de energia. O primeiro Leilão de Energia de Reserva de fontes eólica foi realizado em dezembro de 2009 – LER003/2009. Os leilões subsequentes da mesma fonte foram o LER005/2010 e o Leilão de Fontes Alternativas LFA007/2010. Estes três leilões foram a base de estudo deste trabalho. Dos projetos vencedores, alguns fatores de capacidade definidos pelos vendedores ficaram acima da média para a fonte eólica mundial.

Palavras-chave: Energia Eólica, Leilão de Energia, Parque Eólico, Aerogeradores.

ABSTRACT

This paper presents an overview of wind energy in Brazil and in the world, portraying its main technical and environmental aspects, showing the growth of the wind energy's market and the investments that were made to promote such evolution. Focusing on the Brazilian wind energy market, this study describes its current scenario, its potential, and the investments being done towards the development of this energy source. In a more specific level, the case of PROINFA ("Alternative sources of energy incentive's program") was studied. A program that was set forth by the Brazilian government (Law n. 10.438 de 2002). Brazil has adopted auctions as a mechanism to trade the electricity in the regulated market and as encouragement to renewable energy. The first Reserve Energy Auction from wind sources was conducted in December 2009 - LER003/2009. The subsequent auctions of the same source were LER005/2010 and the Alternative Sources Auction LFA007/2010. These three auctions were the basis of this study. From the winning projects, some capacity factors set by the sellers were above the average if compared to the wind power worldwide.

Keywords: Wind Energy, Energy Auction, Wind Farm, Wind Turbine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição Geral dos Ventos.....	4
Figura 2 - Distribuição Geral dos Ventos.....	4
Figura 3 - Brisa Marítima e Brisa Terrestre	6
Figura 4 - Forças de Empuxo e de Arrasto sobre as Pás da Turbina.....	7
Figura 5 - Turbina de Eixo Vertical.....	10
Figura 6 - Turbina de Eixo Horizontal	11
Figura 7 - Esquema de uma Turbina Eólica	14
Figura 8 - Tradicional Moinho Holandês, construído em Zaanse Schans.....	16
Figura 9 - Parque Eólico Renascença V	18
Figura 10 - Reservatório Hídrico (Hidráulica)	25
Figura 11 - Matriz Elétrica Mundial – 1973/2013.....	27
Figura 12 - Capacidade Total Instalada Mundial 2010-2012 [MW].....	28
Figura 13 - Capacidade de Energia Eólica Mundial, 2012.....	29
Figura 14 - Capacidade Total Instalada (MW/Anos)	31
Figura 15 - Preço Médio de Venda (R\$/MWh-U\$/MWh)	44
Figura 16 - Visão Geral da Comercialização de Energia	45
Figura 17 - Tipos de Leilões do ACR	46
Figura 18 - Capacidade Total Instalada por Estado [MW].....	57
Figura 19 - Capacidade Eólica Contratada nos Leilões [MW].....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tamanho do Rotor / Geração Máx. de Potência	9
Tabela 2 - Matriz Elétrica Brasileira e Empreendimentos em Operação	32
Tabela 3 - Montante Negociado nos Leilões de Energia no Brasil	48
Tabela 4 - Cronologia dos Leilões de Contratação de Energia	49
Tabela 5 - Resumo dos Resultados do Leilão LER – 003/2009.....	50
Tabela 6 - Projetos Eólicos por Estado - LER 003/2009.....	50
Tabela 7 - Resumo do Resultado do Leilão – LER 005/2010.....	51
Tabela 8 - Projetos Eólicos por Estados - LER 005/2010	52
Tabela 9 - Resumo dos Resultados do Leilão – LFA 007/20010.....	53
Tabela 10 - Projetos Eólicos por Estado.....	53
Tabela 11 - Projetos Eólicos por Estado – LEN 002/2011.....	54
Tabela 12 – Projetos Eólicos por Estados – LER 003/2011.....	55
Tabela 13 - Resumo de Leilões	56
Tabela 14 - Resumo dos Projetos Eólicos por Leilões e por Estado	56
Tabela 15 - Resumo de Capacidade Eólica Instalada por Leilão e por Estado	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ACL - Ambiente de Contratação Livre
- ACR - Ambiente de Contratação Regulada
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
- BEN - Balanço Energético Nacional
- CCEAR - Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
- CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
- CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
- CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
- DEG - Desvio da Energia Garantida
- EOL - Eólica
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética
- FA - Fontes Alternativas
- FC - Fator de Capacidade
- GEE - Gases de Efeito Estufa
- LA - Leilão de Ajuste
- LEE - Leilão de Energia Existente
- LEN - Leilão de Energia Nova
- LER - Leilão de Energia de Reserva
- LFA - Leilão de Fontes Alternativas
- MME - Ministério de Minas e Energia
- PAE - Produção Anual de Energia
- PCH - Pequena Central Hidrelétrica
- PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia
- PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas e Energia Elétrica
- SIN - Sistema Interligado Nacional
- UHE - Usina Hidrelétrica
- UNE - Usina Nuclear
- UTE - Usina Termelétrica
- WWEA - Associação Mundial de Energia Eólica

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações	ix
Lista de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xi
Sumário.....	xii
1 Introdução	1
1.1 Características da Geração de Energia Eólica	3
1.1.1 Formação Dos Ventos	3
1.1.2 Aproveitamento da Energia Cinética dos Ventos	6
1.1.3 Aerodinâmica	7
1.2 Modelos de turbinas Eólicas	9
1.2.1 Turbina Eólica de Eixo Vertical.....	9
1.2.2 Turbina de Eixo Horizontal.....	10
1.3 Estado da Arte.....	11
2 Setor Eólico: Aspectos Gerais	15
2.1 Histórico: O Início da Energia Eólica.....	15
2.2 Aspectos Técnicos da Energia Eólica.....	19
2.2.1 Sistema Eólico: Aplicações.....	19
2.2.2 Aspectos Ambientais.....	20
2.2.3 Impactos Ambientais.....	21
2.3 Armazenamento de Energia Eólica.....	24
3 Energia Eólica no Mundo	26
4 Setor Elétrico: Energia Eólica no Brasil	30
4.1 O Cenário da Energia Eólica no Brasil	30
4.2 O Mercado Eólico Brasileiro	31
4.3 Energia Eólica no Brasil	32
4.3.1 Políticas de Incentivos às Fontes Renováveis de Energia.....	33
4.4 Os Custos da Energia Eólica Brasileira	40
5 Leilões de Energia Eólica	43
.....	44
5.1 Ambiente de Contratação.....	45

5.2	Tipos de Leilões de Energia do ACR	46
5.3	Leilões de Energia Eólica no País: Resumo e Histórico.....	48
5.3.1	2º Leilão de Energia de Reserva – LER 003/2009	50
5.3.2	3º Leilão de Energia de Reserva – LER005/2010.....	51
5.3.3	2º Leilão de Fontes Alternativas – LFA 007/2010.....	52
5.3.4	12º Leilão de Energia Nova – LEN 002/2011.....	54
5.3.5	4º Leilão de Energia de Reserva – LER03/2011	55
5.3.6	Comparativos de Leilões	55
6	Conclusão.....	59
	Bibliografia.....	61

1 INTRODUÇÃO

As atividades desenvolvidas pelo homem sempre estiveram relacionadas à modificação do meio ambiente. As intensas transformações ambientais ocorridas ao longo de séculos de exploração de recursos naturais, decorrentes da ação humana, contribuíram para o surgimento de diversas consequências positivas e negativas, sendo muitas ainda não tão bem entendidas pela ciência moderna, como o aquecimento global. Existem muitas controvérsias acerca do impacto da atividade produtiva do homem sobre o aumento da temperatura global, motivadas pelo fato de que o planeta possui ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. No entanto, pesquisas recentes vêm contribuindo para a formação de um consenso em torno do fato de que a atividade humana está afetando o clima terrestre de maneira determinante. As mais recentes descobertas científicas indicam, que apesar das variações naturais do clima, o aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) emitidos por fontes antropogênicas está alterando significativamente o equilíbrio do sistema do clima e seus efeitos já podem ser observados (IPCC, 2007).

Historicamente, os países industrializados têm sido responsáveis pela maior parte das emissões globais de gases de efeito estufa. Entretanto, atualmente vários países em desenvolvimento, como China e Índia, também se encontram entre os grandes emissores. A principal fonte de emissão desses gases é a queima de combustíveis fósseis, principalmente petróleo e carvão mineral, porém uma parcela significativa dessas emissões é decorrente das mudanças no uso da terra, como as queimadas de florestas.

Assim, diversas ações multilaterais têm sido propostas na busca por alternativas que atenuem o problema do aquecimento global. Essas ações podem ser divididas em três grandes frentes: aprofundamento do conhecimento científico sobre as mudanças climáticas e seus possíveis impactos, ações de mitigação da intensificação do efeito estufa, principalmente através de redução de emissões dos GEE e ações de adaptação as essas possíveis mudanças.

Uma das medidas então, que vem sendo adotada em diversos países é a diversificação da matriz energética e a troca do uso de combustíveis fósseis,

principalmente do petróleo e seus derivados, por novas fontes limpas e renováveis, como a energia eólica, que será objeto de estudo desse trabalho.

A energia eólica é utilizada há milhares de anos para finalidades diversas, como o bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), e posteriormente com o aumento da discussão a respeito do aquecimento global, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial.

Neste contexto, a primeira turbina de energia eólica do Brasil foi instalada em Fernando de Noronha em 1992 e, dez anos depois, o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) para incentivar a utilização de outras fontes renováveis, como eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), estabelecendo a instalação de 3.300 MW de energia produzida por essas fontes, sendo inicialmente previstos 1.100 MW de cada uma.

Posteriormente, foi definido pela Lei nº 10.848/2004 que a contratação de energia elétrica para cobertura do consumo no ambiente regulado e para a formação de lastro de reserva deverá ser feita através de leilões públicos específicos. Desta forma, até o momento atual, o governo realizou 3 leilões onde foram contratados energias provenientes de fontes eólicas, sendo eles o 2º Leilão de Energia de Reserva (dezembro de 2009), 3º Leilão de Energia e Reserva (agosto de 2010) e o 2º Leilão de Fontes Alternativas (agosto de 2010).

1.1 CARACTERÍSTICAS DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

1.1.1 FORMAÇÃO DOS VENTOS

Um fato interessante é o de que a energia eólica provém da energia solar, uma vez que os ventos se formam em decorrência do aquecimento não uniforme da atmosfera que envolve o planeta terra, e que este aquecimento é causado pela radiação solar. Essa não uniformidade é causada principalmente pelo tipo de orientação dos raios solares e pela movimentação do planeta. Os ventos aliviam a temperatura atmosférica e as diferenças de pressão causada pelo aquecimento irregular da superfície da terra. Enquanto o sol aquece o ar, a terra e a água de um lado da terra, o outro lado é resfriado por radiação térmica enviada para o espaço. Assim, a rotação da terra causa um ciclo de aquecimento e resfriamento em sua superfície. Como a formação estrutural da terra é irregular, a resposta da superfície da terra ao aquecimento é variada. As partes com água se aquecem mais lentamente que as partes adjacentes recobertas com terra.

As porções do globo terrestre que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, o que ocorre na região dos trópicos, são mais aquecidas que as regiões polares. Como consequência o ar quente que se encontra nas baixas altitudes das regiões tropicais tende a subir e é substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares. O deslocamento dessa massa de ar quente e frio é o que determina a formação dos ventos.

Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra são convertidos em energia cinética dos ventos. Este percentual, embora pareça pequeno, representa centena de vezes à energia anual produzida nas centrais elétricas do mundo.

A distribuição geral dos ventos sobre o Brasil é controlada pelos aspectos da circulação geral planetária da atmosfera próxima, dentre esses aspectos, sobressaem os sistemas de alta pressão Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Atlântico Norte e a faixa de baixas pressões da Depressão Equatorial.

Os ventos que sopram em escala global, e aqueles que se manifestam em pequena escala, são influenciados por diferentes aspectos entre os quais se destacam a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo.

A figura 1, representa a formação dos ventos ao longo do globo terrestre.

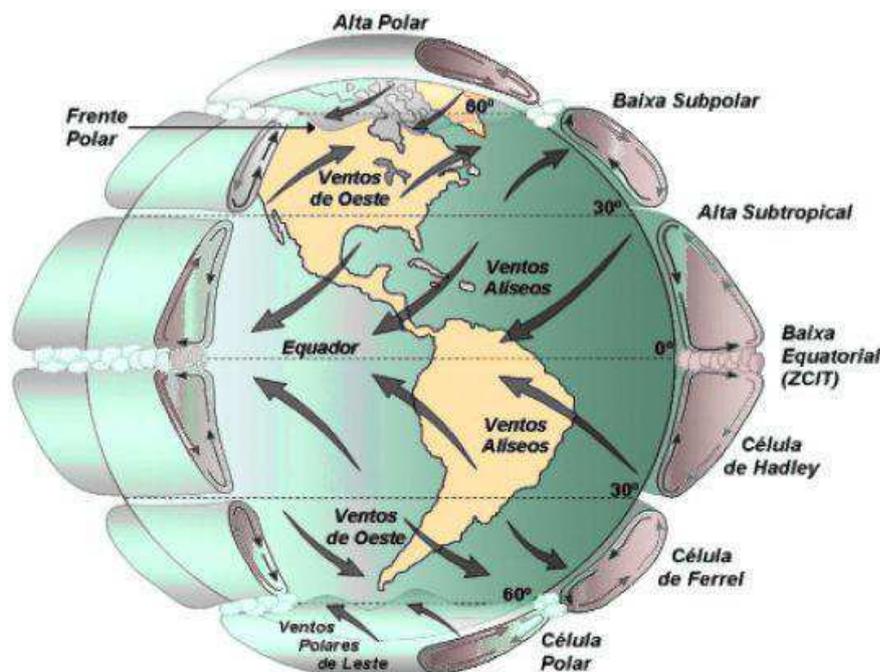


Figura 1 - Distribuição Geral dos Ventos

FONTE: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro

Próximo à superfície do globo as diferenças de temperatura e de pressão dão origem à circulação do ar e conseqüentemente à formação dos ventos ao redor da terra. Assim, zonas de baixa pressão se formam na região próxima à linha do equador e dos círculos polares em ambos os hemisférios. Já as zonas de altas pressões são encontradas nos pólos e nas regiões próximas às linhas tropicais.

Existem locais no globo terrestre nos quais os ventos jamais cessam de "soprar", pois os mecanismos que os produzem (aquecimento no Equador e resfriamento nos pólos) estão sempre presentes na natureza. São chamados de ventos planetários ou constantes e podem ser classificados em:

- ✚ Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes.
- ✚ Contra-Alísios: ventos que sopram do Equador para os pólos, em altas altitudes.
- ✚ Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os pólos.
- ✚ Polares: ventos frios que sopram dos pólos para as zonas temperadas.

Tendo em vista que o eixo da Terra está inclinado de $23,5^\circ$ em relação ao plano de sua órbita em torno do Sol, variações sazonais na distribuição de radiação recebida na superfície da Terra resultam em variações sazonais na intensidade e duração dos ventos, em qualquer local da superfície terrestre. Como resultado, há o surgimento dos ventos continentais ou periódicos que compreendem as monções e as brisas.

As monções são ventos periódicos que mudam de direção a cada seis meses aproximadamente. Em geral, as monções sopram em determinada direção em uma estação do ano e em sentido contrário em outra estação, como mostra a figura 2.



Figura 2 - Ocorrência de Monções

FONTE: Cartilha - Energia Regional Eólica

Em função das diferentes capacidades de refletir, absorver e emitir o calor recebido do Sol, inerentes a cada tipo de superfície (tais como mares e continentes), surgem as brisas, que caracterizam-se por serem ventos periódicos que sopram do mar para o continente e vice-versa. No período diurno, devido à maior capacidade da terra de absorver os raios solares, a temperatura do ar sobre ela aumenta e, como consequência, forma-se uma corrente de ar que sopra do mar para a terra (brisa marítima). À noite, a temperatura da terra cai mais rapidamente do que a temperatura da água e, assim, ocorre a brisa terrestre que sopra da terra para o mar. Normalmente, a intensidade da brisa terrestre é menor do que a da brisa marítima devido à menor diferença de temperatura que ocorre no período noturno. A figura 3 exemplifica o fato citado acima, Brisa Marítima e Brisa Terrestre respectivamente.

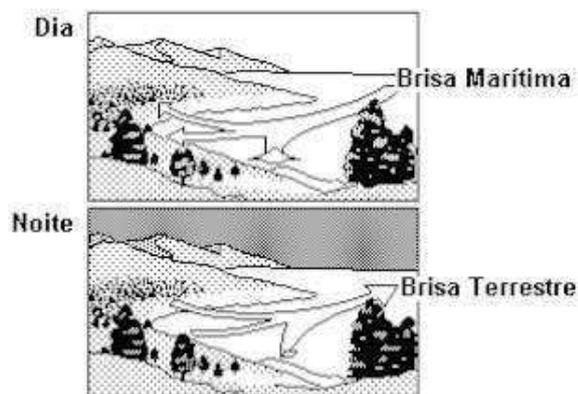


Figura 3 - Brisa Marítima e Brisa Terrestre
 FONTE: Cartilha - Energia Regional Eólica

O comportamento estatístico do vento ao longo do dia é um fator que é influenciado pela variação de velocidade do vento ao longo do tempo. As características topográficas de uma região também influenciam o comportamento dos ventos uma vez que, em uma determinada área, podem ocorrer diferenças de velocidade, ocasionando a redução ou aceleração na velocidade do vento. Além das variações topográficas e de rugosidade do solo, a velocidade também varia seu comportamento com a altura.

Tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias, os procedimentos para avaliar o local, no qual se deseja instalar aerogeradores, devem levar em consideração todos os parâmetros regionais que influenciam nas condições do vento.

Entre os principais fatores de influência no regime dos ventos destacam-se:

- ✚ A variação da velocidade com a altura;
- ✚ A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- ✚ Presença de obstáculos nas redondezas;
- ✚ Relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar.

1.1.2 APROVEITAMENTO DA ENERGIA CINÉTICA DOS VENTOS

O princípio de funcionamento de um aerogerador consiste basicamente em duas fases de conversão: 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.

Os aerogeradores são formados basicamente pela turbina eólica, gerador elétrico e sistemas de controle. No conceito de turbina eólica entram elementos como as pás do rotor, cubo, eixo, freios, caixa multiplicadora, torre, entre outros componentes que serão abordados mais adiante.

No entanto, primeiramente é necessário destacar e fazer uma breve introdução sobre as forças aerodinâmicas envolvidas no processo de captação dos ventos pelas pás do rotor, que são basicamente o empuxo e o arrasto.

1.1.3 AERODINÂMICA

Diferentemente do antigo projeto de moinho de vento holandês, que dependia muito da força do vento para colocar as pás em movimento, as turbinas modernas usam princípios aerodinâmicos mais sofisticados para capturar a energia do vento com maior eficácia. As duas forças aerodinâmicas principais que atuam sobre os rotores da turbina eólica são o empuxo, que atua perpendicularmente ao fluxo do vento, e o arrasto, que atua paralelamente ao fluxo do vento. Essas duas forças podem ser observadas na Figura 4.

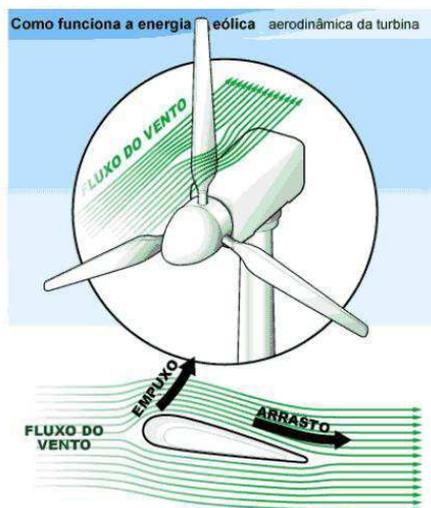


Figura 4 - Forças de Empuxo e de Arrasto sobre as Pás da Turbina

FONTE: How Stuff Works, 2010

As pás da turbina têm uma forma parecida com asas de avião: elas usam um desenho de aerofólio. Em um aerofólio, uma das superfícies da pá é um pouco arredondada, enquanto a outra é relativamente plana. Quando o vento se desloca sobre uma face arredondada e a favor da pá, ele precisa se mover mais rápido para atingir a outra extremidade da pá a tempo de encontrar o vento que se desloca ao longo da face plana e contra a pá (voltada na direção de onde sopra o vento). Como o ar que se move mais rápido tende a se elevar na atmosfera, a superfície curvada e contra o vento gera um bolsão de baixa pressão acima dela. A área de baixa pressão puxa a pá na direção a favor do vento, um efeito conhecido como "empuxo". Na direção contra o vento da pá, o vento se move mais devagar e cria uma área de pressão mais elevada que empurra a pá, tentando diminuir sua velocidade. Como no desenho de uma asa de avião, uma alta relação de empuxo/arrasto é essencial no projeto de uma pá de turbina eficiente. As pás da turbina são torcidas, de modo que elas possam sempre apresentar um ângulo que tire vantagem da relação ideal da força de empuxo/arrasto.

A aerodinâmica não é a única consideração de projeto em jogo na criação de uma turbina eólica eficaz. O tamanho importa, quanto maiores às pás da turbina (e, portanto, quanto maior o diâmetro do rotor), mais energia uma turbina pode capturar do vento e maior a capacidade de geração de energia elétrica. Falando de modo geral, dobrar o diâmetro do rotor quadruplica a produção de energia. Em alguns casos, entretanto, em uma área de menor velocidade do vento, um rotor de menor diâmetro pode acabar produzindo mais energia do que um rotor maior. Isso ocorre porque uma estrutura menor consome menos energia do vento para girar o gerador menor, de modo que a turbina pode operar a plena capacidade quase o tempo todo. A altura da torre também é um fator importante na capacidade de produção. Quanto mais alta a turbina, mais energia ela pode capturar, visto que a velocidade do vento aumenta com a altura (o atrito com o solo e os objetos ao nível do solo interrompe o fluxo do vento). Os cientistas estimam um aumento de 12% na velocidade do vento cada vez que se dobra a elevação.

Para calcular a real quantidade de potência que uma turbina pode gerar a partir do vento, precisa-se conhecer a velocidade do vento no local da turbina e a capacidade nominal da turbina. A maioria das turbinas grandes produz sua potência máxima com velocidades do vento ao redor de 15 m/s (em torno de 54 km/h). Considerando velocidades do vento estáveis, é o diâmetro do rotor que determina a quantidade de energia que uma turbina pode gerar. Na medida que o diâmetro de um rotor aumenta a altura da torre também aumenta, o que significa maior acesso a ventos mais rápidos.

TABELA 1 - TAMANHO DO ROTOR / GERAÇÃO MÁX. DE POTÊNCIA

DIÂMETRO DO ROTOR (m)	GERAÇÃO DE POTÊNCIA (KW)
10	25
17	100
27	225
33	300
40	500
44	600
48	750
54	1000
65	1500
72	2000
80	2500

FONTE: Associação Dinamarquesa da Indústria Eólica, Associação Americana de Energia Eólica

1.2 MODELOS DE TURBINAS EÓLICAS

Hoje existem dois modelos principais no mercado em se tratando de turbinas eólicas modernas: turbina eólica de eixo vertical (TEEV) e turbina eólica de eixo horizontal (TEEH).

1.2.1 TURBINA EÓLICA DE EIXO VERTICAL

As turbinas eólicas de eixo vertical são mais raras. Em uma TEEV, o eixo é montado na vertical, perpendicular ao solo. Como as TEEVs estão permanentemente alinhadas com o vento (ao contrário das de eixo horizontal), nenhum ajuste é necessário quando a direção do vento muda. Em vez de uma torre, ela geralmente usa cabos de amarração para sustentação, pois assim a elevação do rotor é menor. Como menor elevação significa menor velocidade do vento devido à interferência do solo, as TEEVs geralmente são menos eficientes que as TEEHs. Além disso, possui acentuada vibração em sua estrutura devido ao movimento de rotação de suas pás. Como vantagem, todos os equipamentos se encontram ao nível do solo para facilidade de instalação e serviços. Mas isso significa uma área de base maior para a turbina, o que é uma desvantagem em áreas de cultivo caso sejam instaladas várias turbinas. As TEEVs podem ser usadas para

turbinas de pequena escala e para o bombeamento de água em áreas rurais. Os principais tipos de TEEVs são Darrieus e Savonius.

A Figura 5, representa uma turbina de eixo vertical.

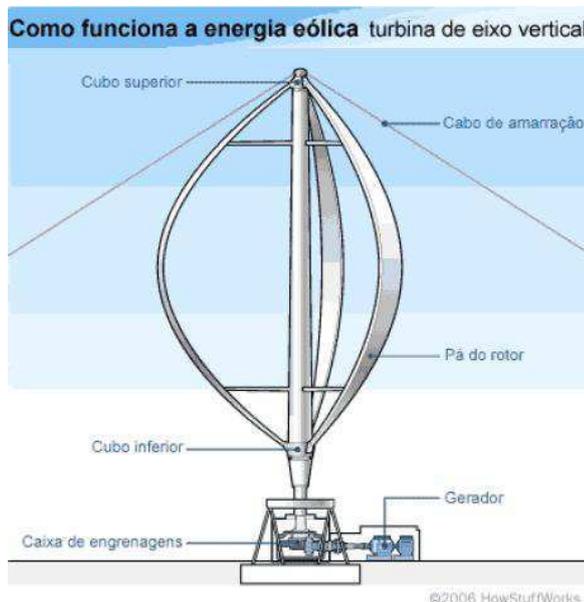


Figura 5 - Turbina de Eixo Vertical

FONTE: How Stuff Works, 2006

1.2.2 TURBINA DE EIXO HORIZONTAL

Como o nome indica, o eixo da TEEH é montado horizontalmente, paralelo ao solo. TEEHs são as mais comuns, de maior utilização e comercialização mundial. As TEEHs precisam se alinhar constantemente com o vento, usando um mecanismo de ajuste. O sistema de ajuste padrão consiste de motores elétricos e caixas de engrenagens que movem todo o rotor para a esquerda ou direita em pequenos incrementos. O controlador eletrônico da turbina lê a posição de um dispositivo cata-vento (mecânico ou eletrônico) e ajusta a posição do rotor para capturar o máximo de energia eólica disponível. As TEEHs usam uma torre para elevar os componentes da turbina a uma altura ideal para a velocidade do vento (e para que as pás possam ficar longe do solo) e ocupam muito pouco espaço no solo, já que todos os componentes estão a vários metros de altura. A representação de uma TEEH pode ser vista abaixo na Figura 6.

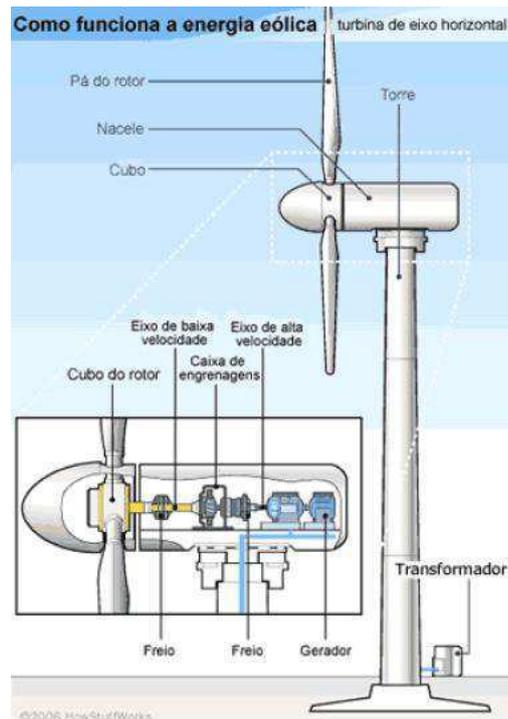


Figura 6 - Turbina de Eixo Horizontal

FONTE: How Stuff Works, 2006

1.3 ESTADO DA ARTE

Nos parágrafos seguintes é realizada uma breve descrição dos princípios de conversão da força dos ventos para geração de eletricidade e da tecnologia atualmente adotada. A energia cinética dos ventos é convertida em energia mecânica de rotação da turbina e em seguida em elétrica pelo gerador. A força resultante da energia cinética depende do perfil aerodinâmico das pás, que com pequenas mudanças podem resultar em significativas alterações na potência do vento extraída pela turbina.

A taxa de energia eólica por unidade de tempo (potência) é dada pela Equação 1:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (1)$$

Onde:

P = potência eólica disponível;

ρ = massa específica do ar;

A = área da seção transversal;

V = velocidade do vento.

A partir da fórmula apresentada observa-se que:

- ✚ **A Potência Eólica é diretamente proporcional à densidade do ar:** considerando que a densidade do ar tende a ser menor com o aumento da altitude, tem-se que em locais de grande altitude extrai-se menos energia que ao nível do mar, mantendo-se os outros parâmetros constantes;
- ✚ **A Potência Eólica é diretamente proporcional à área varrida pelas pás:** dessa forma a potência é proporcional ao quadrado do diâmetro do rotor;
- ✚ **A Potência Eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento:** evidenciando que a escolha do local adequado para implantação do Parque Eólico é de fundamental Importância.

Os Parques Eólicos são constituídos pelos aerogeradores, torres de sustentação, transformadores e subestação. O trabalho harmônico entre essas partes resultará em um maior rendimento final. A seguir são apresentados resumidamente os componentes que devem ser considerados para o sistema eólico:

- ✚ **Nacele:** a carcaça montada sobre a torre, composta pelo gerador, caixa de engrenagens, todo o sistema de controle, medição do vento e motores para rotação do sistema para o melhor posicionamento em relação ao vento;
- ✚ **Pás do rotor:** Responsáveis por capturar a energia cinética do vento e transformá-la em trabalho mecânico. As pás são fixadas no cubo do rotor. Inicialmente, as pás eram feitas de alumínio, mas atualmente, são fabricadas com fibras de vidro e reforçadas com epóxi;
- ✚ **Cubo ou cone do rotor:** Estrutura metálica situada à frente do aerogerador, constituída de aço ou liga de alta resistência. É montado e transportado como uma peça única a fim de evitar a montagem no local de instalação;
- ✚ **Eixo:** Responsável pela conexão do cubo ao gerador, transferindo energia mecânica da turbina. Também constituído de aço ou liga de alta resistência;
- ✚ **Caixa de engrenagens ou multiplicadora:** Responsável por adaptar a baixa velocidade do rotor à elevada velocidade de rotação dos geradores. Em máquinas de 600 a 750kW, por exemplo, a relação de engrenagens é de aproximadamente 1:50;

Mais recentemente, alguns fabricantes desenvolveram com sucesso aerogeradores sem a caixa multiplicadora e abandonaram a forma tradicional de construí-los. Assim, ao invés de utilizar a caixa de engrenagens com alta relação de transmissão, necessárias para alcançar a elevada rotação dos geradores utilizam-se geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões;

- ✚ **Gerador elétrico:** Responsável pela transformação da energia mecânica de rotação em energia elétrica. Atualmente, existem diversos tipos de geradores: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada. O mais utilizado nas turbinas modernas é o gerador de indução.
- ✚ **Torre:** Sustenta a Nacele e o rotor. É vantajoso ter uma torre alta porque a velocidade do vento cresce à medida que se afasta do solo. Em aerogeradores modernos as torres podem atingir altura acima dos 100m. A torre é uma estrutura de grande porte e de elevada participação nos custos do sistema. As torres mais modernas são de metal tubular ou de concreto e podem ser sustentadas ou não por cabos tensores;
- ✚ **Controle de giro (mecanismo yaw):** É conhecido também como mecanismo de orientação e utiliza motores elétricos para girar a Nacele juntamente com o rotor contra o vento. Este mecanismo é operado por um controlador eletrônico que monitora a direção do vento, fazendo o aerogerador girar alguns graus para o melhor aproveitamento do vento.
- ✚ **Sistema de controle:** Contém um microprocessador que monitora, continuamente, as condições do aerogerador. Em caso de um mau funcionamento (sobrecarga, excesso de calor na caixa de engrenagens, etc.) ele automaticamente dispara o processo de parada da turbina eólica;
- ✚ **Sensores de vento:** Basicamente o anemômetro e a veleta. O primeiro mede a velocidade do vento e o segundo monitora a direção do vento. Os sinais do anemômetro são usados pelo sistema de controle para partir o aerogerador quando a velocidade do vento está em torno de 3,5 m/s a 5 m/s. Quando esta velocidade é superior a 25 m/s, o sistema de controle dispara o processo de parada do aerogerador de forma a preservá-lo mecanicamente. Já o sinal da veleta é usado para girar o aerogerador contra o vento, por meio do mecanismo de orientação.

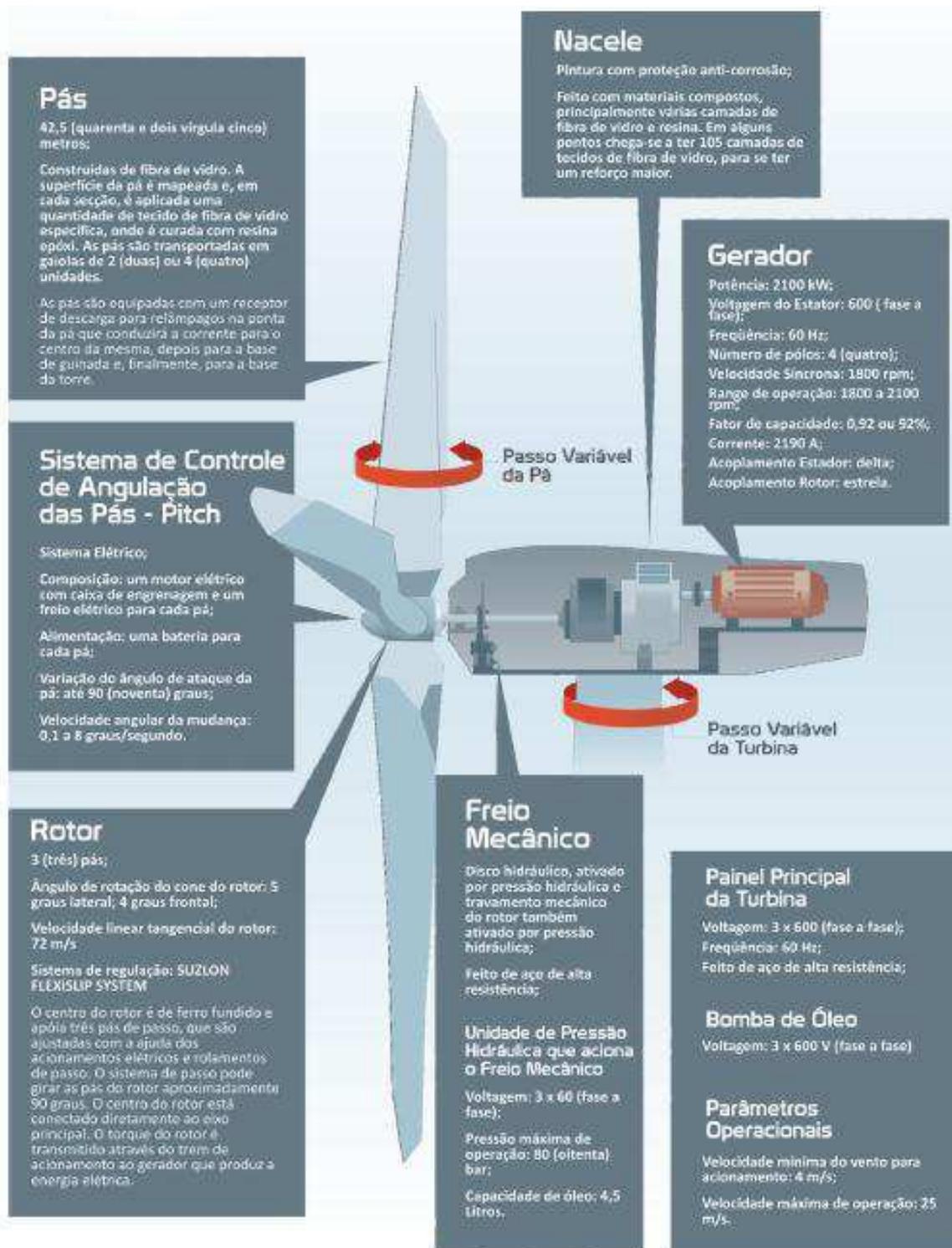


Figura 7 - Esquema de uma Turbina Eólica

FONTE: CRESEB (2011)

2 SETOR EÓLICO: ASPECTOS GERAIS

2.1 HISTÓRICO: O INÍCIO DA ENERGIA EÓLICA

No caso específico da energia eólica, o primeiro fato a ser esclarecido é o porquê deste nome. Ela é assim chamada graças a uma lenda grega, a lenda do Deus Éolos, conhecido como “o Deus dos Ventos” ou “Rei dos Ventos”, às vezes identificado como o filho de Arne e de Poseidon, o senhor do mar e de todas as divindades marinhas. Éolos, Morador das Ilhas Eólias, acolheu amigavelmente Ulisses e seus companheiros e deu-lhes um odre em que estavam encerrados todos os ventos contrários à navegação. Os companheiros de Ulisses, por curiosidade, abriram-no, e os ventos desencadearam uma terrível tempestade que causou o naufrágio de quase toda a frota. Por ser a Energia Eólica a energia proveniente dos ventos é que ela recebeu este nome.

Tudo indica que uma das primeiras vezes em que a Energia Eólica foi utilizada foi em embarcações. Algumas publicações mencionam vestígios de sua existência já por volta de 4.000 a.C., recentemente testemunhado por um barco encontrado num túmulo sumeriano da época, no qual havia também remos auxiliares.

Por volta de 1.000 a.C., os Fenícios, pioneiros na navegação comercial, já utilizavam barcos movidos exclusivamente com a força dos ventos. Ao longo dos anos vários tipos de embarcações a vela foram sendo desenvolvidos, com grande destaque para as Caravelas surgidas na Europa no século XIII e que tiveram papel destacado nas Grandes Descobertas Marítimas.

O vento vem da associação entre a energia solar e a rotação planetária. Os movimentos de translação e rotação e a não uniformidade de temperaturas na superfície terrestre resultam na circulação atmosférica. A radiação solar é absorvida pelo solo ou água e por condução transferida para o ar, o aquecimento desigual provoca diferenças de densidade e pressão, resultando no movimento do ar. Energia Eólica é a denominação dada à energia cinética contida nas massas de ar em movimento.

No século XIV, houve uma diversificação no uso de moinhos de vento, as máquinas já apresentavam grande evolução técnica e eram largamente utilizadas como fonte de energia para moagem de grãos, serrarias e bombeamento de água. Nos séculos

seguintes o uso das máquinas eólicas teve grande expansão na Europa, destacando-se na Holanda.



Figura 8 - Tradicional Moinho Holandês, construído em Zaanse Schans.

FONTE: <http://olhares.uol.com.br> – AGOSTO/2013

Com a Revolução Industrial, as máquinas a vapor se destacaram e houve um declínio dos moinhos de vento, inicialmente na Europa, posteriormente nas Américas (DUTRA, 2007, p. 315-317). Na segunda metade do século XIX, motivado pelo fim da escravidão, houve uma maior aplicação de máquinas eólicas nos EUA. Os cataventos múltiplos eram utilizados principalmente para bombeamento de água, e seu uso expandiu-se para outros países do continente, inclusive o Brasil.

A primeira turbina eólica para geração de energia elétrica foi desenvolvida em 1888 pelo americano Charles Brush (1849-1929), para carregar um sistema de baterias. A turbina era composta por um gerador de 12 kW, e o diâmetro do rotor tinha 17 metros. Esse sistema contribuiu muito para o progresso da tecnologia Eólica. No final do século XIX, na Dinamarca, surgiram as primeiras turbinas eólicas para geração de eletricidade na Europa.

No início do século XX, foram desenvolvidas e utilizadas turbinas eólicas de pequeno porte para suprimento de energia elétrica em comunidades isoladas, tendo vasta

aplicação nos EUA, entre 1930 e 1960. Na medida em que as redes de distribuição passaram a atender as comunidades rurais isoladas, essas máquinas foram gradualmente caindo em desuso.

Até a Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidas pesquisas em vários países para produção de aerogeradores de grande porte (DUTRA, 2007, p. 318-320). Em 1939 foi instalada em Vermont, EUA, uma turbina eólica de 1,25 MW, com diâmetro das pás de 53 m.

Essa eólica representou um importante marco tecnológico e promoveu valiosas informações sobre diferentes parâmetros de projeto e fadiga dos equipamentos. Com o início da era dos combustíveis fósseis e o término da Segunda Guerra, pouco foi incrementado ao parque eólico existente.

Após o choque do petróleo, na década de 70, foram retomados investimentos na diversificação da matriz de energia e as fontes alternativas começaram a entrar em evidência. Principalmente os europeus e americanos vislumbraram nessas fontes uma saída para reduzir a dependência do petróleo e carvão. Iniciou-se, em escala comercial, a utilização dos ventos para geração elétrica, aproveitando-se conhecimentos da indústria aeronáutica. Em 1971, o Programa Federal de Energia Eólica adotado pelos EUA promoveu o levantamento do potencial eólico em várias regiões do País.

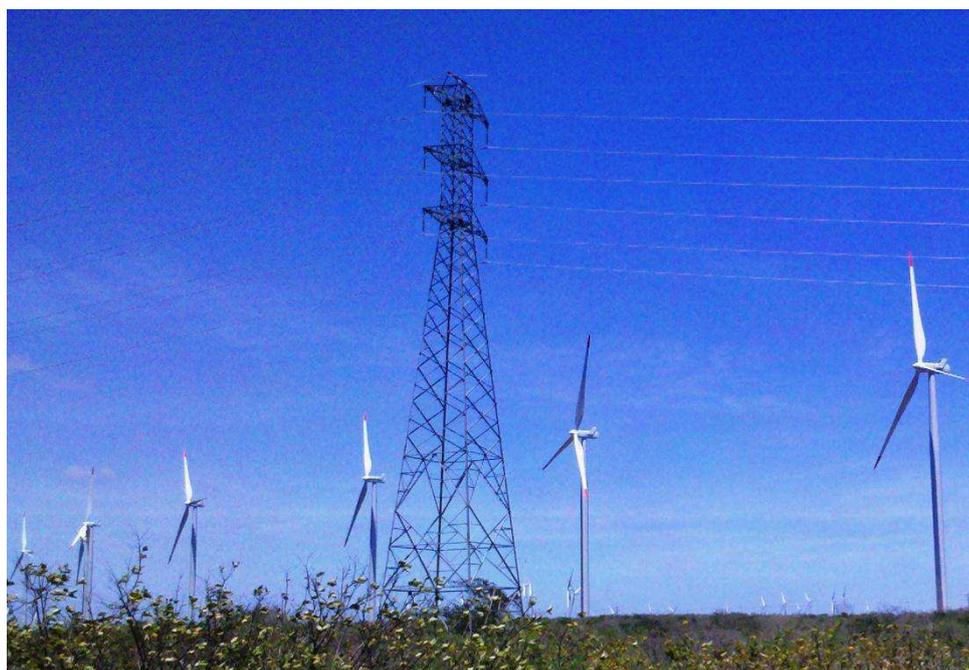
Acredita-se que vários aspectos levaram os países desenvolvidos a investirem nas fontes renováveis, entre eles destacam-se: grandes demandas energéticas, visto que são países de consumo intensivo; necessidade de diminuição da dependência de importação de combustíveis, por questões estratégicas (econômicas e políticas) - os combustíveis fósseis encontram-se concentrados em poucas regiões, que historicamente têm conflitos, com tendências de agravamento, assim como, o aumento dos preços; a demanda por eletricidade é crescente; preocupação com as condições climáticas globais, como o aquecimento do planeta, em decorrência dos gases de efeito estufa.

A Energia Eólica aparece como uma das opções para mitigar os problemas supracitados, visto que: grande potencial para exploração; o combustível é o vento, ou seja, não apresenta riscos geopolíticos, nem variações de preço; fonte endógena de energia e permanentemente disponível; centrais eólicas são construídas em curto período de tempo; grande perspectiva de redução dos custos; baixos impactos ambientais e pouca emissão de gases de efeito estufa (considerando todo ciclo de vida dos equipamentos).

No Brasil, as pesquisas de desenvolvimento tecnológicos para bombeamento e Geração Elétrica, iniciou-se na segunda metade dos anos 70, o Núcleo de Energia –

NERG, situado em Campina Grande – Paraíba, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, desenvolveu pesquisas com as turbinas eólica de eixo vertical do tipo Darrieus e Savonius para bombeamento d'água, aperfeiçoou o cata-vento “multipás” também para bombeamento, desenvolveu também instrumentos para medição dos ventos (os anemômetros), sendo assim pioneiros na Pesquisa de Desenvolvimento Tecnológicos, infelizmente, a Rota Tecnológica está sendo abandonada no Brasil, vale salientar que hoje dependemos 100% das tecnologias internacionais.

O primeiro aerogerador de maior porte foi implantado em 1992, na Ilha de Fernando de Noronha/PE, com potência nominal de 75 kW, 3 pás e 17 metros de diâmetro. A Figura 9, representa o Parque Eólico Renascença V, que tem a Capacidade de 60 MW de Potência, ele está localizado na Cidade de Parazinho-RN, à 110 km da cidade de Natal-RN. O parque Eólico, visualizado na figura 9, ainda não teve início de operação, provavelmente, no começo do próximo ano, mais um Parque Eólico entrará em operação no Estado do Rio Grande do Norte.



FONTE: Dayvson Alcantara – Setembro/2013

Figura 9 - Parque Eólico Renascença V

2.2 ASPECTOS TÉCNICOS DA ENERGIA EÓLICA

A forma como a energia eólica é captada e transformada em eletricidade, bem como as características do vento, define as vantagens e desvantagens do uso dessa fonte e a estrutura de custos de instalação de um parque produtor de energia elétrica. Por esse motivo é fundamental entender quais as características do vento influenciam na produção de energia e como um aerogerador funciona, e esta seção discute esses aspectos.

2.2.1 SISTEMA EÓLICO: APLICAÇÕES

Um das vantagens do sistema eólico é que ele pode ser utilizado em sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. O uso nos sistemas isolados é de fundamental importância, por viabilizar o uso da energia elétrica em lugares antes improváveis ou reduzir consideravelmente o custo em outros lugares isolados, que necessitariam de um sistema de transmissão e distribuição de energia para atender a uma quantidade muito pequena de consumidores.

Os sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Alguns exemplos de armazenamentos são as baterias, que alimentam aparelhos elétricos e a forma de energia gravitacional, para armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Outros sistemas, como o de irrigação, onde a água é imediatamente consumida, não necessitam desse armazenamento.

Os sistemas híbridos são os compostos por várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. Esses sistemas são mais complexos, exigindo uma maior coordenação para que haja a otimização do uso de cada fonte. São utilizados para atender a um maior número de usuários.

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica. Uma consequência desse sistema e da imprevisibilidade e sazonalidade da energia eólica, é que quanto maior for a produção de energia despachada na rede, maior a necessidade de interligação das plantas eólicas com o sistema de coordenação e gestão de produção da rede elétrica local a fim de evitar problemas de estabilidade do sistema excesso de produção.

Há, ainda, um promissor uso do sistema eólico: o sistema *offshore*. Sem dúvida, os maiores avanços no setor eólico serão nesse campo. Além de reduzir os impactos visuais e sonoros, esse tipo de fazenda é mais eficiente, por aproveitar os ventos de alta velocidade e constantes característicos do mar. Um Parque Eólico *onshore* produz, geralmente, durante 2.000-2.500 horas por ano, ao passo que em um típico parque *offshore* esse índice sobe para 4.000 horas por ano, dependendo do parque. O grande desafio desses projetos é o alto custo, derivado da construção das fundações e da grande extensão dos cabos de energia necessários para ligar as fazendas eólicas e o sistema elétrico (EWEA, 2009)

A indústria Eólica tem investido no desenvolvimento tecnológico da adaptação das turbinas eólicas convencionais para uso no mar. Os projetos *offshore* também necessitam de estratégias especiais quanto ao tipo de transporte das máquinas, sua instalação e operação. Além disso, todo o projeto deve ser coordenado de forma a utilizarem os períodos onde as condições marítimas propiciem um deslocamento e uma instalação com segurança.

2.2.2 ASPECTOS AMBIENTAIS

A história demonstra que a energia é peça fundamental no crescimento e desenvolvimento dos países, uma vez que crescimento implica em mais indústrias, equipamentos e máquinas e maior uso de meios de transporte. Sendo assim, com o desenvolvimento dos países, estes tendem a demandar mais energia e, conseqüentemente, a emitir mais gases poluentes na atmosfera.

Somente na segunda metade do séc. XX a preocupação com o meio ambiente e com a segurança energética dos países se sobressaiu, abrindo espaço para as fontes renováveis de energia. A energia eólica se destacou nesse contexto por não poluir o meio ambiente e possuir impactos que vêm sendo minimizados com o avanço tecnológico das turbinas, ou seja, por apresentar um dos melhores custos-benefícios para a sociedade.

A preocupação com a sustentabilidade do crescimento ganhou maior proporção Após o primeiro choque do petróleo na década de 1970. Este episódio trouxe um questionamento sobre o futuro da economia dos países caso os combustíveis fósseis, e os recursos naturais em geral, acabassem. A partir de então, conferências mundiais foram organizadas com o objetivo de unir as nações por meio de acordos que contivessem

medidas de contenção do impacto humano sobre a natureza, sem prejudicar o desenvolvimento econômico.

Na década de 1980, foi acrescentada à discussão a questão da emissão de gases poluentes. A discussão parte da simples poluição do ar nas cidades e da queda na qualidade de vida da população, que sofre com problemas respiratórios e se complementa com o impacto mundial do aquecimento global e da mudança climática.

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Ambiente e Desenvolvimento divulgou o documento “O Nosso Futuro Comum”, no qual explicitava a preocupação em conciliar desenvolvimento humano e econômico com a preservação do meio-ambiente para as gerações futuras. A partir de então esse conceito de “desenvolvimento sustentável” foi popularizado. Com base neste documento, foi realizada a conferência conhecida como “Cúpula da Terra”, no Rio de Janeiro em 1992. De seus resultados, destacam-se a Agenda 21, com propostas de metas como a erradicação da pobreza, conservação do patrimônio ecológico e as sugeridas formas de desenvolvimento sustentável, além da Convenção sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC). Esta última tem o objetivo de estabelecer metas e regras a serem cumpridas pelos signatários para enfrentar os desafios das mudanças climáticas. Esta responsabilidade ficou a cargo do órgão supremo da Convenção, a Conferência das Partes (COP).

A COP-3, realizada em Kyoto em 1997, estabeleceu as metas de redução de emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE). O Protocolo de Kyoto, resultante da conferência, entrou em vigor em fevereiro de 2005, com o conceito de “responsabilidade comum, porém diferenciada”. Foi estabelecido que os países desenvolvidos arcassem com as metas de redução da emissão dos GEE, já que esta é diretamente relacionada ao processo de industrialização. A meta estipulada foi a redução, no período entre 2008 e 2012, de 5%, em média, em relação aos níveis de emissão de 1990. Entretanto, sem a assinatura dos Estados Unidos, o acordo perdeu grande credibilidade e até os dias atuais pouca coisa vem sendo feita.

2.2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS

A Fonte Eólica se encaixa neste contexto de forma positiva por ser uma fonte renovável e não emitir Gases de Efeito Estufa (GEE) em todo o processo de operação. Por exemplo, uma turbina de 600 kW, instalada em uma região de bons ventos, poderá

evitar a emissão de 20.000 a 36.000 toneladas de CO₂, dependendo do regime de vento e do fator de capacidade, durante seus 20 anos de vida útil estimado (DUTRA, 2001, p.30).

Entretanto, algumas considerações devem ser feitas. Primeiro, como citado anteriormente, há emissão de gases poluentes no processo de produção dos aerogeradores. Porém, esse efeito é compensado com poucos meses de operação das turbinas e a sua economia de emissões. Também há o problema da destinação dos aerogeradores após sua vida útil, uma vez que são produzidos com fibras de vidro (material não biodegradável) e resina epóxi (material de difícil reciclagem).

A segunda consideração a ser feita é com respeito a distúrbios na fauna, principalmente, a morte dos pássaros por colisão com as turbinas eólicas, dada sua difícil visualização. Contudo, estudos realizados em diversos locais demonstram que, quando há uma preocupação com a instalação de parques eólicos em lugares estratégicos, distante das rotas migratórias dos pássaros, estes são, raramente, incomodados pelas turbinas eólicas.

Nos Países Baixos, estimativas de mortes de pássaros, causadas por várias ações diretas e indiretas do homem, demonstra que o tráfego de veículos é responsável por 44,2% do total de pássaros mortos, a caça 33,2%, os impactos com as linhas de transmissão foram responsáveis por 22,1% e os impactos com turbinas eólicas de 1GW foram responsáveis por 0,4% das mortes.

Na Dinamarca, estudos com radares mostram que no local onde foi instalada uma turbina eólica de 2 MW, com 60m de diâmetro, os pássaros tendem a mudar sua rota de voo entre 100 a 200m, passando por cima ou ao redor da turbina, em distâncias seguras. Esse comportamento tem sido observado tanto durante a noite quanto durante o dia. E, ainda, na Dinamarca é comum encontrar ninhos de falcões nas torres das turbinas eólicas, assinalando que os benefícios da existência de turbinas eólicas podem ser maiores que os impactos negativos.

Com relação ao uso da terra, não há problemas. As fundações das turbinas, em torno de 10m de diâmetro, são enterradas, possibilitando o uso de quaisquer atividades agrícolas próximas à base. Assim, quase 99% do terreno das fazendas eólicas podem ser aproveitados.

Os maiores desafios com respeito aos problemas ambientais da energia eólica são os impactos visuais e sonoros. O primeiro é muito subjetivo e a prova disso é que seus efeitos têm sido minimizados com a conscientização da população local sobre a geração eólica. À medida que se conhecem os efeitos positivos da energia eólica, os índices de

aceitação melhoram consideravelmente. Isso pode ser feito por meio de audiências públicas e seminários, por exemplo.

O impacto sonoro foi um grande obstáculo ao crescimento do setor eólico na década de 80 e início da década de 90. Mas as novas exigências de um mercado crescente, juntamente com os avanços tecnológicos dos últimos anos, proporcionaram uma melhora significativa na redução dos níveis de ruído das turbinas.

O ruído das turbinas eólicas tem duas origens: mecânica e aerodinâmica. O primeiro tem sua principal origem na caixa de engrenagens, que transfere a sua vibração para as paredes da Nacele, onde é fixada. A transmissão do ruído mecânico também pode ser ocasionada pela própria torre, através dos contatos desta com a Nacele. Uma solução é o uso de um gerador elétrico multipolo conectado diretamente ao eixo das pás.

Esse sistema de geração dispensa o sistema de engrenagens para multiplicação e velocidade, pois o gerador funciona mesmo em baixas rotações. Sem a principal fonte de ruídos, essas turbinas de gerador multipolo ficam bem mais silenciosas.

O ruído aerodinâmico é função da velocidade do vento incidente sobre a turbina. Apesar dos avanços na tecnologia da aerodinâmica das pás nos últimos anos, ainda existem vários aspectos a serem pesquisados e testados tanto nas formas das pás quanto a própria torre para a redução desse ruído. Uma alternativa para reduzir os impactos visuais e o sonoro é a instalação de parques *offshore*, pois as turbinas ficam mais distantes.

O importante a ser percebido é que nenhuma fonte de energia é totalmente livre dos impactos ambientais. A fonte eólica merece destaque porque os seus impactos são, em sua maioria, reduzidos a níveis insignificantes ou até mesmo eliminados com algumas medidas apresentadas nessa seção. E, com os avanços tecnológicos, a tendência é de redução desses impactos, sobretudo o sonoro, com a melhora da aerodinâmica das turbinas, e visual, com o avanço das técnicas *offshore*.

A reação visual às estruturas eólicas varia de pessoa para pessoa. Trata-se de um efeito que deve ser levado em consideração, na medida em que o aumento do rendimento das turbinas eólicas vem acompanhado pelo aumento em suas dimensões e na altura das torres. Como consequência, também o espaço requerido entre as turbinas torna-se maior, diminuindo, portanto, a densidade na área dos Parques Eólicos - o que possibilita o aproveitamento do solo para usos alternativos no entorno do empreendimento.

Dentre as diferenças de percepção destes empreendimentos, a turbina eólica pode ser vista como um símbolo de energia limpa e bem-vinda, ou, negativamente, como uma alteração de paisagem. A forma de percepção das comunidades afetadas visualmente

pelos parques eólicos também depende da relação que essas populações têm com o meio ambiente. Acrescenta-se que os benefícios econômicos gerados pela implantação das fazenda eólicas muitas vezes são cruciais para amenizar potenciais atitudes ou percepções negativas em relação à tecnologia (EWEA, 2004).

A paisagem modificada pelos Parques Eólicos traz outra possibilidade: a de atrair turistas, o que é um fator de geração de emprego e renda.

2.3 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EÓLICA

O armazenamento de energia se justifica por razões de economia. Nos momentos em que a demanda for maior que a capacidade geradora, utiliza-se uma parte da reserva, quando a produção for superior à demanda, armazena-se o excedente. Pode-se afirmar que, quando se utiliza a energia eólica, no sistema integrado, diminui-se a dependência de energias provenientes das fontes tradicionais, como a hidráulica e a térmica (a carvão ou óleo). Há, por conseguinte, uma preservação dos recursos utilizados por essas fontes, pelo armazenamento do potencial eólico.

A Energia Eólica pode ser armazenada diretamente em baterias e supercapacitores, mas também pode ser preservada através da conversão em outro tipo de energia armazenável, principalmente a mecânica. Dessa maneira, temos:

✚ **Bomba (hidráulica):** Armazena a energia eólica através da elevação de água para um reservatório, sob a forma de energia potencial. Quando necessário, com a queda da água, aciona-se uma turbina hidráulica, para a utilização da energia. (Figura 10)

✚ **Compressor (mecânica):** Armazena, sob a forma de ar comprimido (50-100 atmosferas). Após a utilização do compressor, o ar comprimido é armazenado em recipientes próprios ou em estruturas geológicas. Nos Estados Unidos, uma empresa desenvolveu um novo método, em que armazena o próprio vento, para utilização, quando necessário, em rochas.

Quando a demanda é fraca, a energia é utilizada para compressores de ar. A compressão é feita em um túnel, que conduz a uma camada de arenito com profundidade de aproximadamente 1 km. Uma vez que o arenito é extremamente poroso, ficando encharcado de água, nessa profundidade, o ar enviado é

armazenado nos poros, com a expulsão da água. A camada de arenito fica localizada entre camadas de argila, que lacram e não deixam o ar escapar.

- ✚ **Calor (efeito joule):** Armazena sob a forma de calor, através do movimento de “pás”, dentro de recipiente, isolado termicamente. O atrito ocasionado pelas pás e a resistência da água em movimento, eleva a temperatura, transformando, dessa maneira, a energia eólica em térmica.
- ✚ **Volante (mecânica):** Chamado de “*Flywheel*” ou “volante mecânico”. Baseia-se na conversão da energia mecânica em energia cinética, no movimento de rotação do volante. Já ocorrem estudos para o aproveitamento do excedente de energia gerada pelas eólicas, para a eletrólise. Este método não tem sido utilizado, devido aos custos da eletricidade, no processo. No caso dos custos da geração eólica diminuírem, a eletrólise será uma opção também atrativa. Dessa forma, haveria o armazenamento, através da decomposição da água, para a geração de energia através de térmicas, tendo como subproduto a água, ou a utilização do hidrogênio em células combustíveis, ou para venda dos elementos ao mercado químico, como forma de viabilização da usina.

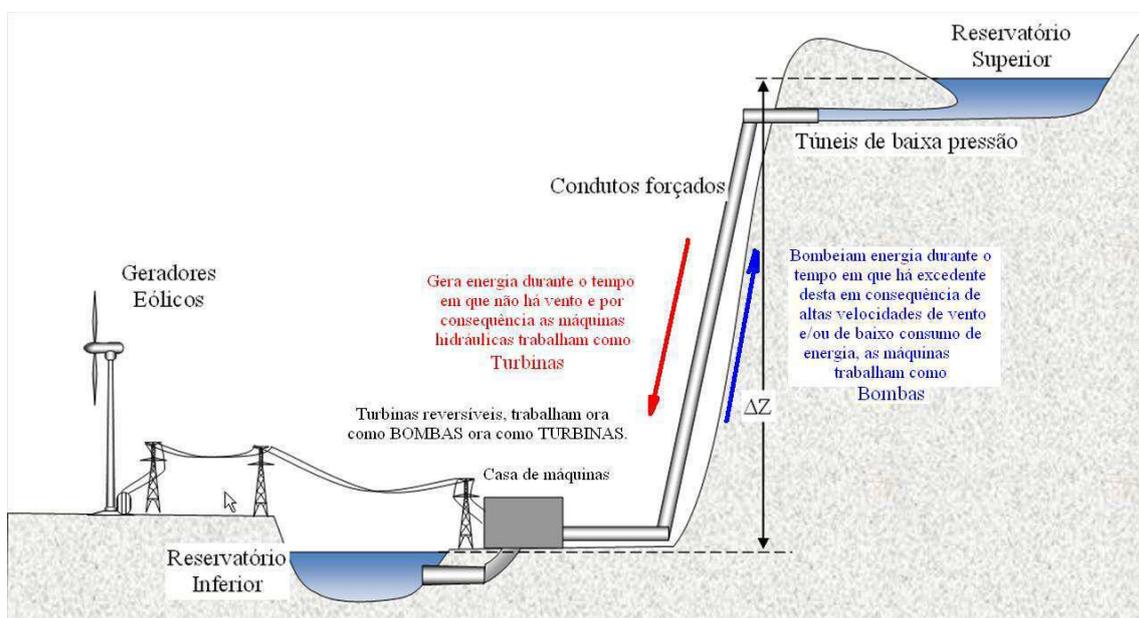


Figura 10 - Reservatório Hídrico (Hidráulica)

FONTE: MAESTRI, 2012

3 ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

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

Os dois últimos estudos da Associação Mundial de Energia Eólica (WWEA, na sigla em inglês) mostram um crescimento do uso de energia eólica no mundo. Os trabalhos, que avaliaram os anos de 2010 e o primeiro semestre de 2011, revelam que, ao todo, 86 países já utilizam essa fonte renovável para a produção de energia elétrica. Entre eles, destaca-se a China, que se tornou o país com maior capacidade instalada, acrescentando 18.928 Megawatt (MW) em sua matriz em um ano, bem como o centro da indústria eólica internacional.

Até 2005 a Alemanha liderava o ranking dos países em produção de energia através de fonte eólica, mas em 2008 foi ultrapassada pelos EUA. Desde 2010, a China é o maior produtor de energia eólica. Em 2011 o total instalado nesse país ultrapassava os 62.000 MW (62 GW). Comparado com os 44.000 GW instalados até 2010, foi um aumento de 41%.

Somando todas as turbinas eólicas que foram instaladas até o final de 2010, tem-se a capacidade mundial de gerar 430 Terawatt-hora (TWh) anuais, mais que o total da demanda de eletricidade do Reino Unido, 6ª economia do mundo. Para se ter uma ideia da magnitude da expansão desse tipo de energia no mundo, em 2007 a capacidade mundial foi de cerca de 59 GW, em 2008 cerca de 120 GW e, em 2009, 158 GW. Esse aumento da participação da energia eólica no mundo está relacionado a diversos fatores. Entre eles está a necessidade de os países poderem contar com uma fonte de energia segura. Além disso, o seu custo de instalação está diminuindo e ela é livre de emissão de CO₂ e outros gases poluentes, além dos menores impactos sobre o meio ambiente.

No Cenário atual, o crescimento do setor de energia eólica na China está sufocado por um acesso insuficiente aos *grids* de conexão, enquanto um cenário de desaceleração parece ter retornado aos EUA como resultado de incertezas sobre a expiração de programas de incentivo. Na Alemanha e na Itália, cortes de tarifa e desafios relacionados aos *grids* de conexão de energia têm reduzido a atratividade no curto prazo, enquanto o

fim de um importante benefício fiscal na Índia deve prejudicar o crescimento do setor eólico neste ano. Por outro lado, diversos países, incluindo México e Chile, anunciaram novos objetivos em geração de energia limpa ou reafirmaram o apoio do governo por meio de incentivo. Apesar disso, a Energia Eólica instalada no mundo crescerá de modo significativo nas próximas décadas e será parte importante do portfólio de energia renovável de muitos países.

Anualmente são produzidos mais de 19.000 bilhões de kWh de energia elétrica no mundo (IEA, 2009a, p. 24). Desses, cerca de 68% são provenientes da queima de combustíveis fósseis (sendo 40,0% de carvão), seguido das hidroelétricas, usinas nucleares e outras fontes, conforme apresentado na Figura 11, que retrata o percentual de cada fonte na produção elétrica mundial dos anos de 1973 e de 2013.

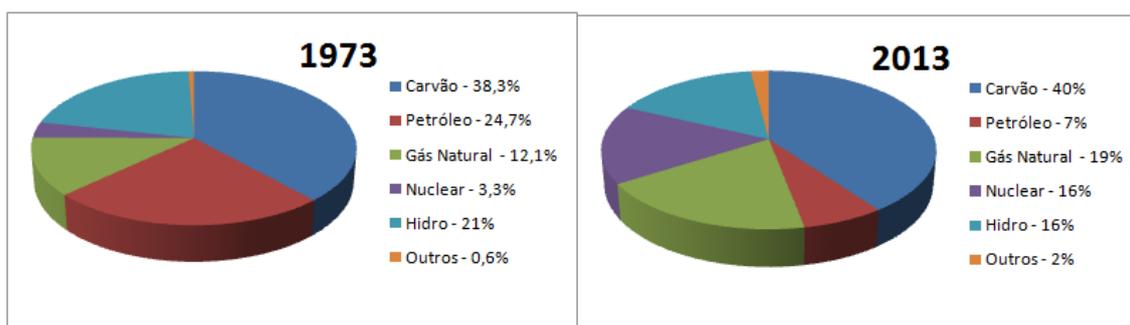


Figura 11 - Matriz Elétrica Mundial – 1973/2013

FONTE: IEA - 2012

A participação da energia eólica na matriz mundial ainda é pequena, no entanto sua contribuição vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Atualmente a energia eólica para geração de eletricidade é a fonte que mais cresce na União Europeia, com um crescimento médio anual de 25% desde 1990. Incentivos e regulamentos específicos vêm sendo criados ao redor do mundo e têm papel fundamental na expansão Eólica.

Segundo a Associação Mundial de Energia Eólica - WWEA (World Wind Energy Association), a capacidade eólica instalada mundial alcançou ao final de junho de 2012 de 254.000 MW. Sendo que 116.546 MW foram adicionados no primeiro semestre de 2012. Este crescimento representa 10% a menos que o primeiro semestre de 2011 quando foram adicionados 18.405 MW.

A Figura 12 representa a capacidade total instalada em 2011 e 2012, indicando crescimento linear nos períodos semestrais apresentados. Nota-se que foi atingida a marca de 254 GW de capacidade total instalada mundial ao final de junho de 2012 e há uma previsão de que esta capacidade instalada atinja ao final do ano de 2013 273 GW.

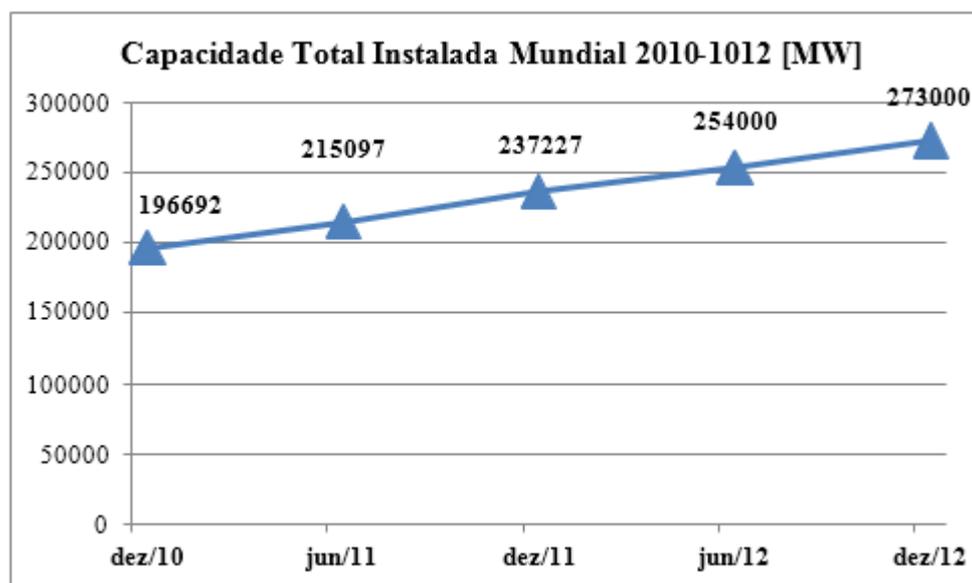


Figura 12 - Capacidade Total Instalada Mundial 2010-2012 [MW]

FONTE: Half-Year Report 2012, 2012

Há ainda uma forte disparidade em termos de capacidade Eólica instalada entre os líderes do mercado eólico mundial e brasileiro. Embora a taxa anual de crescimento da capacidade instalada no Brasil esteja aumentando de forma considerável, o país atualmente está em uma posição atrasada no *ranking* mundial em termos de quantidade total instalada. De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2012 - PDE 2012, a taxa de crescimento de capacidade eólica instalada de 2010 para 2011 ficou em torno de 54%, o que está acima da média mundial. Por exemplo, os Estados Unidos no mesmo período tiveram uma taxa de crescimento de 28%. O crescimento mundial no primeiro semestre de 2012 ficou em torno de 7% e anual de junho de 2011 a junho de 2012 ficou em 16,4%. Em comparação com um crescimento anual mundial de 2011 e 2012 a taxa foi de 20,3%. A figura 13 representa a tabela de capacidade de Energia Eólica Mundial instalada, distribuída regionalmente. O novo total global no final de 2012 foi de 282,5 GW, representando um crescimento de mais de 19% do mercado cumulativa, uma excelente taxa de crescimento da indústria, dada a conjuntura econômica, embora seja

mais baixa do que a taxa de crescimento média anual ao longo dos últimos 10 anos, cerca de 22%.

MW		Global installed wind power capacity – Regional Distribution		
		End 2011	New 2012	Total (End 2012)
AFRICA & MIDDLE EAST	Tunisia	54	50	104
	Ethiopia	-	52	52
	Egypt	550	-	550
	Morocco	291	-	291
	Iran	91	-	91
	Cape Verde	24	-	24
	Other ¹	23	-	37
	Total	1,033	102	1,135
ASIA	PR China	62,364	12,960	75,324
	India	16,084	2,336	18,421
	Japan	2,536	88	2,614
	Taiwan	564	-	564
	South Korea	407	76	483
	Pakistan	6	50	56
	Other ²	109	-	109
	Total	82,070	15,510	97,570
EUROPE	Germany	29,071	2,415	31,308
	Spain	21,674	1,122	22,796
	UK	6,556	1,897	8,445
	Italy	6,878	1,273	8,144
	France	6,827	757	7,564
	Portugal	4,379	145	4,525
	Denmark	3,956	217	4,162
	Sweden	2,899	846	3,745
	Poland	1,616	880	2,497
	Netherlands	2,772	119	2,391
	Turkey	1,836	506	2,312
	Romania	982	923	1,925
	Greece	1,634	117	1,749
	Ireland	1,614	125	1,738
	Austria	1,084	296	1,378
	Rest of Europe ³	3,815	1,106	4,922
Total Europe	97,043	12,744	109,581	
of which EU-27 ⁴	94,352	11,895	106,041	
LATIN AMERICA & CARIBBEAN	Brazil	1,431	1,077	2,508
	Argentina	113	54	167
	Costa Rica	132	15	147
	Nicaragua	62	40	102
	Venezuela	-	30	30
	Uruguay	43	9	52
	Caribbean ⁵	271	-	229
	Other ⁶	229	-	229
Total	2,280	1,225	3,505	
NORTH AMERICA	USA	46,929	13,124	60,007
	Canada	5,265	935	6,200
	Mexico	569	801	1,370
	Total	52,763	14,860	67,576
PACIFIC REGION	Australia	2,226	358	2,584
	New Zealand	623	-	623
	Pacific Islands	12	-	12
	Total	2,861	358	3,219
World total		238,050	44,799	282,587

Figura 13 - Capacidade de Energia Eólica Mundial, 2012

FONTE: GWEC, 2013

4 SETOR ELÉTRICO: ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

4.1 O CENÁRIO DA ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A importância do potencial Eólico no Brasil tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com Energia Eólica. A excelente qualidade nos níveis de radiação solar e ventos fortes, principalmente na costa nordestina, fazem com que o Brasil seja um ponto estratégico para a entrada de novas tecnologias para a América Latina.

Um dos projetos pioneiros voltados para a disseminação de informações sobre Energia Eólica para o Brasil e América Latina foi promovido pela *Car Duisberg Gesellschaft* (CDG), Fundação Internacional de Treinamento e Desenvolvimento da Alemanha. Em sua primeira reunião realizada na cidade de Buenos Aires, na Argentina, nos dias 14 e 17 de abril de 1999, estiveram presentes vários profissionais envolvidos com Energia Eólica no Brasil e Argentina. O objetivo do Encontro foi desenvolver um planejamento para divulgação da Energia Eólica nos dois países e identificar o treinamento necessário para divulgação e o treinamento necessário para a implementação da tecnologia Eólica para geração de Energia Elétrica. Além disso, foram identificados os parceiros que facilitaria o desenvolvimento de atividades abordando as várias linhas de estudos da Energia Eólica em cada país.

No Brasil, existe a possibilidade de se complementar a oferta de Energia Elétrica de fonte hídrica através da Energia Eólica. A tendência de estabilização sazonal na oferta de energia utilizando a Energia Eólica como complemento foi comprovado ao se estudar o nível médio de vazão dos rios a algumas usinas da região Nordeste e na região Sul. O período onde existe a menor vazão dos rios e onde ocorrem as melhores incidências de vento.

A geração de energia complementar tem se mostrado um tema de grande interesse uma vez que o consumo de Energia Elétrica no Brasil apresenta expectativas de crescimento de 5% a.a. O crescimento do consumo e a busca de novas fontes de energia, desafios presentes no setor elétrico atual faz com que a Energia Eólica seja uma opção cada vez mais presente nos novos projetos de geração e expansão.

Por fim, os avanços legislativos dos últimos anos, no sentido de melhor definição das regras de comercialização, vêm propiciando novas expectativas para o setor, porém, deve ser enfatizados que a procura de melhores condições de financiamento, juntamente com uma legislação que assegure a compra da energia gerada e o que tornara possíveis novos projetos de geração Eólica no Brasil.

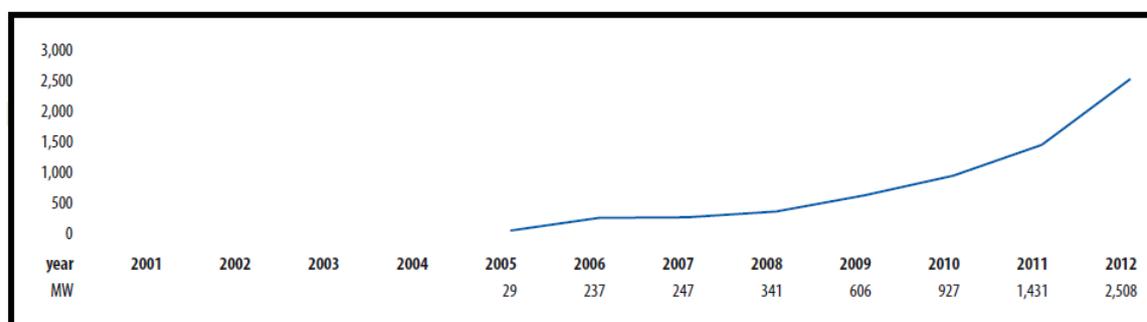
4.2 O MERCADO EÓLICO BRASILEIRO

No futuro próximo, a capacidade de produção de Energia Eólica e as Fabricação de turbinas são susceptíveis de exceder a demanda nacional no Brasil, proporcionando uma excelente oportunidade para o país se tornar um centro de exportação.

O Plano Decenal de Energia do governo brasileiro (PDE 2021) estabelece uma meta para a capacidade eólica instalada, que deve alcançar 16 GW em 2021, o que representa 9% do consumo nacional de eletricidade.

Os recentes desenvolvimentos no setor Eólico brasileiro podem ser explicados por vários fatores estruturais importantes, em particular, o progresso tecnológico alcançado pela indústria. Além dos ricos recursos Eólicos no país, leilões competitivos regulares no mercado e políticas de financiamento que beneficiam o Brasil para a excelente posição de líder regional na geração de Energia Eólica e desenvolvimento.

No entanto, alguns desafios significativos ainda permanecem no setor de Energia Eólica. Em 2012, as principais dificuldades estão relacionadas a falta de transmissão suficiente e linhas de distribuição; revisão das regras de credenciamento de fabricantes de acordo com o programa de financiamento de máquinas e equipamentos (Finame) que é fornecido pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES), onde exige cada vez mais elevados níveis de conteúdo local e a repetição dos adiamentos dos leilões.



Source: GWEC

Figura 14 - Capacidade Total Instalada (MW/Anos)

FONTE: GWEC – Global Wind 2012 Report

4.3 ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

O Brasil é um país que possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com a participação de 43,8% das energias renováveis no total de energia consumida. Se comparado com a média mundial, o País posiciona-se na vanguarda do setor energético mundial, com uma utilização sustentável dos seus recursos naturais. A Tabela 2, exibe a Matriz Elétrica Brasileira, fornecendo uma visão bastante nítida sobre a participação das fontes renováveis de energia, como a hidroeletricidade e, em particular, a Eólica que representa apenas 1,59%. Verifica-se também que as fontes renováveis de energia respondem por 74% da produção, sendo aproximadamente 65%, referente ao grande potencial hidráulico Brasileiro, o que possibilita ao País a produção de uma “energia limpa” e a baixo custo. No Brasil, a fonte de energia hidráulica é predominante e encontra-se atualmente representada por três classes distintas de empreendimentos:

- ✚ **Mini Centrais Hidrelétricas** – mCHs ($P \leq 1.000$ kW);
- ✚ **Pequenas Centrais Hidrelétricas** – PCHs (1.000 kW < $P \leq 30.000$ kW)
- ✚ **Usinas Hidrelétricas** – UHEs ($P > 30.000$ kW).

Tabela 2 - Matriz Elétrica Brasileira e Empreendimentos em Operação

EMPREENDIMENTOS EM OPERAÇÃO							
Tipo	Capacidade Instalada			Total			
	N. de Usinas	(KW)	%	N. de Usinas	(KW)	%	
Hidro		1.073	85.399.360	64.37	1.073	85.399.360	64.37
Gás	Natural	110	11.936.349	9	149	13.620.012	10.27
	Processo	39	1.683.663	1.27			
Petróleo	Óleo Diesel	1.081	3.505.854	2.64	1.115	7.474.501	5.63
	Óleo Residual	34	3.968.647	2.99			
Biomassa	Bagaço de Cana	372	9.030.112	681	468	10.873.158	8.20
	Licor Negro	15	1.304.182	0.98			
	Madeira	50	422.837	0.32			
	Biogás	22	79.594	0.06			
	Casca de Arroz	9	36.433	0.03			
Nuclear		2	1.990.000	1.50	2	1.990.000	1.50
Carvão Mineral	Carvão Mineral	12	3.024.465	2.28	12	3.024.465	1.59
Eólica		96	2.109.341	1.59	96	2.109.341	1.59
Importação	Paraguai		5.650.000	5.46		8.170.000	6.16
	Argentina		2.250.000	2.17			
	Venezuela		200.000	0.19			
	Uruguai		70.000	0.07			
Total		2.934	132.667.836	100	2.934	132.667.836	100

FONTE: Banco de Informação de Geração da Aneel - Agosto/2013

4.3.1 POLÍTICAS DE INCENTIVOS ÀS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

O desenvolvimento das Fontes Alternativas de Energia Elétrica – (FAE) de geração renovável observada ao longo das décadas de 80 e 90 mostra que a aplicação de políticas específicas no setor energético determinou de forma decisiva o sucesso ou o fracasso da aplicação dessas fontes na geração de energia elétrica. Questões como os impactos ao meio ambiente e o aquecimento global geraram uma necessidade de mudanças na geração elétrica em vários países do mundo. Vários países, estipularam metas e definiram programas com a finalidade de criação de um ambiente mais favorável para a que as FAEs de geração renovável pudessem ter uma participação mais efetiva na matriz de geração de energia elétrica reduzindo também a dependência de combustíveis fósseis.

Divididas em duas linhas distintas, as políticas de incentivos a FAEs de geração renovável, que vem sendo aplicadas no mundo, podem genericamente ser classificadas em sistemas baseados no preço e sistemas baseados em quantidades. Os principais mecanismos podem ser divididos em três categorias:

- ✚ **Sistema *Feed-In* (sistema baseado no preço)** – Tarifa *feed-in* é um instrumento legal, que obriga todas as concessionárias de energia elétrica a comprar, de um produtor independente de energia renovável, toda a quantidade de energia produzida. Essa compra é garantida por contrato, de longo prazo, afim de dar estabilidade ao investidor, sendo os custos repassados a todos os consumidores, mas dentro de um nível aceitável que depende de cada País. Utilizado em particular pela Alemanha, Dinamarca, Brasil (PROINFA) e Espanha e que constitui o principal sistema de incentivo para FAEs de geração renovável;

- ✚ **Sistema de Leilão (sistema baseado na quantidade)** – São processos licitatórios realizados com o objetivo de contratar a energia elétrica necessária para assegurar o pleno atendimento da demanda futura no Ambiente de Contratação Regulada – ACR (mercado das distribuidoras). A França e a Inglaterra utilizaram essa opção na promoção das energias renováveis. Esses Países não tiveram muito sucesso com esse sistema, pois as participações das fontes renováveis nos seus mercados eram muito incipientes. No caso do Brasil, o Ministério de Minas e Energia – MME vislumbra a utilização desse sistema em uma próxima fase do PROINFA,

caso a primeira fase tenha tido êxito. Com um parque gerador já instalado, com indústrias nacionais produzindo equipamentos, os leilões podem proporcionar maior competitividade entre as fontes e entre os produtores.

✚ **Sistema de Cotas/Certificados Verdes (sistema baseado na quantidade)** – A comercialização de certificados pode ocorrer se houver uma demanda voluntária de energia renovável ou se houver alguma imposição legal de governo. Os certificados apresentam a vantagem de se poder produzir energia renovável em locais onde os custos são menos elevados, sem necessidade de transferência física de energia. A falta de financiamentos de longo prazo apropriados é um outro ponto de entrave apontado. A versão dos financiadores ao risco é grande, pois as energias renováveis apresentam alto custo de produção, o mercado ainda não está bem consolidado, a tecnologia muitas vezes não está difundida e a escala de produção é reduzida. Por isso, torna-se importante superar algumas barreiras políticas e legais, de forma que o financiador se sinta mais confortável em apoiar as fontes renováveis de energia. Do ponto de vista do setor público, há pelo menos três modalidades de apoio: recursos não-reembolsáveis, financiamentos a baixo custo e prestação de garantias. O setor privado pode participar com capital de risco (*venture capital*), podendo se consorciar com o capital público. Utilizado em alguns países da Europa como Áustria, Dinamarca, Suécia, Bélgica e também em treze Estados americanos;

Um aspecto importante abordado neste capítulo está na análise dinâmica que nada mais é do que o desenvolvimento tecnológico das FAEs de geração renovável e como este desenvolvimento pode influenciar cada um dos mecanismos de incentivos apresentados. A adoção de meios incentivadores para a comercialização das FAEs de geração renovável favorece também o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos. Uma vez que estas tecnologias inicialmente não apresentam viabilidade econômica para competirem com as fontes tradicionais, espera-se que os mecanismos de incentivos possibilitem também o desenvolvimento tecnológico proporcionando maior competitividade dessas fontes. O efeito do desenvolvimento tecnológico influencia diretamente na efetividade e também nos custos dos mecanismos adotados.

No tocante a Energia Eólica, basicamente destaca-se a criação e as regras do PROINFA e do PROEOLICA. Dentre os demais atos, encontram-se aberturas para o

campo de desenvolvimento da Energia Eólica no Brasil, a partir da figura do autoprodutor e do produtor independente.

PROEÓLICA: PROGRAMA EMERGENCIAL DE ENERGIA EÓLICA

A Resolução n° 24, de 2001, da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica 43 - GCE, criou o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEOLICA, definido em Lei como um programa que prevê incentivos que asseguram por quinze anos a compra, pela ELETROBRAS, da energia produzida pelas Usinas Eólicas que entrassem em operação até dezembro de 2003. O objetivo era também promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental através de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de Energia Elétrica a partir da Energia Eólica, o equivalente à 50 vezes a atual capacidade instalada.

O valor de compra da energia gerada pelo PROEOLICA seria equivalente ao valor de repasse para as tarifas, relativo ao valor normativo da fonte Eólica, que é estabelecido conforme regulamentação da ANEEL. O PROEOLICA, contudo, não foi capaz de viabilizar a entrada emergencial de novos projetos Eólicos, mas favoreceu a entrada de muitas empresas internacionais que atuam na promoção das fontes Renováveis, gerando assim a necessidade da estruturação de uma legislação, de caráter duradouro, que venha efetivar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil.

PROINFA: O PROGRAMA DE INCENTIVOS ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

A elaboração do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia - PROINFA é um dos mais importantes programas para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia no Brasil. Este programa tem por finalidade a contratação de projetos em Energia Eólica, Biomassa e PCH conectados à rede que sejam implementados por Produtores Independentes de Energia controlados ou não por concessionárias de energia.

O PROINFA, em sua primeira fase, consolida a opção institucional brasileira de suporte ao desenvolvimento das energias renováveis através de um sistema híbrido que engloba o Sistema *Feed-In* de remuneração uma vez que define um preço para a energia

elétrica produzida através de fontes renováveis e o Sistema de Cotas que estabelece inicialmente uma potência inicial a ser contratada.

O PROINFA foi criado em 26 de abril de 2002 pela publicação da Lei Federal nº 10.438 sendo mais tarde revisada e ajustada através da Lei nº 10.762 (11 de novembro de 2003) e regulamentada através dos Decretos nº 4.541/2002 e nº 5.025/2004. O Programa é dividido em duas etapas: a primeira para implementação de projetos em curto prazo e a segunda para implementação em médio prazo.

O programa, em sua primeira fase, previu a contratação de 3.300 MW em projeto igualmente distribuídos para fontes de Energia Eólica, biomassa e PCH. O prazo final para início de operação dos projetos era de dezembro de 2006. Os projetos participantes do PROINFA possuem um contrato garantindo o pagamento da energia gerada em um prazo de 20 anos. Esta tarifa é definida por um Valor Econômico específico para cada fonte. Este valor é controverso, impreciso e constitui uma das barreiras para o sucesso do PROINFA. Dos agentes participantes do PROINFA, a ELETROBRÁS ficou responsável pela contratação dos projetos selecionados pelo Programa pelo prazo de 20 anos e a administração da Conta PROINFA (Regulamentada e Fiscalizada pela ANEEL) que inclui os custos da energia gerada, os custos administrativos, financeiros e encargos tributários incorridos. Todos estes custos são rateados entre todas as classes de consumidores finais atendidos pelo Sistema Elétrico Interligado Nacional, proporcionalmente ao consumo verificado. (Incluída pela Lei nº 10.762, de 11.11.2003).

A segunda fase do programa estabelece uma meta onde as fontes de energia alternativa participante do PROINFA deverão fornecer 10% do consumo de eletricidade do Brasil em 20 anos. Considerando que a data prevista para início de operação dos projetos foi em dezembro de 2006, esta meta seria alcançada até 2026. Mais uma vez os contratos de longo prazo seriam assegurados por 15 anos entre a ELETROBRÁS e os produtores independentes de energia. Entretanto, durante a segunda fase, o preço pago pela energia oriunda das fontes participantes do programa terá como base o custo médio ponderado de geração de novos aproveitamentos hidráulicos com potência superior a 30.000 kW e Centrais Térmicas a gás natural além de um crédito complementar proveniente do fundo denominado Conta de Desenvolvimento Energético – CDE. Este crédito será calculado pela diferença entre o valor econômico de cada fonte e o valor pago pela ELETROBRÁS. O valor econômico será calculado para cada fonte terá tendo como piso 80% da tarifa média nacional de fornecimento ao consumidor final.

O programa também inclui um novo agente no setor: o Produtor Independente Autônomo - PIA. Segundo sua definição, este novo agente deve ser aquele cuja sociedade não é controlada. Devido a várias dificuldades encontradas pelos empreendedores, a data limite de entrada de operação dos projetos foi postergada para dezembro de 2008 (Portaria MME nº 452/2005). De acordo com o Decreto 4541/2002, o prazo de 15 anos inicialmente estipulado foi ampliado para 20 anos. De acordo com o Decreto 4541/2002, este valor é tal que garante, para um período específico de tempo e eficiência, a viabilidade econômica de um típico projeto baseado em fontes alternativas de energia. Este rateio exclui a Subclasse Residencial Baixa Renda cujo consumo seja igual ou inferior a 80 kWh/mês.

Com a implantação do novo modelo do setor de energia elétrica, o estabelecimento de leilões para fontes alternativas descarta a utilização dos recursos da CDE conforme originalmente previsto pela Lei nº 40.468 para a segunda fase do PROINFA ou coligada de concessionária de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica, nem de seus controladores ou de outra sociedade controlada ou coligada com o controlador comum.

Todos os demais agentes que não se enquadram na classificação PIA apresentam uma fatia reduzida de participação no programa restringindo, por exemplo, a participação de concessionárias de energia elétrica.

Sobre o critério de contratação das instalações dos projetos participantes, o programa, em sua primeira fase, estabelece como critério a disponibilidade da Licença Ambiental de Instalação – LI e posteriormente a Licença Prévia Ambiental – LP. Na possibilidade de existência de projetos com LI e LP em um número superior a disponibilidade de contratação, o critério utilizado para desempate aponta para a contratação dos projetos que apresentarem licenças com os menores prazos de validades remanescentes, ou seja, as mais antigas. Este critério gerou polêmica uma vez que o mesmo foi utilizado como critério de seleção e não de classificação de projetos. Mesmo apresentando um critério de grande objetividade, este não pode avaliar, por exemplo, a questão da eficiência dos projetos (GASPARI, 2004). Uma vez que a seleção depende somente de uma data referente a publicação das Licenças, estas mostram-se ineficientes mesmo mostrando-se como um critério objetivo.

Os critérios de regionalização, previstos na Lei nº 10.762 de 2003 estabeleceram um limite de contratação por Estado de 20% da potência total destinada às fontes eólicas e biomassa e 15% para as PCH's, o que possibilita a todos os Estados que tenham vocação e projetos aprovados e licenciados a oportunidade de participarem do programa. A

limitação, no entanto, era preliminar, já que, caso não viesse a ser contratada a totalidade dos 1.100 MW destinados a cada tecnologia, o potencial não-contratado foi distribuído entre os Estados que possuíam as licenças ambientais mais antigas.

Com o objetivo de desenvolver o parque industrial no Brasil, o programa fixou índices de nacionalização dos equipamentos a serem utilizados nos projetos. Na primeira fase do programa o índice de nacionalização é estipulado de no mínimo 60% em valor. Com a previsão de um volume muito maior de projetos em longo prazo para a segunda fase do programa, o índice de nacionalização dos equipamentos utilizados cresce para 90% nas três tecnologias participantes.

As perspectivas de participação do PROINFA na matriz energética apontam a geração de 72,6 kWh até 2014 (MME, 2003) o que significa um crescimento da oferta de energia em fontes renováveis (classificadas como novas renováveis) em aproximadamente 300%. O setor elétrico brasileiro caracteriza-se atualmente pela forte presença da geração hídrica, responsável por 84% da oferta de energia no Brasil em 2004 (MME, 2005). A diversificação do parque gerador de energia elétrica no Brasil por fontes renováveis promove a redução dos ricos hidrológicos associados com a geração de energia.

O PROINFA, em toda a sua trajetória, desde sua criação até a publicação dos valores econômicos de compra de energia para cada fonte, atraiu não só investidores nacionais, mas também investidores estrangeiros, que mostram um grande interesse na abertura de um importante mercado de fontes renováveis.

No contexto em que as fontes renováveis não são competitivas, com baixa participação no mercado, a justificativa para o desenvolvimento de energias renováveis se baseia no seu caráter estratégico, pois há ainda muita desigualdade entre as nações. Além disso, os recursos hoje utilizados são concentrados em poucas regiões, são insuficientes para atender a demanda futura e o consumo dos recursos não-renováveis pode trazer consequências desastrosas ao meio ambiente no longo prazo. A questão se coloca no sentido de saber para quais tipos de fontes devem ser dirigidos os maiores esforços.

De uma forma geral, a grande expectativa estava na publicação dos valores a serem pagos pela energia gerada e também pelos critérios de seleção dos projetos. Em sua primeira fase, o PROINFA apresentou características de dois mecanismos de incentivos: estipulou uma tarifa de compra de energia (*Feed-In*) para projetos com contratos para vinte anos e também estabeleceu uma cota inicial de projetos (Sistema de

Cotas). Além do mecanismo de *Feed-In*, o PROINFA também apresenta mecanismo de subsídios para investimentos ao disponibilizar linhas especiais do BNDES para projetos selecionados pelo PROINFA. A grande expectativa pela implementação da primeira fase do PROINFA gerou grandes debates e críticas através da mídia e também em todos os fóruns nacionais sobre fontes alternativas de energia. Contudo, desde a publicação da chamada pública para apresentação de projetos, todas as previsões de falta de projetos não se realizaram. Pelo contrário, a apresentação de aproximadamente o triplo da oferta (1100 MW) mostrou o forte interesse do mercado confirmando assim, a viabilidade econômica dos valores apresentados. Não obstante fica sempre a ressalva de que o sistema de incentivos *Feed-In* sempre é passível de críticas quanto aos valores de tarifa, nele determinados. Nesse sentido mais importante do que o valor apresentado é a transparência do processo de determinação desse valor.

Mesmo sendo uma ferramenta muito utilizada para o crescimento rápido de projetos em fontes renováveis em todo o mundo o sistema *Feed-In*, como já apresentado anteriormente, tem sido criticado por ser muito caro, sem eficiência e não capaz de gerar, por si próprio, um mercado mais competitivo entre as fontes renováveis. De fato, o mecanismo de *Feed-In* deve ser discutido nas suas diversas configurações, frente à necessidade de adoção de estratégias mais competitivas no mercado de eletricidade.

De certo modo, os valores econômicos apresentados juntamente com a restrição do índice de nacionalidade dos equipamentos Eólicos procuram reduzir os impactos gerais da tarifa, ao trazer benefícios diretos e indiretos para a sociedade, tanto no fortalecimento da indústria nacional para fornecimento de equipamentos e serviços quanto na geração de empregos.

O mecanismo de *Feed-In* não é o único mecanismo capaz de promover fontes alternativas no mercado de energia elétrica. Mesmo com os benefícios previstos no Programa como o índice de nacionalização dos equipamentos, o que fortalece a indústria nacional e a geração de empregos diretos e indiretos, a continuidade do sistema *Feed-In* não pode ser justificada em longo prazo. Com a adoção de um novo mecanismo de licitação para a segunda fase do PROINFA (ainda não regulamentada) espera-se que, mesmo em um ritmo mais lento como apresentado na experiência do NFFO na Inglaterra, novos projetos possam ser instalados de forma mais competitiva e menos onerosa. No entanto é sempre necessário tomar os devidos cuidados com o risco de um sistema de licitação promover apenas tecnologias já estabelecidas, e não o desenvolvimento tecnológico de sistemas promissores. Ainda com base na experiência inglesa da aplicação

do Sistema de Leilão, é importante observar o grande percentual dos projetos leiloados que não foram efetivamente implementados. A experiência Inglesa mostra que o Sistema de Leilão não foi suficiente, por si só, para atrair indústrias de turbinas eólicas e desta forma deve haver um alerta sobre a manutenção do índice de nacionalidade. A compatibilização entre o desenvolvimento da indústria eólica no Brasil (que é refletido claramente nos altos índices de nacionalidade originalmente previsto para a segunda fase do PROINFA) e a aplicação de um Sistema de Leilão (prerrogativa básica do Novo Modelo do Setor Elétrico) deve ser avaliada de forma que o ambiente de competição também possa atrair novas indústrias a se fixarem no Brasil para manutenção de um mercado a longo prazo.

4.4 OS CUSTOS DA ENERGIA EÓLICA BRASILEIRA

Os benefícios da inserção da energia eólica para a segurança da matriz elétrica brasileira, devido à sua complementaridade com o regime hídrico, e para a manutenção do caráter limpo e renovável da matriz brasileira são indiscutíveis. Contudo, não se pode ignorar nesta análise o eventual impacto que a contratação de grandes montantes de energia eólica pode ocasionar no nível tarifário brasileiro, o que é conflitante com a necessidade de modicidade tarifária.

A questão que se coloca é porque a energia eólica ainda é tão cara no Brasil, tendo em vista que esta fonte de energia já é competitiva em outros países. No Brasil, os empreendedores alegam que a tarifa viabilizadora da energia eólica seria de R\$ 0,21 por kWh, equivalendo a uma tarifa de US\$ 0,10, com base na taxa de câmbio média de R\$ 2,03 verificada nos últimos 48 meses. Esta tarifa é superior a tarifa de R\$ 0,15 exigida pelas usinas de biomassa, por exemplo. Porém, o relevante a ser analisado é que em muitos países a Energia Eólica já é viável com uma tarifa de US\$ 0,04. Neste sentido, um dos grandes benefícios do leilão de Energia Eólica será indicar qual é o real custo da geração Eólica no Brasil porque será o primeiro instrumento de contratação competitivo de grande porte a ser realizado no Brasil. Entretanto, embora seja discutível o custo da Energia Eólica no Brasil, é bastante plausível a hipótese que a mesma possui um custo superior aquele verificado em outros países.

Especificamente, o maior custo da energia eólica no Brasil pode ser atribuído aos maiores custos logísticos de implementação dos projetos, como por exemplo à

precariedade das estradas nordestinas, região onde se encontra o maior Potencial Eólico no país, e ao número restrito de ofertantes nacionais de aerogeradores associado às restrições de importação destes equipamentos.

Porém, se faz necessária uma análise mais detalhada dos custos dos bens de capital. A indústria de aerogeradores mundial está organizada sob a forma de oligopólio com os 4 maiores fabricantes (Vestas, GE Wind, Gamesa e Enercon) possuindo um *market share* de aproximadamente 70%. Embora concentração de mercado não signifique necessariamente poder de mercado porque existem mercados que são contestáveis, no caso da indústria de aerogeradores, estas firmas, de fato, possuem poder de mercado porque não existe contestabilidade devido a existências de barreiras à entrada referentes a escala de produção e ao caráter de constante inovações tecnológicas da indústria que resultam em vantagens absolutas de custo e diferenciação de produto das firmas estabelecidas. Neste sentido, é vital que haja incentivos à concorrência para que as firmas estabelecidas não cobrem preços acima dos preços competitivos.

No Brasil, a oferta de Turbinas Eólicas se restringe a duas firmas que possuem vantagens competitivas adicionais: imposto de 14% sobre a importação de aerogeradores, apenas aerogeradores com potência superior a 1,5 MW podem ser importados e o fato do BNDES só conceder financiamento a fabricantes nacionais. Portanto, estas duas firmas possuem condições de cobrarem preços bastante acima daqueles que seriam competitivos porque o mercado apresenta significativas barreiras à entrada.

Entretanto, não se pode ignorar o aspecto estratégico do bem energia elétrica e a necessidade de se desenvolver a indústria de bens de capital que fornece os equipamentos necessários para uma fonte de geração de energia tão promissora como a geração eólica. Logo, embora reserva de mercado seja uma prática condenável, a garantia da competitividade dos fabricantes que estabeleceram fábricas no território nacional é uma decisão correta. A questão que se coloca é a forma pela qual deve se garantir a competitividade dos fabricantes nacionais, em um país em vias de desenvolvimento, que necessita do suprimento de energia elétrica a preços competitivos, uma política de desoneração tributária sobre a cadeia produtiva de aerogeradores nacionais garantiria uma concorrência onde o preço de equilíbrio seria mais condizente com a modicidade tarifária que o estabelecimento de impostos sobre a importação com o intuito de garantir a competitividade do competidor nacional.

A desoneração tributária da cadeia produtiva também seria um mecanismo de atração de outros fabricantes de turbinas eólicas. Além disso, com o intuito de fomentar

a concorrência e criar condições de contestabilidade na indústria de aerogeradores, devem ser formatadas políticas públicas de concessão de crédito a projetos inovadores porque o crédito é capaz de transformar a inovação tecnológica de barreira à entrada em mola propulsora de mudanças na estrutura de uma indústria ou até mesmo sua extinção.

De fato, o incentivo governamental é a forma mais adequada e eficiente para aumento da inserção da energia eólica, e de outras novas renováveis, na matriz elétrica brasileira. Em verdade, ao contrário da agenda neoliberal da década de 1990, a agenda atual é direcionada pelo aumento da participação das fontes de energias renováveis na matriz energética. E este aumento é condicionado por maior participação do Estado na definição dos rumos do setor energético como um todo. Neste sentido, uma complexa rede de subsídios, programas e políticas encontra-se em curso.

Assim como na União Europeia, nos Estados Unidos (EUA) também observa-se forte tendência ao uso de fontes renováveis de eletricidade. Desta forma, nos EUA também se observa forte tendência de aumento da coordenação política. No caso americano, o plano de energia teve um crescimento da participação das fontes renováveis para 10% do total no ano de 2012 e 25% até 2025, a participação governamental, via financiamentos e/ou subsídios, configurará elemento primordial dos investimentos no setor.

Por fim, é por meio de política energética que se dá o planejamento do setor elétrico. E, neste contexto, a política energética tem a possibilidade de, por meio de políticas públicas, reduzir os custos de energia eólica, especialmente os custos de capital. Portanto, é importante que haja esforço governamental que crie, incentive e dê suporte ao mercado de energia eólica.

5 LEILÕES DE ENERGIA EÓLICA

Se os custos relacionados ao meio ambiente e saúde causados pela geração de eletricidade usando combustíveis fósseis como carvão fossem incluídos nos projetos, os custos da energia para utilizando estas fontes seria de 50 a 100% mais caro (Jacobson & Masters, 2001, p. 1438)

Na década de 1990 várias mudanças foram promovidas no setor elétrico brasileiro visando a implementação de um novo modelo do sistema elétrico do país. Neste processo, companhias de distribuição e geração de energia foram privatizadas, o produtor independente de energia foi criado e uma nova interpretação das implicações ambientais da utilização elétrica começaram a determinar as decisões do plano de expansão do sistema. Esses fatores juntamente com a crise de energia de 2001 criaram condições para que houvesse o crescimento da participação de fontes alternativas de energia na matriz energética do país, especialmente a energia eólica.

A decisão governamental brasileira de incentivar a penetração de energia eólica através de leilões tornou-se um incentivo para a incorporação de novos projetos no cenário brasileiro de energia. Havia outros incentivos no país na década passada, como o PROINFA, que incorporava além da eólica, as térmicas e hidrelétricas. Em 15/07/2013 o Brasil conta com 96 Usinas Eólicas em funcionamento, o que representa uma potência fiscalizada de 2.109 MW. Tal fato que alavancou o crescimento Eólico no País, o que se deve à participação dos projetos Eólicos em Leilões de energia, que ocorreram a partir do final do ano de 2009.

Dados da CCEE, mostram que o primeiro leilão de comercialização de energia Eólica no país realizado em dezembro de 2009 – LER 003/2009 foi um sucesso em termos de competitividade, pois foram contratados um total de 1.805,7 MW médios de energia a um preço médio de venda de R\$148,39/MWh. Os leilões subsequentes não foram exclusivamente para contratação de projetos exclusivamente Eólicos, onde esta fonte teve participação juntamente com outras, como por exemplo biomassa e hídrica. O segundo leilão – LER 005/2010 ocorreu em agosto de 2010 tendo 20 projetos eólicos vencedores com um preço médio de venda de R\$122,69/MWh. O terceiro leilão LFA007/2010 foi para comercialização de fonte Eólica como Fonte Alternativa de energia e contemplou 50 projetos vencedores a um preço médio de venda de R\$134,46/MWh. Em agosto de 2011

foram realizados mais dois leilões de comercialização de Fonte Eólica, um denominado Energia Nova e o outro Energia de Reserva. O primeiro leilão - LEN02/2011 obteve uma contratação de 44 projetos a um preço médio de venda de R\$101,76/MWh. O segundo – LER 003/2011 teve 34 projetos Eólicos vencedores a um preço médio de R\$99,45/MWh, indicando que há uma tendência de queda dos preços da Energia Eólica contratada através de leilões (Figura 15).

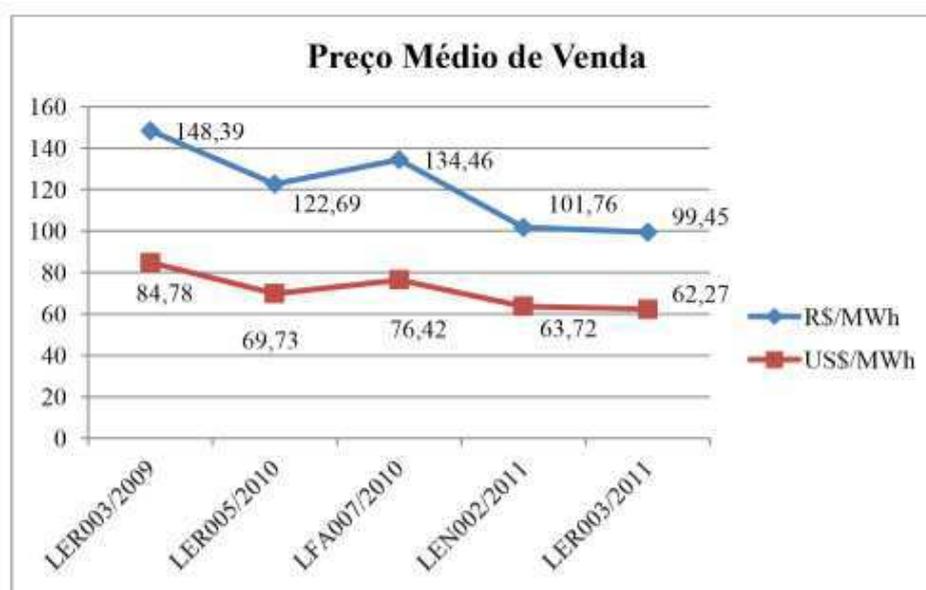


Figura 15 - Preço Médio de Venda (R\$/MWh-US\$/MWh)

FONTE: CCEE, 2011

A Figura 15, faz um comparativo com os preços médios de venda da Energia Eólica contratada através dos leilões em reais e dólar. Há uma forte tendência de declínio no preço de venda da Energia Eólica nos leilões, sugerindo com isso que tal fonte está se tornando cada vez mais competitiva, apesar de ser um segmento renovável ainda pouco explorado no Brasil se comparado com a fonte hídrica, como PCHs.

Dos projetos vencedores no leilão de Energia Eólica, o que chama a atenção são os altos fatores de capacidade definidos pelos empreendedores, pois estão acima da média mundial para a fonte eólica.

5.1 AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO

O setor de energia elétrica brasileiro conta com dois ambientes de contratação de energia desde 2004, com a promulgação da Lei do Novo Modelo do Setor Elétrico – Leis 10.847 e 10.848 de 15 de março de 2004. Desta forma o setor elétrico somente poderá efetuar contratações a partir de regras do Ambiente de Contratação Regulada - ACR ou do Ambiente de Contratação Livre - ACL. Uma visão geral dos dois ambientes é mostrada na Figura 16, onde a comercialização de energia através de leilões está inserida no ACR.



Figura 16 - Visão Geral da Comercialização de Energia

FONTE: CCEE, 2012

A ANEEL é o órgão regulador do mercado e estabelece as regras para a contratação regulada de energia elétrica e a própria realização do leilão ou por intermédio da CCEE. Vence o leilão quem oferta a menor tarifa (inciso VII, do art. 20 do Decreto número 5.163/04), isto é, o menor preço por MWh para atender à demanda prevista pelas distribuidoras. Desta forma, firma-se contrato entre os vencedores do leilão e as distribuidoras que compram a energia de acordo com o cronograma para o suprimento.

5.2 TIPOS DE LEILÕES DE ENERGIA DO ACR

No Ambiente de Contratação Regulada (ACR) os agentes vendedores (geradores, comercializadores e autoprodutores) e as distribuidoras estabelecem Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) precedidos de licitação ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos. O ano de suprimento da energia contratada está representado na Figura 17 e são representados através de A-1, A-2, A-3, A-5, indicando o início de suprimento a partir do encerramento do leilão.

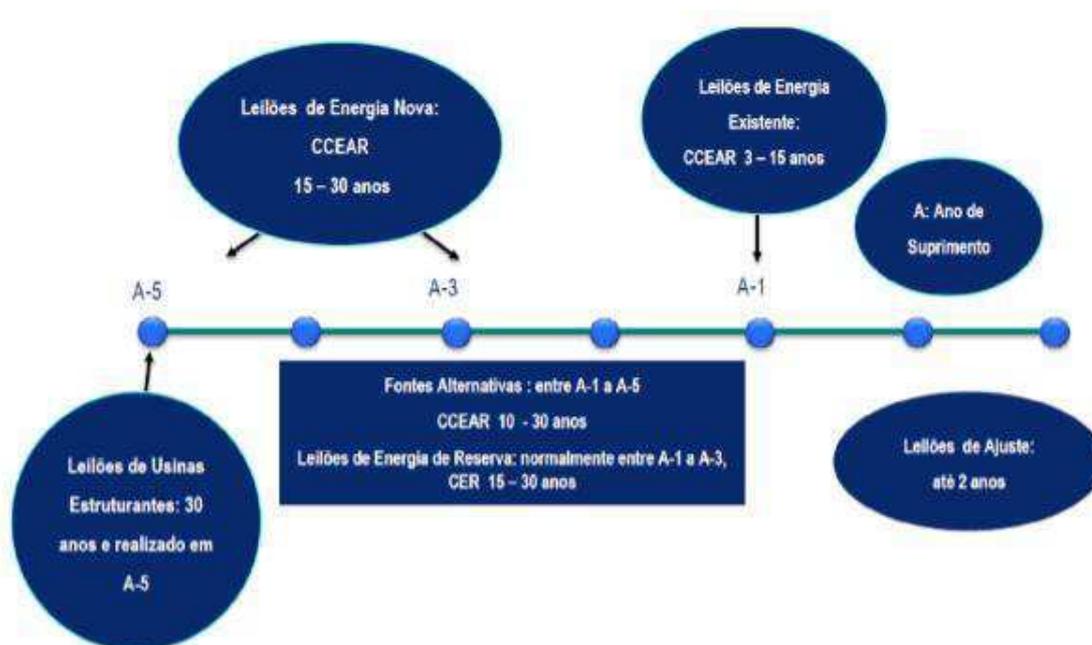


Figura 17 - Tipos de Leilões do ACR

FONTE: CCEE, 2012

- ✚ **Leilão A-5:** processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração realizado com 5 (cinco) anos de antecedência do início do suprimento. Esse foi criado para viabilizar empreendimentos de longa maturação, como, por exemplo, os empreendimentos hidrelétricos.
- ✚ **Leilão A-3:** processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração novos realizado com 3 (três) anos de antecedência do início do suprimento. Esse leilão foi criado para viabilizar

empreendimentos de médio prazo de maturação, como, por exemplo, os empreendimentos termelétricos.

- ✚ **Leilão A-1:** processo licitatório para a contratação de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração existentes realizado com 1 (um) ano de antecedência do início do suprimento. Excepcionalmente, no ano de 2013, o início de entrega poder-se-á dar no ano da licitação.
- ✚ **Leilão de Ajuste:** processo licitatório que tem por objetivo complementar a carga de energia necessária ao atendimento do mercado consumidor dos agentes de distribuição, até o limite de 1% do mercado de cada distribuidora.
- ✚ **Energia de Reserva:** A Energia de Reserva é destinada a aumentar a segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Esta energia adicional é contratada por meio de Leilões de Energia de Reserva - LER e busca restaurar o equilíbrio entre as garantias físicas atribuídas às usinas geradoras e a garantia física total do sistema, sem que haja impacto nos contratos existentes e nos direitos das usinas geradoras. A contratação desta energia tem por objetivo, ainda, reduzir os riscos de desequilíbrio entre a oferta e demanda de energia elétrica. Tais riscos decorrem, principalmente, de atrasos imprevisíveis de obras, ocorrência de hidrologias muito críticas e indisponibilidade de usinas geradoras.
- ✚ **Leilão de projeto estruturante:** São leilões de compra de energia proveniente de projetos de geração de caráter estratégico e de interesse público, que asseguram a otimização do binômio modicidade tarifária e confiabilidade do Sistema Elétrico, bem como garantem o atendimento à demanda nacional de energia elétrica, considerando o planejamento de longo, médio e curto prazos. Foram leiloados os seguintes projetos estruturantes: UHE Santo Antônio (Resolução CNPE n°4 de 2007); UHE Jirau (Resolução CNPE n°1 de 2008); e, UHE Belo Monte (Resolução CNPE n°5 de 2009).
- ✚ **Leilão de Fontes Alternativas – LFA:** Os leilões de fontes alternativas foram criados com o objetivo de incentivar a diversificação da matriz de energia elétrica, introduzindo fontes renováveis e ampliando a participação de energia eólica e da bioeletricidade.
- ✚ **Leilão de Energia de Reserva – LER:** Seu objetivo é elevar o patamar de segurança no fornecimento de energia elétrica ao Sistema Interligado Nacional (SIN) com energia proveniente de usinas especialmente contratadas para este fim.

A sistemática de realização dos leilões se inicia com portaria publicada pelo Ministério de Minas e Energia (MME) com diretrizes da habilitação técnica da EPE e da realização do leilão. Os leilões são agendados. A ANEEL publica edital e minutas de contratos. Os investidores devem então apresentar um projeto técnico a EPE, que analisa e informa os empreendimentos aptos a participar do leilão. O MME publica uma portaria com a Garantia Física dos empreendimentos. A realização dos leilões é feita pela CCEE por determinação da ANEEL. No caso do Leilão de Energia de Reserva (LER) o empreendedor assina o contrato com a CCEE e no caso dos leilões do ACR o empreendedor assina contrato com a Distribuidora. Com o contrato assinado, o empreendedor tem como responsabilidade gerenciar o projeto, bem como buscar financiamento para o mesmo e garantir que a energia contratada seja entregue no prazo acordado.

Tabela 3 - Montante Negociado nos Leilões de Energia no Brasil

Tipo de Leilão	Termo	Quantidade	Montante Negociado [R\$] (Atualizado em junho/2012)
Energia Nova	LEN	13	455.022.986.340,79
Energia Existente	LEE	10	133.555.375.120,41
Leilões de Ajustes	LA	13	2.289.666.441,16
Energia de Reserva	LER	4	43.663.304.678,76
Fontes Alternativas	LFA	2	25.090.049.781,78
Estruturantes	-	3	138.661.168.159,93
<i>Total</i>		45	798.282.550.522,83

FONTE: CCEE, 2012

Podemos verificar na tabela 3, que o Montante negociado nos leilões foi de R\$ 798.282.550.522,83 em sua totalidade sendo que 57% deste total, é proveniente dos 13 Leilões de Energia Nova.

5.3 LEILÕES DE ENERGIA EÓLICA NO PAÍS: RESUMO E

HISTÓRICO

A cronologia dos leilões de energia no país de 2004 até 2012 está representada na Tabela 4, onde os leilões em estudo neste trabalho estão inseridos de 2009 a 2011.

Tabela 4 - Cronologia dos Leilões de Contratação de Energia

Ano	Leilão	Data do Leilão
2004	1º LEE (A-1, A-2, A-3)	
	1º LEN (A-3, A-4, A-5)	
2005	2º LEE (A-3)	
	3º LEE (A-1)	
	4º LEE (A-4)	
	2º LEN (A-3)	29/06/2006
2006	3º LEN (A-5)	10/10/2006
	5º LEE (A-1)	14/12/2006
	1º LFA (A-3)	18/06/2007
2007	4º LEN (A-3)	26/07/2007
	5º LEN (A-5)	16/12/2007
	1º LER (A-3)	14/08/2008
2008	6º LEN (A-3)	17/09/2008
	7º LEN (A-5)	30/09/2008
	7º LEE (A-3)	28/11/2008
	8º LEN (A-3)	27/08/2009
2009	8º LEE (A-1)	30/11/2009
	2º LER (A-3) *	14/12/2009
	10º LEN (A-5)	30/07/2010
2010	3º LER (A-3) *	25/08/2010
	2º LFA (A-3) *	26/08/2010
	9º LEE (A-1)	10/12/2010
	11º LEN (A-5)	17/12/2010
	12º LEN (A-3) *	17/08/2011
2011	4º LER (A-3) *	18/08/2011
	10º LEE (A-1)	30/11/2011
	13º LEN (A-5)	20/12/2011
	14º LEN (A-3)	12/12/2012
2012	15º LEN (A-5)	14/12/2012

FONTE: CCEE, 2012

Um resumo dos leilões cuja energia elétrica contratada é proveniente de fonte eólica em sua totalidade ou parcialmente, será abordado nos tópicos seguintes deste trabalho.

5.3.1 2º LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA – LER 003/2009

Este leilão foi o principal objeto de estudo deste trabalho por ser o primeiro leilão a se comercializar energia elétrica proveniente de Fontes Eólicas. Foi o pioneiro e abriu portas para outros leilões. A energia foi contratada a um preço médio de R\$148/MWh, 22% abaixo do teto estabelecido de R\$189/MWh, indicando uma alta competitividade se comparada à outras fontes como a hídrica, especialmente as PCHs. O acordo foi para início de suprimento a partir de 1º de julho de 2012 e com prazo de duração de 20 anos. 71 projetos foram vencedores e a capacidade total instalada contratada foi de 1.805,7 MW. Um resumo dos resultados está mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo dos Resultados do Leilão LER – 003/2009

2º Leilão de Energia de Reserva (Edital nº 003/2009 - ANEEL) - Resumo	
Total Negociado [MWh]*	132.015.960,00
Total Negociado [lotes]	753
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	148,39
Montante [R\$]	19.590.109.531,20
<i>* Estimativa do montante negociado em MWh</i>	
Preço Marginal do Leilão [R\$]:	153,07

FONTA: CCEE, 2009

De acordo com o que foi apresentado na Tabela 6, dos 71 projetos vencedores, 89% se concentra na Região Nordeste do País sendo que o Rio Grande do Norte e Ceará totalizam juntos 62% do total, seguido da Bahia com 25%.

Tabela 6 - Projetos Eólicos por Estado - LER 003/2009

Estado	Projetos		Potência [MW]	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	18	25,4	390	21,6
Ceará	21	29,5	542,7	30,0
Rio G. do Norte	23	32,4	657	36,4
Rio Grande do Sul	8	11,3	186	10,3
Sergipe	1	1,4	30	1,7
Total Brasil	71	100	1805,7	100

FONTA: EPE, 2009

Conforme mostrado na Tabela 6, em termos de capacidade instalada, neste Leilão, o Estado do Rio Grande do Norte segue na frente com 36% da capacidade total contratada no leilão, equivalente a 657 MW, seguido do Ceará e Bahia.

5.3.2 3º LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA – LER005/2010

Neste segundo leilão foi comercializado energia elétrica proveniente de fontes Biomassa (início de suprimento em 2011, 2012 e 2013 e prazo de duração de 15 anos), Eólica (início de suprimento em 2013 e prazo de duração de 20 anos) e Hidroelétrico (início de suprimento em 2013 e prazo de duração de 30 anos). Enquanto que o primeiro leilão onde foi comercializado energia eólica foi exclusivo para esta fonte, este Leilão teve outras participações e foi dividido em três fases conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo do Resultado do Leilão – LER 005/2010

3º Leilão de Energia de Reserva (Edital nº 005/2010 - ANEEL) - Resumo	
1º Fase, Produto 2011-BIO15	
Total Negociado [MWh]	9.664.908,00
Garantia Física [MWmédio]	137,1
Potência [MW]	286,9
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	154,18
Montante [R\$]	1.490.134.954,80
Preço Marginal do Leilão [R\$]: 154,40	
2º Fase, Produto 2012-BIO15	
Total Negociado [MWh]	4.052.376,00
Garantia Física [MWmédio]	43,5
Potência [MW]	118
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	145,37
Montante [R\$]	589.108.248,00
Preço Marginal do Leilão [R\$]: 145,48	
3º Fase, Produtos 2013-PCH30, 2013-BIO15 e 2013-EOL20	
Total Negociado [MWh]	58.311.033,60
Garantia Física [MWmédio]	388,7
Potência [MW]	801,7
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	125,07
Montante [R\$]	7.292.807.255,64
Preço Marginal do Leilão [R\$]: 134,90	

FONTE: CCEE, 2011

Como o objeto de estudo deste capítulo são os projetos eólicos, desta forma, da Tabela 7 foi analisado a 3ª Fase onde os 20 projetos eólicos estão inseridos. Estes 20 projetos contribuíram para uma capacidade total instalada de 528,2 MW. De acordo com o apresentado na Tabela 8, destes projetos vencedores, 95% se concentra na região Nordeste do país. O estado da Bahia com dez projetos eólicos vencedores é responsável por 50% deste Leilão. O estado do Rio Grande do Norte, assim como no Leilão anterior a este também tem uma grande participação. Seus nove projetos representam 45% da totalidade deste Leilão. O estado do Rio Grande do Sul tem uma participação com apenas um projeto, ficando assim com os 5% restantes.

Tabela 8 - Projetos Eólicos por Estados - LER 005/2010

Estado	Projetos		Potência [MW]	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	10	50	261	49,4
Rio Grande do Norte	9	45	247,2	46,8
Rio Grande do Sul	1	5	20	3,8
Total Brasil	20	100	528,2	100

FONTES: CCEE, 2011

Conforme mostrado na Tabela 8, em termos de capacidade instalada, o Estado da Bahia segue na frente com 49,4% da capacidade total contratada neste Leilão, equivalente a 261 MW, seguido do Estado do Rio Grande do Norte com uma participação significativa também de 46,8%, representando assim 247,2 MW de potência.

5.3.3 2º LEILÃO DE FONTES ALTERNATIVAS – LFA 007/2010

Neste leilão foram comercializados energia elétrica proveniente de fontes Biomassa e Eólica com início de suprimento em 2013 e prazo de duração de 20 anos; e PCHs com início de suprimento em 2013 e prazo de duração de 30 anos. Um resumo dos resultados está mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo dos Resultados do Leilão – LFA 007/20010

3º Leilão de Fontes Alternativas (Edital nº 007/2010 - ANEEL) - Resumo	
Produto 2011-BIO20	
Projetos Contratados	12
Garantia Física [MWmédio]	190,6
Potência Instalada [MW]	712,9
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	144,2
Produto 2012-PCH30	
Projetos Contratados	7
Garantia Física [MWmédio]	69,8
Potência Instalada [MW]	131,5
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	141,93
Produto 2013-EOL20	
Projetos Contratados	50
Garantia Física [MWmédio]	658,5
Potência Instalada [MW]	1.519,60
Preço de Venda Médio [R\$/MWh]	134,46

FONTE: CCEE, 2011

Este trabalho avalia somente dados referentes aos projetos eólicos, desta forma os 50 projetos eólicos negociados estão inseridos na Tabela 10, representam juntos, um total de 1.519,6 MW de capacidade instalada. Dos projetos vencedores, 82% se concentra na região Nordeste do País. O Estado do Rio Grande do Norte com 30 projetos representa 60% do total deste Leilão. O Estado do Rio Grande do Sul participa deste leilão com 9 projetos, a frente do Estado da Bahia e Ceará, com seis e cinco projetos respectivamente.

Tabela 10 - Projetos Eólicos por Estado

Estado	Projetos		Potência [MW]	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	6	12	326,4	21,5
Ceará	5	10	150	9,9
Rio Grande do Norte	30	60	817,4	53,8
Rio Grande do Sul	9	18	225,8	14,9
Total Brasil	50	100	1519,6	100

FONTE: CCEE, 2011

Conforme mostrado na Tabela 10, em termos de capacidade instalada, neste Leilão, o Estado do Rio Grande do Norte segue na frente com 53,8% da capacidade total contratada neste Leilão, equivalente a 817,4 MW, seguido de longe pelo Estado da Bahia com uma participação de 21,5%, representando assim 326,4 MW de potência.

5.3.4 12º LEILÃO DE ENERGIA NOVA – LEN 002/2011

Neste leilão foram comercializados energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração de fontes hidrelétrica, Eólica e Termelétrica a Biomassa ou a Gás Natural; com início de suprimento a partir de 1º de março de 2014. Foram negociados um total de 42 projetos eólicos, mostrados na Tabela 11, que contribuem para um acréscimo de capacidade eólica instalada no País de 1.038,8MW. Neste leilão, 47,6% dos projetos estão na região sul, todos no Estado do Rio Grande do Sul e o restante na região Nordeste. O Estado da Bahia, com 10 projetos representa 23,8% do total. Os Estados do Ceará, Pernambuco Piauí e Rio Grande do Norte tiveram uma participação juntos no total de 28,5% do total de projetos eólicos deste Leilão.

Tabela 11 - Projetos Eólicos por Estado – LEN 002/2011

Estado	Projetos		Potência [MW]	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	10	23,8	236,8	22,8
Ceará	4	9,5	103,6	10,0
Pernambuco	3	7,1	78	7,5
Piauí	3	7,1	75,6	7,3
Rio Grande do				
Norte	2	4,8	52,8	5,1
Rio Grande do Sul	20	47,6	492	47,4
Total Brasil	42	100,0	1038,8	100

FONTE: CCEE, 2011

Conforme mostrado na Tabela 11, em termos de capacidade instalada, neste leilão, o estado do Rio Grande do Sul segue na frente com 47,4% da capacidade total contratada, equivalente a 492 MW, seguido de longe pelo estado da Bahia com uma participação de 22,8%, representando assim 236,8 MW de potência.

5.3.5 4º LEILÃO DE ENERGIA DE RESERVA – LER03/2011

Neste leilão foram comercializados energia elétrica proveniente de fontes Eólica e Biomassa com início de suprimento a partir de 1º de julho de 2014. Foram negociados um total de 34 projetos eólicos, mostrados na Tabela 12, que representam um total de 861,1 MW de capacidade instalada. Neste leilão, 85,3% dos projetos são na região Nordeste, sendo o Rio Grande do Norte o estado com a maior participação com 15 projetos com 44,1% do total. Os Estados da Bahia e Ceará possuem sete projetos cada, com representatividade individual de 20,6% do total. O Estado do Rio Grande do Sul com cinco projetos representa o restante dos 14,7% do total.

Tabela 12 – Projetos Eólicos por Estados – LER 003/2011

Estado	Projetos		Potência [MW]	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Bahia	7	20,6	148,8	17,3
Ceará	7	20,6	174,5	20,3
Rio Grande do Norte	15	44,1	405,4	47,1
Rio Grande do Sul	5	14,7	132,4	15,4
Total Brasil	34	100,0	861,1	100

FONTE: CCEE, 2011

Conforme mostrado na Tabela 12, em termos de capacidade instalada, neste leilão, o Estado do Rio Grande do Norte segue na frente com 47,1% da capacidade total contratada, equivalente a 405,4 MW, seguido de longe pelo Estado do Ceará com uma participação de 20,3%, representando assim 174,5 MW. O Estado da Bahia ocupa a terceira posição com 17,3% representando 148,8MW. Tanto o Estado do Ceará quanto o Estado da Bahia possuem sete projetos cada um neste leilão, no entanto, a capacidade instalada do Estado do Ceará possui 25,7 MW a mais do que o Estado da Bahia.

5.3.6 COMPARATIVOS DE LEILÕES

A Tabela 12, mostra um resumo comparativo dos leilões de energia eólica no país, onde R=Reserva, FA=Fonte Alternativa e N=Nova.

Tabela 13 - Resumo de Leilões

Leilão	Tipo	Data	Projetos Eólicos Vencedores	Exclusivo Eólica	Capacidade Instalada Eólica	MW médio contratado Eólica	Preço Médio Eólica	Início Suprimento
					[MW]	[MW]	[R\$/MWh]	
LER003/2009	R	14/12/2009	71	Sim	1805.7	783.1	148,39	01/07/2012
LER005/2010	R	25/08/2010	20	Não	528.2	266.8	122,69	01/09/2013
LFA007/2010	FA	26/08/2010	50	Não	1519.6	658,5	134,46	01/01/2013
LEN002/2011	N	17/08/2011	42	Não	1038,8	484,2	101,76	01/03/2014
LER003-2011	R	18/08/2011	34	Não	861.1	428.8	99,45	01/07/2014

FONTE: CCEE, 2011

Dos cinco primeiros leilões de fonte eólica, 36% dos projetos se encontra no Estado do Rio Grande do Norte, e o Estado da Bahia ocupa o segundo lugar com 24% do total, seguido do Estado do Rio Grande do Sul com 20%, conforme mostrado na Tabela 14. Dos 217 projetos, 71 foram negociados no primeiro leilão de energia eólica LER003/2009, o único em que somente a fonte eólica foi negociada. Nos leilões subsequentes houve também negociação conjunta com outras fontes, mas ainda assim a presença da fonte Eólica foi significativa, embora não alcançando o mesmo índice de projetos como no primeiro de fonte exclusiva Eólica. O próximo subsequente, em contrapartida, teve um aumento de mais de 100% no número de projetos negociados, passando de 20 para 50. Apesar deste fato, desde o terceiro leilão de energia onde foi comercializado a fonte Eólica houve uma redução do número de projetos eólicos.

Tabela 14 - Resumo dos Projetos Eólicos por Leilões e por Estado

Estado	LER003	LER005	LFA007	LEN02	LER03	Projetos	
	2009	2010	2010	2011	2011	Total por Estado	%
Bahia	18	10	6	10	7	51	24
Ceará	21	0	5	4	7	37	17
Pernambuco	0	0	0	3	0	3	1
Piauí	0	0	0	3	0	3	1
Rio G. do Norte	23	9	30	2	15	79	36
Rio Grande do Sul	8	1	9	20	5	43	20
Sergipe	1	0	0	0	0	1	0
<i>Total Brasil</i>	71	20	50	42	34	217	100

FONTE: CCEE, 2011

A Figura 18 mostra a capacidade instalada total [MW] por estado.

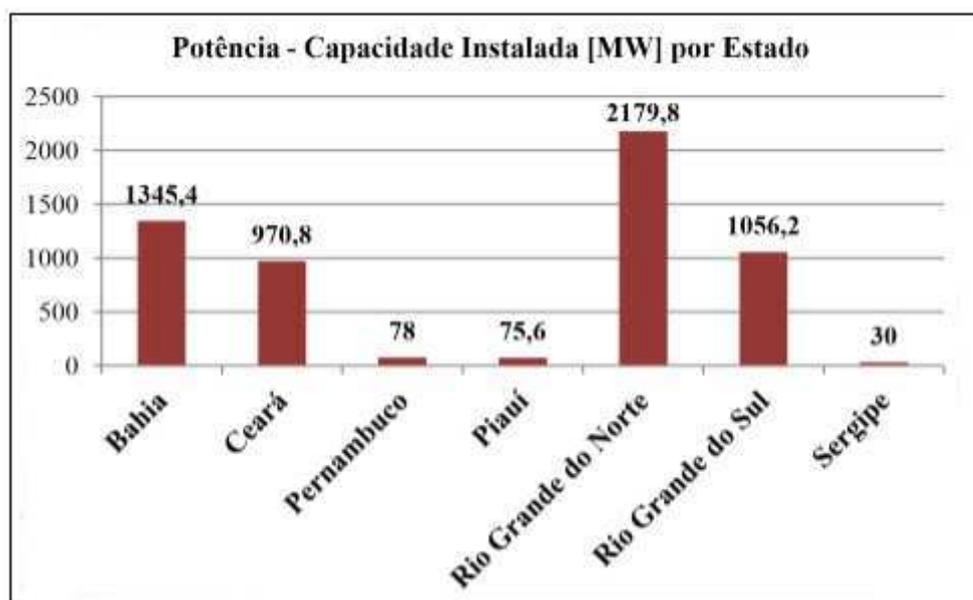


Figura 18 - Capacidade Total Instalada por Estado [MW]

FONTE: CCEE, 2011

Em termos de capacidade instalada, o estado do Rio Grande do Norte também está em primeiro lugar com 38% da potência instalada, seguido também do estado da Bahia com 23,5% e do estado do Rio Grande do Sul com 18,4%, conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Resumo de Capacidade Eólica Instalada por Leilão e por Estado

Estado	LER003	LER005	LFA007	LEN02	LER03	Potência [MW]	
	2009	2010	2010	2011	2011	Quantidade por Estado	%
Bahia	390	261	326,4	219,2	148,8	1345,4	23,5
Ceará	542,7	0	150	103,6	174,5	970,8	16,9
Pernambuco	0	0	0	78	0	78	1,4
Piauí	0	0	0	75,6	0	75,6	1,3
Rio G. do Norte	657	247,2	817,4	52,8	405,4	2179,8	38,0
Rio Grande do Sul	186	20	225,8	492	132,4	1056,2	18,4
Sergipe	30	0	0	0	0	30	0,5
<i>Total Brasil</i>	1805,7	528,2	1519,6	1021,2	861,1	5735,8	100,0

FONTE: CCEE, 2011

Um comparativo com o número de Parques Eólicos contratados e os leilões está mostrado na figura abaixo.

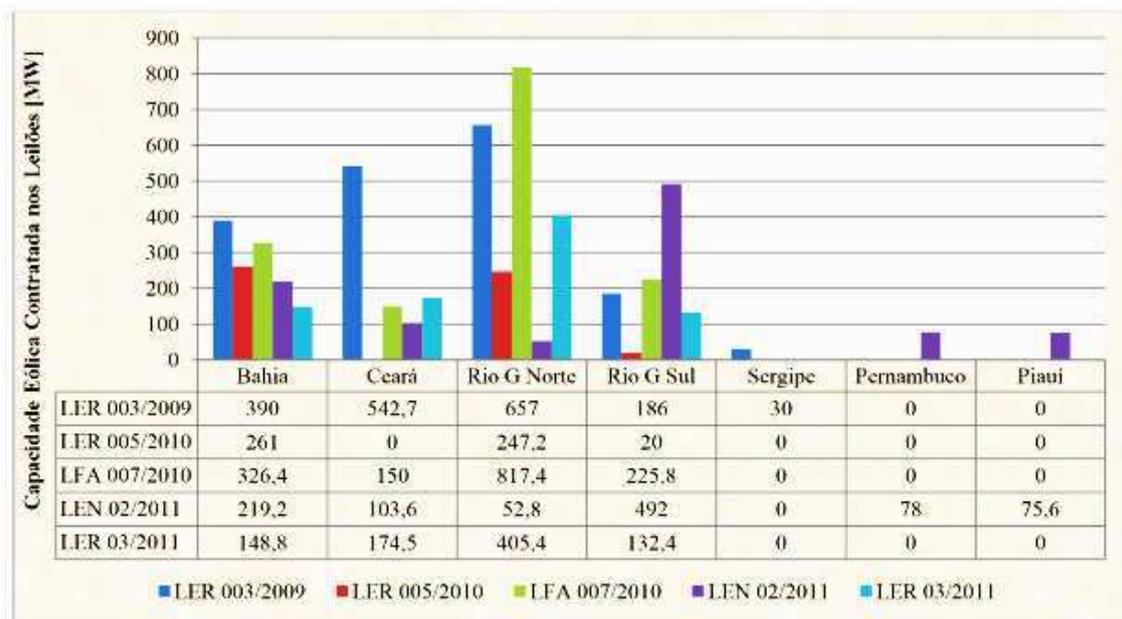


Figura 19 - Capacidade Eólica Contratada nos Leilões [MW]

FONTE: CCEE, 2011

6 CONCLUSÃO

Conforme apresentado no decorrer deste trabalho, nos últimos anos, o mundo e o Brasil vêm demonstrando um grande interesse na expansão do uso de fontes de energia renovável na matriz de energia elétrica, principalmente devido a dois fatores: diminuição da dependência de combustíveis fósseis, principalmente do petróleo/carvão e as questões ambientais.

A Energia Eólica por ter relativamente baixos impactos ambientais e ter sofrido uma grande evolução tecnológica nas últimas décadas, vem tendo uma grande queda nos seus custos de implantação e operação, se tornando assim cada vez mais competitiva em relação aos outros tipos de fontes alternativas como as pequenas centrais hidrelétricas e a biomassa. Além disso, a energia eólica apresenta no Brasil uma grande vantagem que é a sua complementaridade com as hidrelétricas, ou seja, os períodos em que os reservatórios estão em seus níveis mais baixos coincidem com os períodos de maior intensidade dos ventos, estimulando ainda mais o desenvolvimento desta tecnologia no País.

Desta maneira, pode-se dizer que o desenvolvimento da fonte eólica no Brasil foi marcado inicialmente pela instalação da primeira turbina eólica no país em 1992 em Fernando de Noronha, seguindo dez anos depois com a criação do PROINFA e em 2009 e 2010 com os novos leilões com participação de fontes eólicas, elevando o país a uma capacidade instalada atual de mais de 700 MW.

Entretanto, se analisarmos os empreendimentos em operação ou em processo de instalação provenientes do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas ou os vencedores dos novos leilões, percebemos diversas discrepâncias principalmente em função dos preços das tarifas e dos fatores de capacidade esperados e os realmente observados. De fato, é de se esperar que a evolução tecnológica e setorial tenda a abaixar os custos de investimentos e a aumentar o fator de capacidade das novas usinas eólicas, porém o que foi observado foi uma queda extremamente acentuada, de aproximadamente 50%, no valor dessas tarifas, e as estimativas dos fatores de capacidade estão de 10 a 20 pontos percentuais acima do que vem sendo constatado nas atuais usinas, o que desperta uma série de questionamentos sobre a atual conjuntura nacional desta fonte de energia.

No pior dos cenários, tanto as tarifas estipuladas pelos leilões não seriam suficientes para viabilizar os projetos como os fatores de capacidade estimados sejam

irreais. Assim, não só os empreendimentos poderiam ter dificuldades e atrasos na sua instalação, como após sua entrada em operação, a energia contratada não seria gerada na sua totalidade, ocasionando um sério problema de oferta por parte do sistema elétrico nacional.

Para solucionar possíveis problemas com os fatores de capacidade reais dos novos parques, poderia ser necessária uma série de dados de ventos por um período maior, além da implantação de uma tecnologia mais eficiente e outras mudanças no projeto de modo a melhor aproveitar o recurso eólico disponível no local, porém esses casos deverão ser estudados individualmente devido às peculiaridades de cada Parque Eólico.

Uma das principais reclamações por parte dos empresários a dificuldade de implantação dos parques eólicos são os elevados custos, principalmente das importações. Tendo em vista solucionar esse fato e promover ainda mais a entrada a energia eólica na matriz eólica nacional, além minimizar os riscos de ocorrer os problemas mencionados acima, foi assinado em junho de 2009 durante o Fórum Nacional Eólico a Carta dos Ventos, onde uma das mediadas acordadas será a redução do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para os equipamentos eólicos, além de outras propostas para se criar programas de incentivos financeiros, fiscais e tributários que atendam à cadeia produtiva do mercado eólico, desde o fornecimento dos equipamentos, construção dos empreendimentos, até a venda da energia elétrica.

De todo modo, cabe agora observar o desenvolvimento de tais empreendimentos de modo a dar continuidade à evolução tecnologia da energia eólica no país, e desta forma, planejar da melhor maneira possível a expansão da matriz de energia elétrica, de maneira que as metas estabelecidas pelo governo sejam atingidas e seja garantida a segurança no fornecimento elétrico nacional.

BIBLIOGRAFIA

- ✚ BOCCARD, N. **Capacity factor of Wind Power realized values vs. estimates – Energy Policy 37**. Departament d’Economia, Universitat de Girona, 17071 Girona, Spain. 2009.
- ✚ 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. Janeiro de 2003
- ✚ CASTRO, R.M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada – Introdução à Energia Eólica**. Universidade Técnica de Lisboa. Março de 2008 ed. 3.1
- ✚ CEPEL. **Energia Eólica, Princípios e Tecnologias**. Equipe CEPEL / CRESESB, maio 2008.
- ✚ CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Resumo Resultados do Leilão de Reserva – Fonte Eólica – LER003/09**. 2009.
- ✚ DUTRA, R.M. **Propostas de políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA**. Rio de Janeiro, 2007.
- ✚ DUTRA, R.M. **Viabilidade Técnico-econômica da Energia Eólica face ao novo marco regulatório do setor eólico brasileiro**. Tese de Mestrado. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro: Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia – COPPE. Rio de Janeiro, 2001.
- ✚ EWEA. **Wind Energy the Facts: The Economics of Wind Energy**. The European Wind Energy Association (EWEA), março de 2009.
- ✚ ELDRIDGE, F. R. **Wind Machines**. Second Edition. The MITRE Energy Resources and Environment Series. 1980
- ✚ GASCH, R.; TWELE, J. (eds). **Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation**. Solarpraxis AG. Alemanha. 2002

- ✚ GASPARI, A., FRANCELINO, R. C., 2004 **"Mais tempo para a biomassa"**, *Brasil Energia* n° 284, July, 2004 BRAZIL

- ✚ GWEC. **Global Wind Energy Outlook 2008**. Global Wind Energy Council (GWEC), outubro 2008.

- ✚ GWEC. **Global Wind Report 2009**. Global Wind Energy Council (GWEC), março 2010.

- ✚ GWEC. **Indian Wind Energy Outlook 2009**. Global Wind Energy Council (GWEC), setembro 2009.

- ✚ HENGEVELD, H. J.; LYSSEN, E. H., PAULISSEN, L. M. M. **Matching of Wind Rotors to Low Power Electrical Generators for a Given Wind Regime**. SWD – Steering Committee on Wind Energy for Developing Countries. The Netherlands. December, 1978

- ✚ IPCC. **A Base das Ciências Físicas**. Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima, 2007

- ✚ JACOBSON, Mark Z.; MASTERS, Gilbert M. **Exploiting Wind vs. Coal**. *Science* 24 August 2001. Vol.293 no. 5534 p. 1438

- ✚ MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. **O Aproveitamento da Energia Eólica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, no. 1, pp. 1304 (2008)

- ✚ TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio. **Uma Análise Comparativa das Dificuldades e Facilidades Existentes no Mercado Brasileiro quanto às Fontes Renováveis de Energia**. ENERGEN/LATAM. Rio de Janeiro, 2013

- ✚ TWIDELL, John; WEIR, Tony. **Renewable Energy Resources**. Second Edition. Taylor & Francis, 2007