

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
PITÁGORAS FERREIRA E SOUZA JÚNIOR

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Varginha
2013

FEPESMIG

PITÁGORAS FERREIRA E SOUZA JÚNIOR

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como requisito para obtenção de Grau de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Prof. Hugo Rodrigues Vieira.

Varginha

2013

PITÁGORAS FERREIRA E SOUZA JÚNIOR

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Ms. Luis Carlos Vieira Guedes

Profa. Esp. Luciene de Oliveira Propéri

Prof.

OBS:

RESUMO

A energia elétrica pode ser entendida como um elemento fundamental que exerce sobre a vida humana, sua utilização desde a descoberta tem sido essencial para os transportes, telecomunicações, abastecimento de água e tratamento de esgoto, alimentação, tecnologia dentre outros. A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas, devido o seu papel de grande importância para o desenvolvimento sustentável. Sua utilização deve ser mais harmônica e adequada para os recursos naturais, visando a sua geração com maior eficiência até a utilização, passando pela transmissão e distribuição com as menores perdas possíveis, equilibrando com o meio ambiente em seu conceito mais amplo. O planejamento energético deverá ser fundamentalmente estratégico para o desenvolvimento regional e até mesmo do país, visando o seu crescimento de forma sustentável, competitivo e de forma limpa. O grande desafio de fornecer, de forma segura e eficaz, as necessidades energéticas para o crescimento econômico, com a utilização de fontes alternativas e renováveis em relação as já tradicionais. Atualmente a sociedade moderna depende da forma mais direta do fornecimento de energia elétrica o qual pode ser feito de várias maneiras, fato qual que afeta diretamente a competitividade da nação em relação aos mercados existentes e globalizados. Esta dependência só é possível através das fontes existentes de geração, seja ela como fontes energéticas não renováveis como os combustíveis fósseis através da utilização do petróleo, carvão e gás, assim como pelas fontes energéticas renováveis com o uso da energia hidrelétrica, a biomassa, a energia solar, eólica, etc. Apesar de todas as matrizes energéticas existentes, ainda há muito a ser explorado e pesquisado. Com o aumento constante na demanda de energia, o Brasil ainda precisa investir em pesquisas, construções de novas usinas e novas alternativas de fontes energéticas, preferencialmente em energia limpa e renovável. A energia eólica é uma das fontes alternativas de geração de eletricidade com perspectivas de gerar grandes quantidades de energia sem provocar os impactos ambientais que são provocados pelas fontes convencionais.

Palavras-Chave: Energia eólica. Geração de energia. Renováveis.

ABSTRACT

The energy can be understood as a critical element that has on human life, its use since the discovery has been essential for transport, telecommunications, water supply and sewage treatment , food , technology and more. Electricity is one of the most widely used forms of energy, because its role of great importance to sustainable development. Its use should be more harmonious and suitable for natural resources, aiming his generation with greater efficiency to the use, through transmission and distribution with the lowest possible losses, balancing the environment in its broadest sense. Energy planning should be fundamentally strategic to regional development and even the country, aiming at the growth of a sustainable, competitive and cleanly. The challenge to provide, safely and effectively, the energy needs for economic growth with the use of alternative and renewable sources compared to traditional ones. In today's modern society depends more directly the supply of electricity in various ways, which ensures the competitiveness of the nation in relation to existing markets and globalized. This dependence is only possible through existing sources of generation, either as non-renewable energy sources such as fossil fuels through the use of oil, coal and gas as well as renewable energy sources by the use of hydropower, biomass, solar, wind, etc. . Despite all the existing arrays energetic, there is still much to be explored and researched. With the steady increase in demand for energy, our country still needs to invest in research, construction of new plants and new alternative energy sources, preferably in clean and renewable energy. Wind energy is one of the alternative sources of electricity generation with prospects to generate large amounts of energy without causing environmental impacts that are caused by conventional sources.

Keywords: Wind Energy. Power Generation. Renewable.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Integração eletro energética no Brasil.....	14
Figura 2: Barragem de uma usina hidrelétrica	16
Figura 3: Aerogerador	17
Figura 4: Usina nuclear de Angra dos Reis (Angra I)	18
Figura 5: Painel fotovoltaico	19
Figura 6: Usina termelétrica	20
Figura 7: Formação dos ventos a partir do deslocamento das massas de ar.....	21
Figura 8: Direção dos ventos.....	22
Figura 9: Ventos globais.....	23
Figura 10: Brisa marinha e terrestre	25
Figura 11: Ventos da montanha ou vale	26
Figura 12: Representação de ventos alísios.....	27
Figura 13: Circulação dos ventos alísios.....	27
Figura 14: Representação da lei de Betz.	30
Figura 15: Velocidade e altura do vento.....	32
Figura 16: Eólica de Charles Brush. Rotor de 17 metros e 114 pás de madeira.	35
Figura 17: Capacidade eólica mundial acumulada anualmente.....	37
Figura 18: Capacidade eólica mundial instalada anualmente.....	37
Figura 19: Velocidade média anual do vento a 50m de altura	39
Figura 20: Potencial eólico no Brasil por região	40
Figura 21: Potencial eólico sazonal a 100m de altura no estado de Minas Gerais conforme as estações do ano	41
Figura 22: Partes de um sistema eólico	44
Figura 23: Desenho esquemático de um aerogerador moderno	45
Figura 24: Componente de uma turbina eólica de eixo horizontal.....	47
Figura 25: Tipos de rotores.....	48
Figura 26: Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH)	51
Figura 27: Turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV)	52
Figura 28: Exemplos de turbinas eólicas.....	52
Figura 29: Evolução dos aerogeradores desde 1985 até 2005.....	54
Figura 30: Configuração de um sistema eólico isolado.....	55
Figura 31: Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativas de potencial eólico mundial.	36
Tabela 2: Capacidade eólica instalada em 2011 por país	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 ENERGIA ELÉTRICA.....	11
2.1 História da eletricidade.....	11
2.2 Geração de energia elétrica	11
2.3 Energia renovável e não renovável	12
3 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.	14
4 TIPOS DE USINAS.....	15
4.1 Usina hidrelétrica.	15
4.2 Energia eólica.....	16
4.3 Energia nuclear.....	17
4.4 Energia solar	18
4.5 Energia termelétrica.....	19
5 VENTOS.....	21
5.1 Origem dos ventos	21
5.2 Tipos de ventos.....	22
5.2.1 Ventos globais	23
5.2.2 Ventos de superfície	24
5.2.3 Ventos locais	24
5.2.3.1 Brisas marinhas	24
5.2.3.2 Ventos da montanha ou vale.....	25
5.3 Ventos alísios	26
5.4 Ventos contra-alísios	28
6 FATORES QUE INFLUENCIAM A ENERGIA PROVENIENTE DO VENTO ...	29
6.1 Densidade do ar.	29
6.2 Área de varrimento do rotor	29
6.3 Distribuição da pressão no rotor.....	29
6.4 Lei de Betz	29
6.5 Altura e velocidade do vento	31
7 A ENERGIA EÓLICA.....	33
7.1 Introdução a energia eólica.....	33
7.2 Histórico da energia eólica.....	34
7.3 Avaliação do potencial eólico.....	35
7.4 Potencial eólico mundial	36
7.5 Potencial eólico Brasil	38
7.6 Aproveitamento da energia eólica no Brasil.	41
8 COMPONENTES DE UM SISTEMA EÓLICO.....	43
8.1 Descrição dos principais componentes.	45
8.1.1 Rotor eólico	45
8.1.1.1 Rotores de eixo horizontal.....	45
8.1.1.2 Rotores de eixo vertical	47
8.1.2 Transmissão e Caixa Multiplicadora	48

8.1.3 Mecanismos de Controle	49
8.1.4 Gerador	49
8.1.5 Torre	49
8.1.6 Sistema de Armazenamento de Energia	50
8.1.7 Acessórios.....	50
9 AEROGERADORES	51
9.1 A evolução dos aerogeradores de grande porte	53
10 APLICAÇÃO DO SISTEMA EÓLICO.....	55
10.1 Sistemas independentes ou isolados	55
10.2 Sistemas híbridos (de apoio)	56
10.3 Sistemas interligados à rede	56
11 MEIO AMBIENTE	58
11.1 Recursos Energéticos e o Meio Ambiente.....	58
11.2 Impactos Socioambientais.....	59
12 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Os físicos definem a palavra energia como a quantidade de trabalho que um sistema é capaz de fornecer. Energia, de acordo com os físicos, não pode ser criada, consumida ou destruída. No entanto a energia pode ser transformada ou transmitida de diferentes formas.

A energia eólica vem sendo utilizada a milhares de anos, iniciando como propulsora de barcos a vela e também explorada em moinhos de vento há aproximadamente 3.000 anos. A partir do primeiro milênio d.C., houve grande difusão nos países da Europa e Ásia sendo aplicado de diversas formas como a moagem de grãos, bombeamento d'água, dentre outros. O país que mais utilizava o potencial do vento era a Holanda em seus moinhos.

Atualmente existem milhares de turbinas eólicas em operação ao redor do mundo, não apenas na geração de energia mecânica, mas também na geração de energia elétrica.

A energia elétrica é uma das formas de energia mais utilizadas no mundo. Ela é gerada, principalmente, nas usinas hidrelétricas, usando o potencial energético da água. Porém ela pode ser produzida também em usinas eólicas, termelétricas, solares, nucleares dentre outras.

Para chegar ao consumidor final, depende de uma eficiente rede elétrica, composta por fios e torres de transmissão.

Atualmente a energia é um fator básico e necessário para o desenvolvimento econômico, cultural e social e está ligado diretamente ao desenvolvimento de tecnologias energéticas de todos os países.

A utilização da energia elétrica impactou diretamente na natureza da forma de transformar a energia a partir das fontes existentes causando diversos problemas de forma direta devido às fontes de utilização ser de origem fóssil (petróleo, carvão e gás natural), onde a queima destes combustíveis liberam gases que poluem a atmosfera, o meio ambiente, contaminando os recursos hídricos, causando o efeito estufa e outros fatores nocivos. Estas fontes não são renováveis e se esgotarão com o tempo.

A utilização das fontes de energia alternativa vem sendo constantemente discutidas em relação a sua utilização devido ao fato de serem soluções capazes de suprir as necessidades do homem sem a destruição do meio ambiente.

Após a crise do petróleo na década de 70, houve a importância na segurança para o fornecimento de energia. Surgiu a preocupação com o meio ambiente.

A procura de novas formas de geração de energia, devido a escassez do petróleo, as questões ambientais, fez com que novas formas de produção de energia através de fontes

renováveis ganhou destaque. Atualmente estão sendo utilizadas a energia solar, energia eólica, energia das marés, biomassa, hidráulica, entre outras.

A energia eólica está sendo a mais promissora entre todas, devido ao fato de ser uma energia totalmente limpa.

2 ENERGIA ELÉTRICA

A geração de energia elétrica é a transformação de energia não elétrica em energia elétrica. Este processo precisa de duas etapas, sendo a primeira etapa a transformação da energia recebida de qualquer fonte da matriz energética em energia cinética de rotação. Na segunda etapa, um gerador elétrico acoplado à máquina primária transforma a energia cinética de rotação em energia elétrica (MODESTO, 2011).

Na geração de energia elétrica uma tensão alternada é produzida, a qual é expressa por uma onda senoidal, com frequência fixa e amplitude que varia conforme a modalidade do atendimento em baixa, média ou alta tensão. Essa onda senoidal propaga-se pelo sistema elétrico mantendo a frequência constante e modificando a amplitude à medida que trafega por transformadores. Os consumidores conectam-se ao sistema elétrico e recebem o produto e o serviço de energia elétrica (LEÃO, 2009, f. 1).

2.1 História da eletricidade

A história da eletricidade tem seu início no século VI A.C., na Grécia Antiga, quando o filósofo Tales de Mileto, após descobrir uma resina vegetal fóssil petrificada chamada âmbar (*elektron* em grego), esfregou-a com pele e lã de animais e pôde então observar seu poder de atrair objetos leves como palhas, fragmentos de madeira e penas (MUNDO DA EDUCAÇÃO, 2013).

Thomas Edson instalou em 1882 a primeira usina de geração de energia elétrica do mundo com fins comerciais, na área de Wall Street, Distrito Financeiro da cidade de New York. A central gerava em corrente contínua, com seis unidades geradoras com potência total de 700 Kw, para alimentar 7200 lâmpadas em 110 V. O primeiro projeto de êxito de central elétrica havia sido instalado no mesmo ano em Londres, com capacidade de geração para 1000 lâmpadas (LEÃO, 2009).

2.2 Geração de energia elétrica

Os geradores de eletricidade podem produzir corrente contínua (CC) ou corrente alternada (CA).

A utilização de corrente contínua é muito pequena devido às dificuldades existentes para aumentar ou diminuir os valores de sua tensão e corrente. A corrente alternada permite o aumento ou redução de seus valores de tensão e corrente com a utilização de transformadores

específicos para estes fins. A corrente alternada tem a facilidade desde a sua geração, transformação em alta tensão, transmissão, transformação em média tensão, distribuição, transformação em baixa tensão até o ponto de entrada.

No Brasil é utilizado o sistema de frequência em 60 Hz (SENAI, 1990).

2.3 Energia renovável e não renovável

A utilização de fontes de energia não renováveis atualmente no planeta já atingem a casa dos 97% do consumo. As reservas de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural são finitas, e com o constante aumento do consumo, a tendência deste recurso é acabar em um período cada vez menor devido à proporção inversa de consumo.

Como a distribuição destes recursos são em locais diversos onde países não possuem nenhum tipo de acesso, a importação é obrigatória por diversos países culminando em um maior consumo.

A utilização das fontes não renováveis é responsável pela liberação de gases onde provocam poluição atmosférica, efeito estufa, contaminação dos recursos hídricos, entre outros fatores que agridem o meio ambiente (WOLFGANG PALZ, 1981).

Tendo em vista a nova tendência da preservação ambiental, como a redução dos gases poluentes, surgem às chamadas fontes de energia alternativas como uma solução futura dos problemas atuais que serão capazes de suprir nossas necessidades de matriz energética.

A energia renovável se divide em energia solar (obtida através do sol), energia eólica (dos ventos), energia das marés (correntes marítimas), biomassa (matéria orgânica) e hidráulica (das águas). Os impactos ambientais são menores e são consideradas inesgotáveis, porém são limitadas na quantidade de energia que são capazes de produzir.

Apesar de todas as vantagens da utilização da energia renovável, ainda há pouca utilização devido ao alto custo para a sua instalação, a falta de tecnologia e redes para a distribuição da energia gerada e a falta de conhecimento de diversos países nesta nova cultura de utilização de novos recursos energéticos.

A busca por novas soluções energéticas, com menores impactos ambientais e menos poluentes, destacou-se a energia proveniente dos ventos chamada de energia eólica, que é considerada uma energia limpa.

No Brasil, a utilização da energia eólica ainda é pequena se comparada com o potencial existente. Os altos custos para a construção de uma usina eólica, o projeto e

desenvolvimento tecnológico ainda não possuem competitividade com as matrizes já existentes as quais são compostas principalmente pelas usinas hidrelétricas.

As novas políticas ambientais tem dado um impulso para a adoção das novas formas de geração de energia elétrica onde a preocupação com o meio ambiente tem sido visto de uma forma diferente, mas ainda há muito a investir, preferencialmente em curto prazo (WOLFGANG PALZ, 1981).

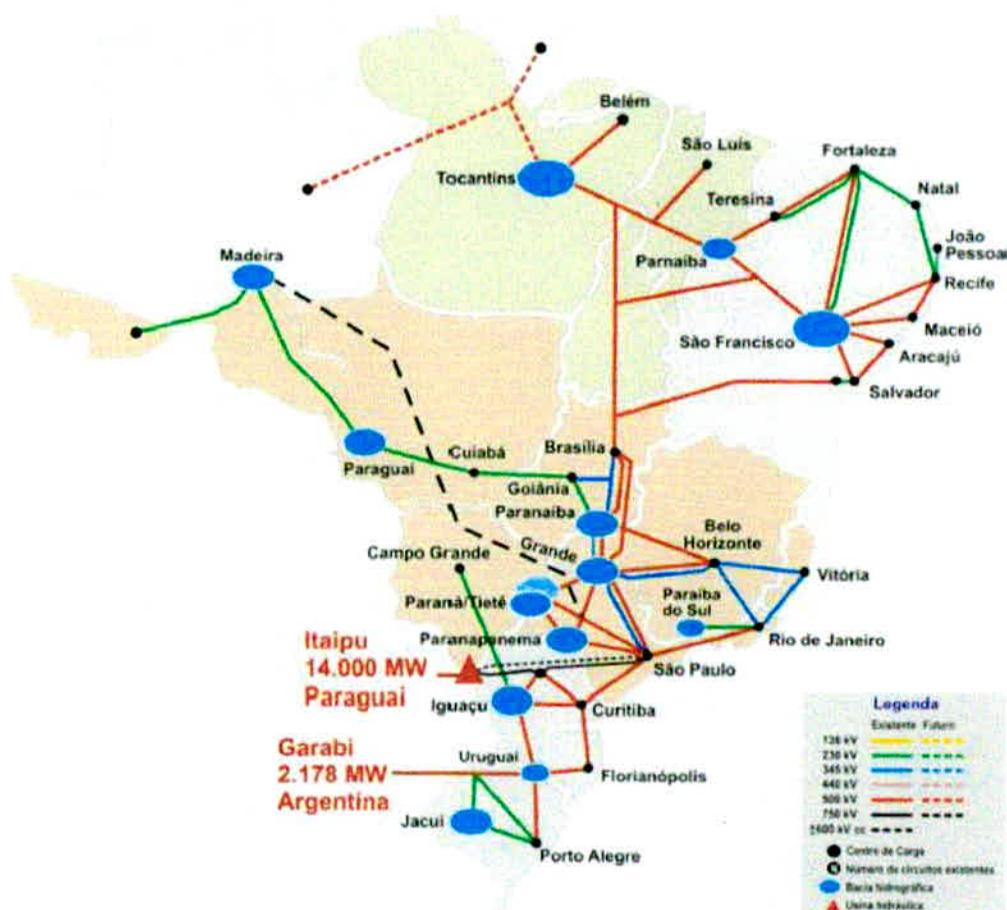
3 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

O sistema de produção de energia elétrica do Brasil pode ser classificado como um sistema hidrotérmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.

A maior parte da capacidade instalada é composta por usinas hidrelétricas, que se distribuem em 14 diferentes bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país de maior atratividade econômica. São os casos das bacias dos rios Tocantins, Madeira, Parnaíba, São Francisco, Paraguai, Paranaíba, Grande, Paraná, Tietê, Paraíba do Sul, Paranapanema, Iguaçu, Uruguai e Jacuí onde se concentram as maiores centrais hidrelétricas.

Os reservatórios nacionais situados em diferentes bacias hidrográficas não têm nenhuma ligação física entre si, sendo interligados por linhas de transmissão que funcionam como vasos comunicantes entre as bacias hidrográficas (ANEEL, 2013).

Figura 1 - Integração eletro energética no Brasil.



Fonte: BRASIL, 2013

4 TIPOS DE USINAS

Existem várias formas de se obter energia elétrica em diversos tipos de usinas como serão apresentadas

4.1 Usina Hidrelétrica

Encontrada com abundância na natureza, a água é a fonte primária para a obtenção deste recurso. A geração da energia elétrica é feita através de uma usina hidrelétrica e tem como a sua fonte de produção a força da água em movimento. Abaixo pode-se verificar como é feito a geração através de uma usina hidrelétrica:

- a) Primeiro é necessário a construção de enormes barragens que são criadas sob o leito de um rio com a finalidade de represar a água;
A água que corria livremente pelo leito do rio agora começa a ficar contida pela barragem e inicia a formação de um grande reservatório;
- b) Turbinas são instaladas nas barragens com certo desnível, permitindo que a água que passa pela barragem caia com enorme força sobre as turbinas que são movimentadas transformando a energia potencial em energia mecânica;
- c) A energia mecânica gerada nas turbinas é captada por um gerador de eletricidade que a transforma em energia elétrica;
- d) A última parte do processo é a transmissão da energia que ocorre por meio das redes de transmissão de alta tensão. Quando chega ao seu destino a energia é transformada em baixa tensão para as residências e comércios e em média tensão para as indústrias.

No Brasil a grande maioria da energia gerada e consumida provém das usinas hidrelétricas, devido ao seu enorme potencial hidrelétrico que o país possui atualmente. A grande quantidade de rios seus longos percursos permitem a construção de inúmeras usinas hidrelétricas no país. A maior vantagem da energia hidrelétrica é ser uma energia limpa, não polui e contribui para o equilíbrio ambiental (EDUCAÇÃO, 2013).

Figura 2 – Barragem de uma usina hidrelétrica.



Fonte: EDUCAÇÃO, 2013

4.2 Energia Eólica

Uma das fontes alternativas de geração de eletricidade, em capacidade de gerar grandes quantidades de energia sem os impactos ambientais provocados pelas fontes convencionais. Sua produção depende diretamente na escolha da turbina eólica e o local mais apropriado para sua implantação (REIS, 2011).

Esta energia é produzida usando a força dos ventos para movimentar enormes aerogeradores que são conectados a turbinas para a geração da energia elétrica. Assim como outras energias, a eólica também é limpa e renovável o que a torna muito atraente para os dias atuais.

Para a sua produção é necessário a instalação dos aerogeradores em locais com abundância de ventos, tanto em volume como em regularidade, ou seja, não basta ter ventos fortes é preciso que eles sejam constantes. A velocidade dos ventos precisa ser superior a 3,6 m/s.

Assim como a energia hidrelétrica, o Brasil tem um grande potencial para a produção de energia eólica, visto que há regiões onde a presença dos ventos favorece a instalação de parques eólicos. Neste cenário destacam-se os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, ambos na região nordeste do país. Atualmente os principais parques eólicos do Brasil são:

- Complexo eólico Alto Sertão I no estado da Bahia
- Parque eólico de Osório no Rio Grande do Sul

- Usina de Energia Eólica de Praia Formosa no Ceará. (EDUCAÇÃO, 2013).

Figura 3 - Aerogerador.



Fonte: EDUCAÇÃO, 2013

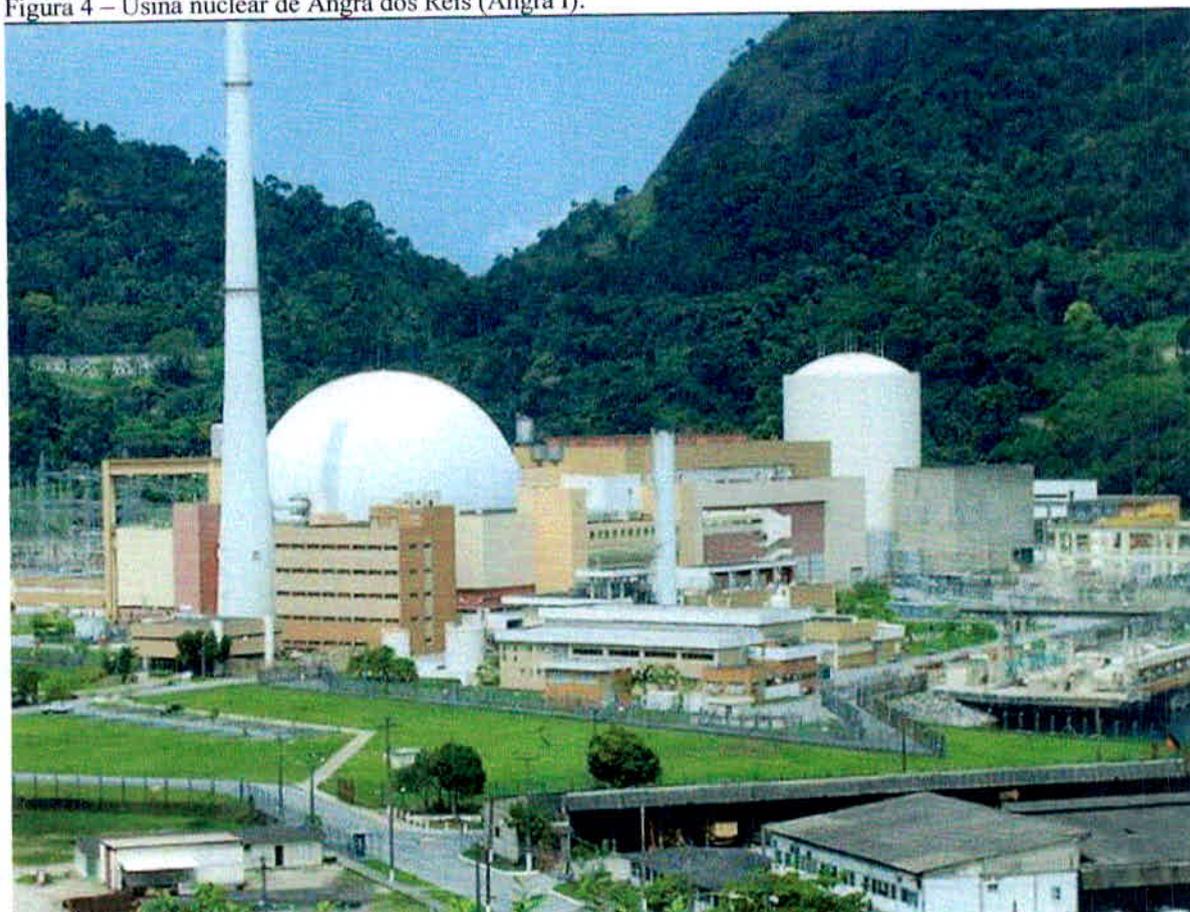
4.3 Energia Nuclear

A energia nuclear é produzida a partir de uma reação denominada fissão, que é para a física nuclear a divisão de um núcleo de átomo pesado (urânio, plutônio, etc.) em dois ou vários fragmentos, determinada por um bombardeamento de nêutrons, e que liberta uma enorme quantidade de energia e vários nêutrons. A partir da fissão do núcleo de um átomo que bombardeia uns contra os outros ocasionando o rompimento dos núcleos e gerando grandes quantidades de energia.

As usinas nucleares, apesar de ser mais uma opção de gerar energia elétrica, também podem provocar acidentes graves no ecossistema, assim como ocorreu na usina de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986, pois a extração dos núcleos dos átomos ocorre à liberação de dejetos radioativos que altera a genética, provoca o câncer, além de danificar de modo incalculável o meio ambiente.

Só no Brasil existem duas usinas nucleares em funcionamento, (Angra 1 e 2), no município de Angra dos Reis, RJ (EDUCAÇÃO, 2013).

Figura 4 – Usina nuclear de Angra dos Reis (Angra I).



Fonte: Aneel, 2013.

4.4 Energia Solar – Térmica e Fotovoltaica

O sol é em si é um grande produtor de calor e potência, proporcionadas pela radiação eletromagnética que ele libera, assim sendo, o sol através de processos distintos é responsável pela geração de dois tipos de energia elétrica, a energia térmica e a energia fotovoltaica.

A energia térmica é gerada a partir de coletores solares que ao captar a energia provinda do Sol transfere à água, que é utilizada geralmente em chuveiros elétricos, pois a água é totalmente aquecida quando recebe a energia térmica. Já a energia fotovoltaica, possui duas possíveis formas de ser coletadas, seja por lâminas ou por painéis conhecidos por painéis fotovoltaicos, tanto um como o outro são compostos de um material que possui capacidade de capturar a radiação liberada pelo sol e produzir energia elétrica. A energia fotovoltaica possui mais um fator interessante, ela poder ser utilizada diretamente ou então pode ser armazenada em baterias para que possa ser utilizada quando não houver sol.

A grande vantagem da energia provinda do sol, térmica ou fotovoltaica, é que é uma energia limpa, não ocasionando nenhum tipo de poluição, além de dispensar a utilização das

turbinas e geradores, no entanto, o custo para a realização desses processos ainda encontram-se elevados (EDUCAÇÃO, 2013).

Figura 5 – Painel fotovoltaico.



Fonte: EDUCAÇÃO, 2013

4.5 Energia Termelétrica

A produção de energia elétrica, utilizando os processos térmicos é denominada geração termoelétrica (BORGES NETO, 2011 p. 53).

O processo de funcionamento de uma usina termelétrica está na conversão de energia térmica em energia mecânica e em seguida a transforma em energia elétrica.

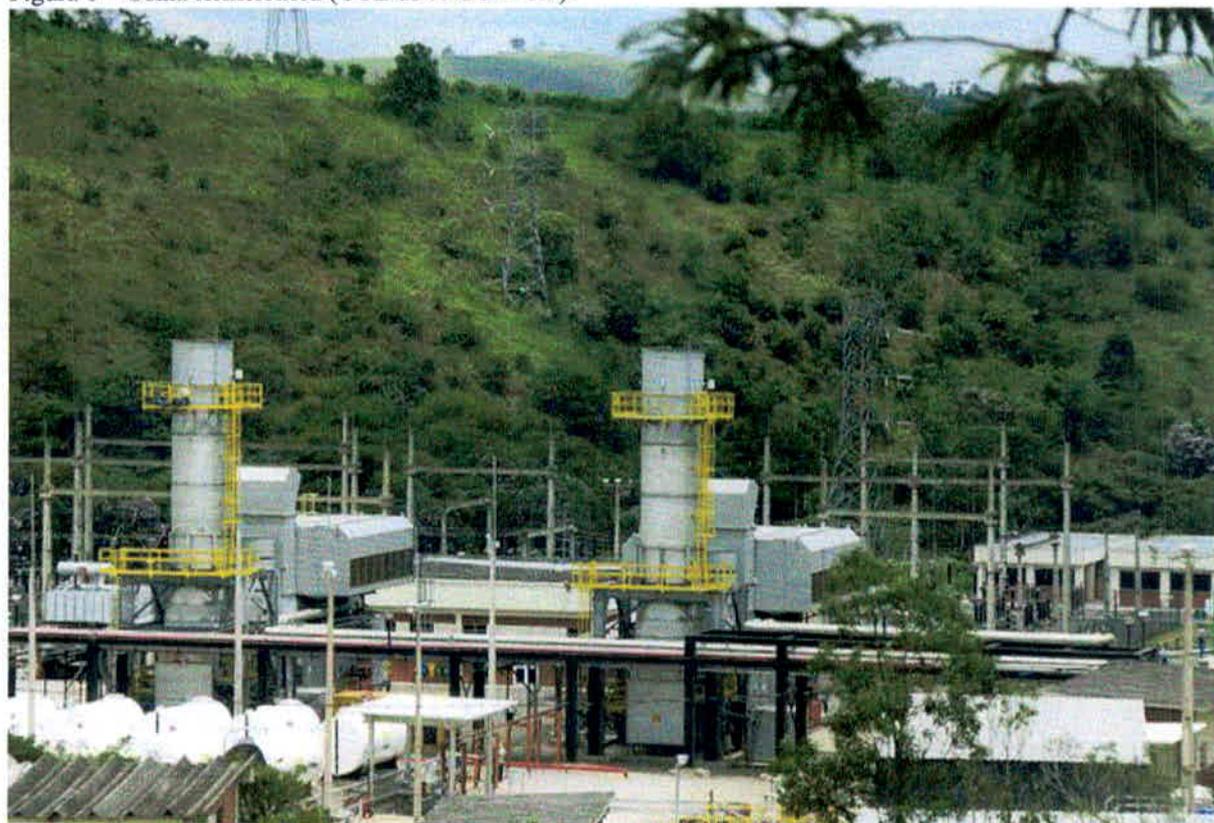
A conversão de energia térmica em energia mecânica ocorre pelo uso de um fluido que produzirá, em seu processo de expansão, trabalho em turbinas térmicas.

A produção da energia termelétrica pode ocorrer através da combustão, ou combustíveis radioativos com a fissão nuclear (REIS, 2011 p. 129).

Conhecida também por calorífica, esta energia é resultante da combustão de materiais de fontes não renováveis, por exemplo, carvão, petróleo e gás natural, e também outros de fontes renováveis como a lenha, o bagaço de cana, entre outros combustíveis. A energia termelétrica pode ser utilizada tanto como energia mecânica como também por eletricidade. (EDUCAÇÃO, 2013).

Entre as suas vantagens, a sua área de construção são relativamente pequenas se comparadas às hidrelétricas (BORGES NETO, 2011 p. 53).

Figura 6 – Usina termelétrica (UTE de Juiz de Fora).



Fonte: CEMIG, 2013

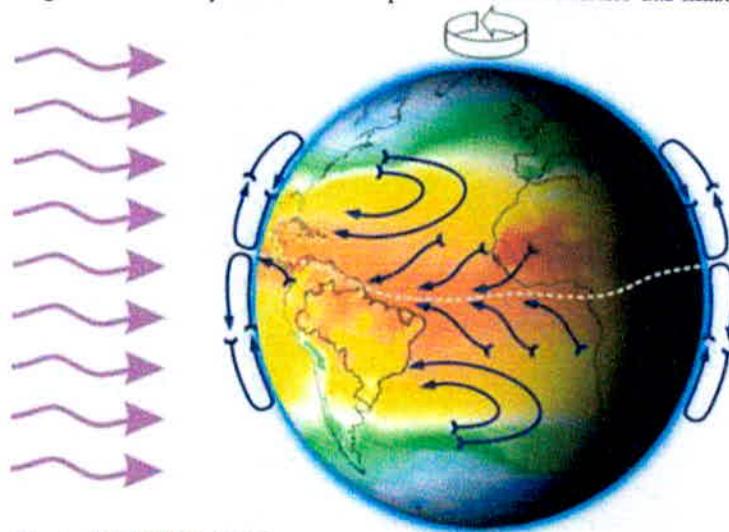
5 VENTOS

5.1 Origem dos ventos

Os ventos são deslocamentos de ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão. São gerados pela diferença de temperatura da terra e das águas, das planícies e das montanhas, das regiões equatoriais e dos polos do planeta Terra.

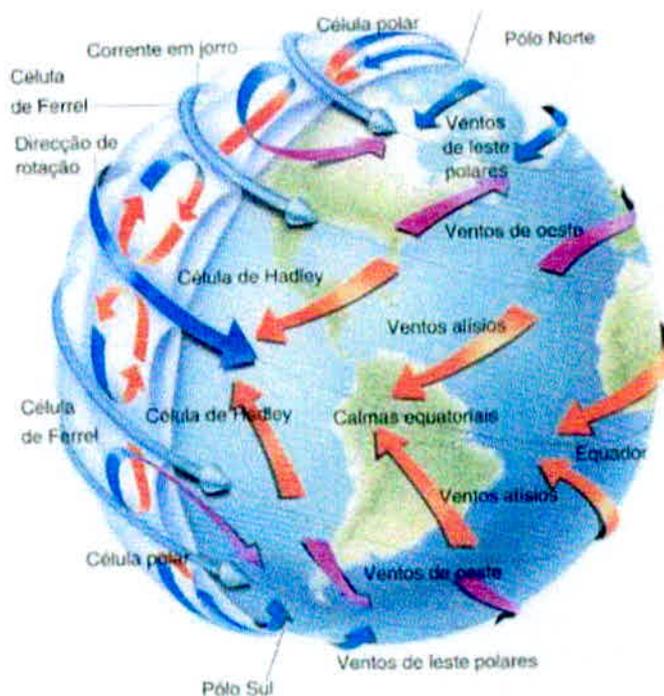
A quantidade de energia disponível no vento varia de acordo com as estações do ano e as horas do dia. A topografia e a rugosidade do solo também têm grande influência na distribuição de frequência de ocorrência dos ventos e de sua velocidade em um local. Além disso, a quantidade de energia eólica que pode se extrair de uma região depende das características de desempenho, altura de operação e espaçamento horizontal dos sistemas de conversão de energia eólica instalados. A avaliação precisa do potencial de vento em uma região é o primeiro e fundamental passo a ser estudado para o aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia.

Figura 7 – Formação dos ventos a partir do deslocamento das massas de ar.



Fonte: CRESESB, 2013.

Figura 8 – Direção dos ventos.



Fonte: COCEDUCAÇÃO, 2013

5.2 Tipos de ventos

O vento que pode ser considerado o ar em movimento, é o principal responsável pela movimentação das massas de ar na atmosfera e a sua presença está relacionada à variação das pressões de ar originada termicamente através da radiação solar e das fases de aquecimento das massas de ar.

A energia eólica pode ser considerada como uma das formas em que se manifesta a energia proveniente do Sol, isto porque os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. Essa não uniformidade no aquecimento da atmosfera deve ser creditada, entre outros fatores, à orientação dos raios solares e aos movimentos da Terra (PORTAL ENERGIA, 2013, p. 14).

Todo este processo ocorre devido ao sol aquecer a superfície da Terra, aquecendo os gases do ar. A camada de ar aquecida próxima da superfície sobe para as partes mais altas e vai sofrendo o resfriamento. O ar após sofrer o resfriamento desce para ocupar o lugar do ar quente que subiu. O ar frio desce até a superfície da Terra e se aquece e sobe, começando novamente o ciclo. Quanto maior forem essas diferenças, mais fortes serão os ventos.

Cerca de 1 a 2% da energia solar é convertida em energia dos ventos. As regiões onde esse tipo de conversão de energia inicia-se são nas regiões existentes na linha Equador, onde a

latitude é 0° e ocorre um maior aquecimento nas massas de ar e posteriormente é estendida para as regiões norte e sul do planeta.

Os diferentes tipos de ventos geralmente são classificados levando em conta três fatores: a pressão, a temperatura e a velocidade da camada de ar (DOS SANTOS, 2006).

Também são classificados conforme a sua origem, conforme pode ser visto na próxima subseção.

5.2.1 Ventos Globais

O vento que sobe desde o Equador para os polos, o qual circula pelas camadas mais altas da atmosfera, por volta dos 30° de latitude, a força de Coriolis (sistema de coordenadas fixo sobre a superfície, que gira com ela evita que continue em direção aos polos). Nessa latitude são encontrados zonas de altas pressões, pelo que o ar começa a descer de novo (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013 p, 1).

As zonas de baixa pressão originam-se devido ao vento subir desde o Equador que estão próximas ao solo o que atrai ventos do Norte e do Sul. Nos polos, devido ao ar frio, são originadas zonas de altas pressões. A Troposfera é onde ocorrem todos os fenômenos meteorológicos assim como o efeito de estufa (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

As direções dominantes do vento são importantes na localização dos aerogeradores, no entanto a geografia local também pode influenciar as direções acima indicadas. Estes ventos na realidade são considerados como ventos geostróficos, e ocorrem a partir da altitude dos 1.000 m. As velocidades destes ventos são medidas por balões meteorológicos (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

Figura 9 – Ventos globais.



Fonte: ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013

5.2.2 Ventos de Superfície

As altitudes de até 100 metros há uma influência pela superfície terrestre diretamente nos ventos onde ocorre um travamento que é causado pela rugosidade da superfície da terra e pelos obstáculos. A direção próxima à superfície são pouco diferentes em relação às dos ventos geostróficos (vento horizontal, não acelerado), devido à rotação da terra (ENERGIAS RENOVÁVEIS 2013).

5.2.3 Ventos Locais

Os ventos locais tem uma grande importância na determinação dos ventos dominantes em uma determinada área, as condições climáticas locais podem influenciar as direções do vento. A direção do vento sofre uma influência pela soma dos efeitos globais e locais. Quando os ventos globais são suaves, os ventos locais podem dominar o regime de ventos (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

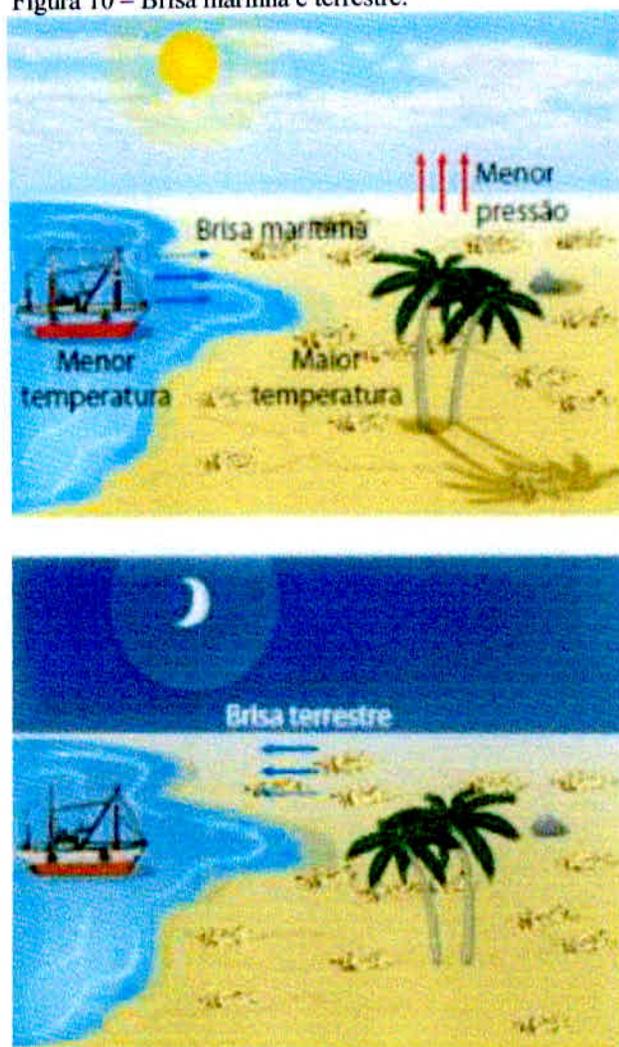
Os ventos locais subdividem-se em dois tipos os quais são detalhados nas subseções a seguir.

5.2.3.1 Brisas marinhas

Durante o dia ocorre o aquecimento mais rápido da terra devido à influência do sol em relação ao aquecimento do mar. O ar sobe e circula para o mar, criando uma depressão ao nível do solo, que atrai o ar frio do mar. A este acontecimento é dado o nome de brisa marinha.

Ao final do dia, encerra-se este processo de aquecimento, quando as temperaturas do solo e do mar se igualam. Durante a noite os ventos sopram em sentido contrário, tendo a brisa terrestre, normalmente, velocidades inferiores, uma vez que a diferença entre a temperatura do solo e do mar é menor (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

Figura 10 – Brisa marinha e terrestre.

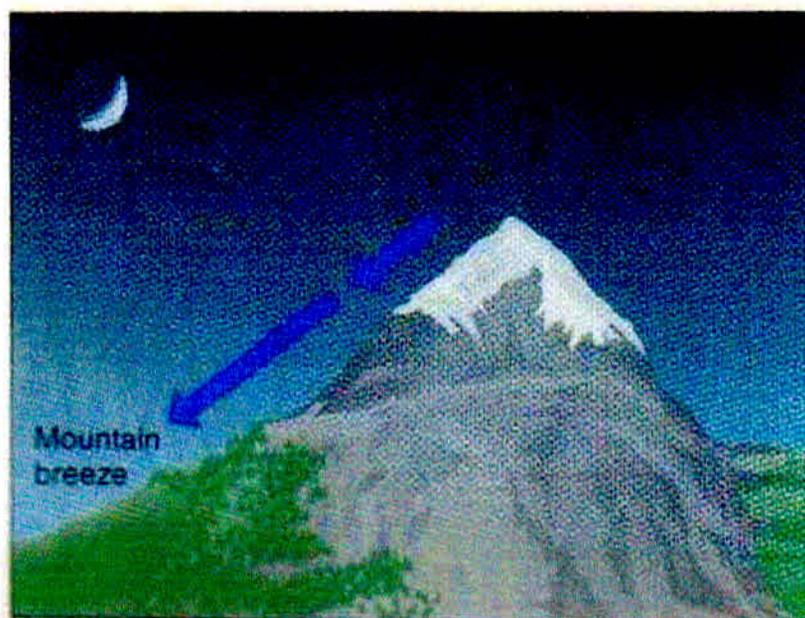
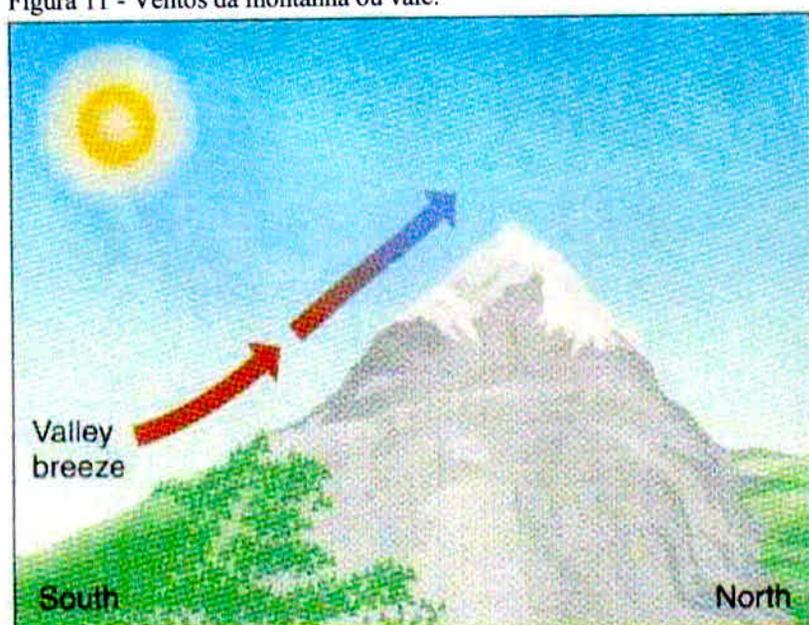


Fonte: ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013.

5.2.3.2 Ventos da montanha ou vale

O vento do vale origina-se nos declives orientados ao norte no hemisfério sul e, ao sul no hemisfério norte. Quando o ar próximo das montanhas está quente a densidade do ar diminui, sobe seguindo a superfície do declive. Durante a noite a direção do vento inverte-se, passando a descer o declive. Se o fundo do vale for inclinado o ar pode ascender e descender pelo vale, a este efeito é dado o nome de vento canhão (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

Figura 11 - Ventos da montanha ou vale.



Fonte: ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013.

5.3 Ventos Alísios

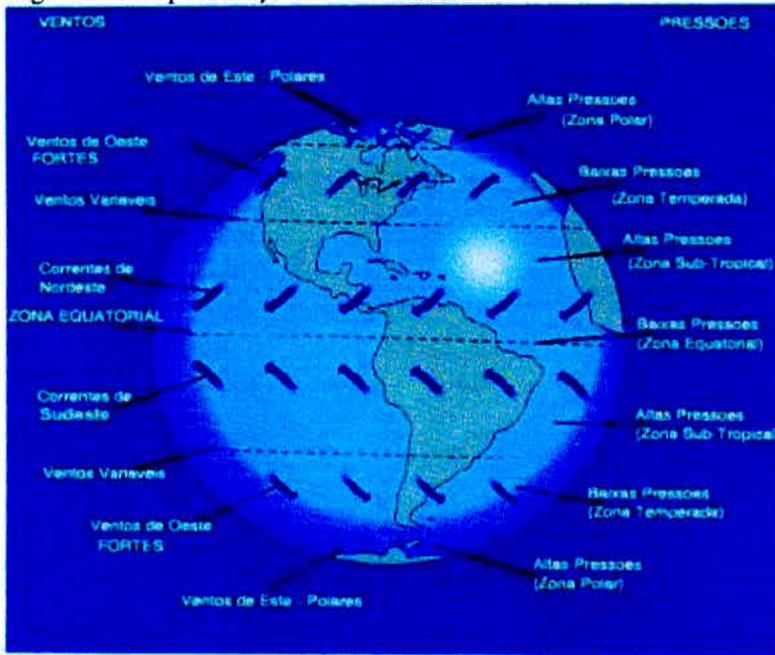
Sua ocorrência é durante todo o ano nas regiões tropicais, sendo muito comuns na América Central. O resultado da ascensão de massas de ar que convergem de zonas de alta pressão (anticiclônicas), nos trópicos, para zonas de baixa pressão (cyclônicas) no Equador, formando um ciclo.

Os ventos são úmidos, provocando chuvas nos locais onde convergem. Por essa razão, a zona equatorial é a região das calmarias equatoriais chuvosas.

O Alísio de hemisfério Norte sopra de Nordeste para Sudoeste, enquanto o do hemisfério Sul sopra do Sudeste para o Noroeste.

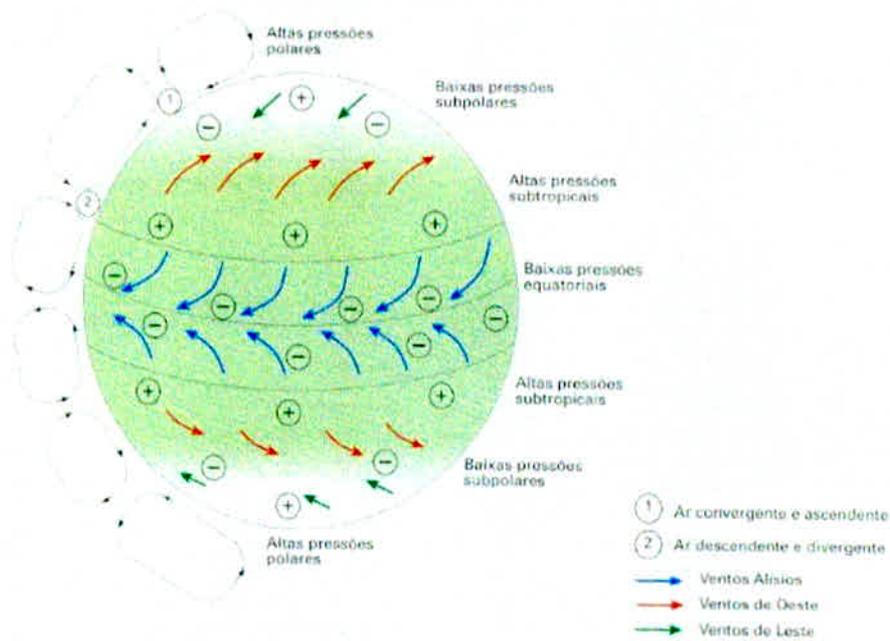
A sua influência é mais marcante no clima de regiões costeiras e de baixa latitude, exercendo grande importância na meteorologia insular (Tio Sam, 2013).

Figura 12 – Representação de ventos alísios.



Fonte: COCEDUCAÇÃO, 2013

Figura 13 – Circulação dos ventos alísios.



Fonte: MIKAJOJO, 2013

5.4 Ventos Contra Alísios

Sopram do Equador para os trópicos, em altitudes elevadas.

Estes tipos de ventos são secos e responsáveis pelas calmarias tropicais que geralmente ocorrem ao longo dos trópicos. Os maiores desertos da Terra encontram-se junto a essas zonas atravessadas pelos trópicos (FIOCRUZ, 2013).

6 FATORES QUE INFLUENCIAM A ENERGIA PROVENIENTE DO VENTO

A energia é obtida pelo aerogerador através da conversão do vento que atua sobre as pás do rotor. A quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento depende, basicamente, dos seguintes fatores:

6.1 Densidade do ar

Segundo o site Portal-Energia (2013, p. 1) “A energia cinética de um corpo em movimento é proporcional a sua massa. Assim, a energia cinética do vento depende da densidade do ar, ou seja, sua massa por unidade de volume”.

Quanto maior a densidade do ar, maior será a quantidade de energia que a turbina irá receber. A pressão atmosférica normal à densidade do ar é de $1,225 \text{ kg/m}^3$. Para grandes altitudes a pressão do ar diminui e o ar fica menos denso (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

6.2 Área de varrimento do rotor

É a circunferência onde o rotor atua fisicamente. Determina quanta energia do vento a turbina eólica é capaz de captar.

Dado que a área do rotor aumenta com o quadrado do raio, por exemplo, uma turbina duas vezes maior recebe quatro vezes mais energia (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

6.3 Distribuição da pressão no rotor

Há um aumento de forma gradativa na pressão do ar conforme o vento aproxima-se do rotor, e o rotor atua como barreira ao vento, na parte posterior do rotor a pressão cai imediatamente, ocorre uma estabilização gradual à medida que se afasta. Devido ao afastamento do vento a turbulência do vento é criada na área circundante estabilizando gradualmente na medida em que se afasta, reduzindo o efeito de “abrigo ao vento.” (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

6.4 Lei de Betz

A Lei de Betz é fundamental para o cálculo do aerogerador.

Quanto maior for a energia cinética extraída do vento pelo aerogerador de um sistema eólico, maior será a travagem que sofrerá o vento que deixa o aerogerador. Se teoricamente fosse possível extrair toda a energia do vento, o ar sairia com velocidade nula, ou melhor, o ar não poderia abandonar a turbina. Nesse caso não seria possível extrair nenhuma energia, uma vez que também não entraria ar no rotor do aerogerador. No outro caso extremo, consideramos o ar a passar pelo tubo de vento sem nenhum impedimento, também não será possível extrair energia do vento (DOS SANTOS, 2006, p. 26).

Entre estes dois extremos existem um valor para o qual é mais eficiente a conversão da energia do vento em energia mecânica: um aerogerador irá frear até cerca de $2/3$ da sua velocidade inicial. Este valor é referente a uma formulação de 1919, realizada pelo físico Albert Betz, e conhecida como Lei de Betz.

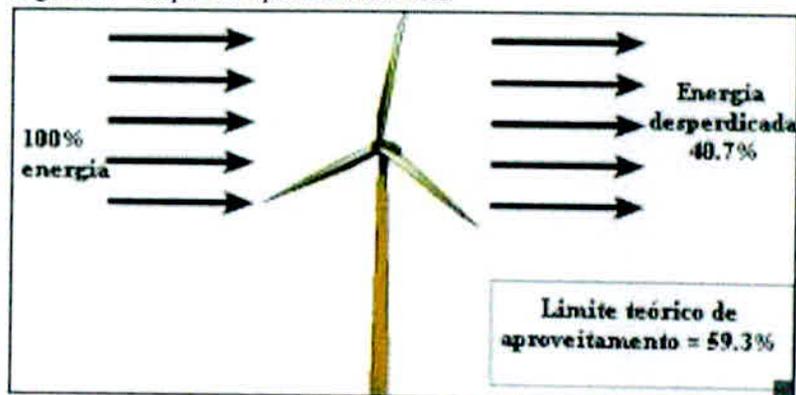
A Lei de Betz determina apenas a conversão de menos de $16/27$ (59%) da energia cinética em energia mecânica ao utilizar um aerogerador.

Como a potência varia com o cubo da velocidade do vento, e proporcionalmente com a densidade do ar. A maior parte da energia eólica está localizada acima da velocidade média o vento de projeto. Para a produção de energia elétrica em grande escala só locais com valores de velocidades médias anuais superiores a 6 m/s são interessantes; abaixo deste valor já não existe viabilidade para este tipo de aplicações.

De fato a velocidade à qual os aerogeradores começam a rodar situa-se entre 3 e 5 m/s, no entanto abaixo de 5 m/s a quantidade de energia no vento é muito baixa, e a turbina apenas começa a funcionar por volta dos 5 m/s.

Os valores ideais de aproveitamento estão em torno dos 9 ou 10 m/s, porém as turbinas podem ser projetadas para uma eficiência máxima dependendo da zona de velocidade de vento onde esteja a maior parte da energia (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

Figura 14 – Representação da lei de Betz.



Fonte: AEROGERADORES, 2013

6.5 Altura e velocidade do vento

A variação da velocidade do vento aumenta proporcionalmente em relação á altura conforme o local. Esse fenômeno é conhecido como "wind shear". A fricção entre ar mais lento e mais rápido conduz ao aquecimento, velocidade do vento mais baixa e muito menos energia de vento disponível perto do solo.

As regiões que possuem construções como prédios, só atingem velocidades maiores após certa altura. Em locais com construções de menores portes, já é notável ventos satisfatórios para a captação.

O aumento ou redução da energia gerada varia conforme a velocidade do vento local, onde se fazem necessários estudos para a construção de uma usina eólica para melhor aproveitamento dos ventos.

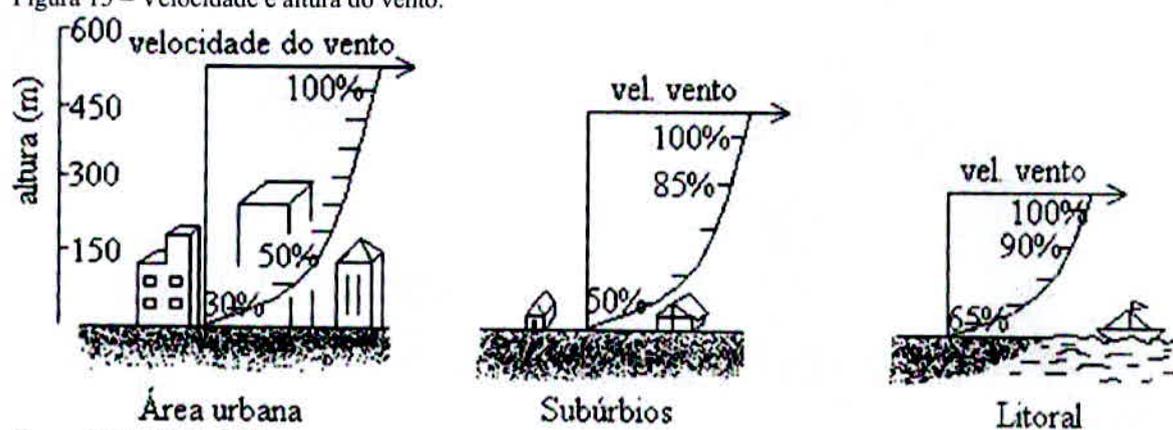
As regiões que possuem muitos obstáculos não favorecem o melhor aproveitamento para obtenção de ventos em certas alturas dificultando a geração de energia.

Não são somente obstáculos como prédios ou construções elevadas, mas também arvores de grande porte, morros, elevações entre outros tipos de obstáculos que dificultam de forma direta o vento.

Assim, a conversão de energia eólica em regiões com muitos obstáculos fica prejudicada. O aproveitamento dos ventos nestas regiões é possível, porem em escalas menores.

Existe uma regra prática que permite a utilização de aerogeradores em regiões que possuem construções ou obstáculos naturais, como árvores muito altas e grandes ou elevações no solo. Os aerogeradores devem ficar a uma distância mínima de 7 vezes a altura que o obstáculo possui. Assim poderá obter um aproveitamento melhor dos geradores e que as turbulências causadas pela uniformidade do chão, das construções e dos obstáculos naturais sejam minimizadas, não interferindo muito no aproveitamento do sistema (UNICAMP, 2013).

Figura 15 – Velocidade e altura do vento.



Fonte: UNICAMP, 2013

7 A ENERGIA EÓLICA

7.1 Introdução a energia eólica

Define-se como energia eólica a energia cinética que provem das massas de ar em movimento chamadas de vento. O aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com a utilização de turbinas eólicas, denominadas de aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água e moagem de cereais.

O vento é um recurso não poluente, natural, renovável, abundante e sem custos para a sua obtenção e disponível em todos os lugares. Provém da energia solar que, formam-se através do aquecimento não uniforme da atmosfera que envolve o planeta.

A energia é gerada por meio de aerogeradores, onde é feita a captação da força do vento pelas hélices que são ligadas a uma turbina que fazem o acionamento de um gerador elétrico. A quantidade de energia transferida é em função da densidade do ar, da área coberta pela rotação das pás (hélices) e da velocidade do vento.

A energia eólica é uma das formas de aproveitamento de energia de fontes completamente renováveis, é uma energia praticamente limpa, não produzindo qualquer tipo de poluente. Sendo uma das mais vantajosas formas para as fontes renováveis de energia (ANEEL, 2013).

Atualmente, o homem vive um grande problema em relação da produção de energia elétrica, devido a não ter atingido a eficiência energética necessária de produção nas usinas existentes e também em seu parque gerador. A maior parte de toda a energia que é produzida atualmente no mundo são de fontes não renováveis.

A geração de energia deve ser de forma eficaz, com a melhor distribuição para os consumidores e deve ter a maior economia possível, desde a sua geração até o consumidor final, com o mínimo de perdas.

Na busca de melhores fontes de energia renovável, destaca-se a energia eólica, onde sua produção é limpa. Não há a geração de resíduos e a agressão ao meio ambiente é praticamente mínima.

Outra grande vantagem é a possibilidade de ser construído nas próprias residências, gerando conseqüentemente uma redução de consumo de energia elétrica.

Áreas sem elevações ou construções são necessárias, pois dificultam a passagem do vento e sem vento não há como produzir a energia.

Ainda há muitos estudos e investimentos a serem feitos nesta forma de geração de energia, pois apesar de não exigir investimentos como as usinas a vapor que necessitam de compra de combustíveis constantes, o custo para se gerar a energia através dos ventos ainda é elevado e sua eficiência ainda não foi totalmente alcançada, conseqüentemente ainda há um alto preço com manutenção (ENERGIA EOLICA, 2013).

7.2 Histórico da energia eólica

O termo eólico vem do latim *aeolicus*, pertencente ou relativo à Éolo, deus dos ventos na mitologia grega e, portanto, pertencente ou relativo ao vento (UNESP, 2013).

Não existem dados com informações precisas de quando o homem começou a utilizar a energia dos ventos.

As informações vem desde a época dos egípcios que utilizavam a força dos ventos desde 2800 a.C. onde iniciou a utilização de velas nas embarcações para auxiliar a força dos remos dos escravos.

Poucos séculos antes de Cristo, os persas começavam a usar a força dos ventos, onde construíram moinhos de ventos verticais elevados, para serem usados como força nas mós, na moagem de grãos (UNICAMP, 2013).

Os muçulmanos continuaram o que os persas deixaram e construíram seus próprios moinhos de vento. Com o retorno das cruzadas, pensou-se que eles tinham levado as ideias sobre moinhos de vento e seus desenhos para a Europa, mas provavelmente foram os holandeses que desenvolveram o moinho de vento horizontal com hélices, tão comum nos campos dos holandeses e ingleses.

A força do vento e da água logo se tornaram a fonte primária da energia mecânica medieval inglesa. Durante esse período, os holandeses contaram com a força do vento para bombeamento de água, moagem de grãos e operações de serraria.

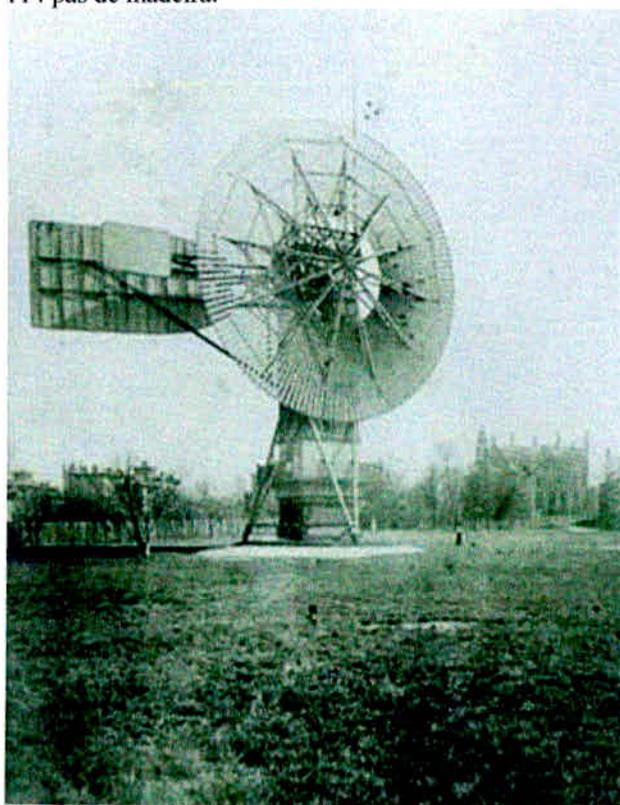
Por volta de 1850, Daniel Halliday iniciou o desenvolvimento do moinho de vento americano de fazenda, sendo a sua principal utilização para bombear água, essa máquina é o familiar moinho de vento multi lâmina, ainda utilizado em muitas áreas rurais. Mesmo hoje, as fazendas de gado, não seriam possíveis em muitas partes da América e Europa sem essa máquina.

A geração de eletricidade pelo vento começou em torno do início do século XX, com alguns dos primeiros desenvolvimentos creditados aos dinamarqueses. Em 1930, cerca de uma dúzia de empresas americanas estavam fazendo e vendendo esses "carregadores de

vento", na maior parte aos fazendeiros do ventoso Great Plains. As máquinas poderiam fornecer até 1000 Watts de potência quando o vento estivesse soprando.

Entre 1950 e 1960, os franceses construíram desenhos avançados de unidades de 100 Kw a 300 Kw. Os alemães construíram geradores de vento para prover força extra para sua linha de utilidades, mas por causa da rígida competição dos geradores de fluido fóssil, essas máquinas experimentais foram eventualmente descartadas (ENERGIAS RENOVAVEIS, 2013).

Figura 16 - Eólica de Charles Brush. Rotor de 17 metros e 114 pás de madeira.



Fonte: ENERGIAS RENOVAVEIS, 2013

7.3 Avaliação do potencial eólico

A avaliação do potencial eólico de uma região com o aproveitamento dos ventos como fonte de energia requer um estudo detalhado do comportamento do vento, a coleta de dados com precisão e qualidade capaz de fornecer um mapeamento eólico da região (CERPCH, 2013).

Sua velocidade e direção são fundamentais e seus estudos devem conter informações que são feitas ao longo do dia, estações do ano, a altura também é fator importante de estudos. Fatores que influenciam o potencial eólico de uma região como o relevo, a rugosidade do solo

e outros obstáculos devem ser considerados, pois são fatores importantes nas características dos ventos.

Para que se possa obter uma energia eólica aproveitável, a densidade deve ser maior ou igual a 500 W/m^2 a uma altura de 50 m com uma velocidade mínima de 7 a 8 m/s (ANEEL 2013).

7.4 Potencial eólico mundial

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia, em apenas 13% da superfície terrestre o vento apresenta velocidade média igual ou superior a 7 m/s, a uma altura de 50 m. Essa proporção varia muito entre regiões e continentes, chegando a 32% na Europa Ocidental.

A estimava que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh por ano. Devido, porém, a restrições socioambientais, apenas 53.000 TWh (cerca de 10%) são considerados tecnicamente aproveitáveis (CERPCH, 2013).

Ainda assim, esse potencial líquido corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

Tabela 1: Estimativas de potencial eólico mundial.

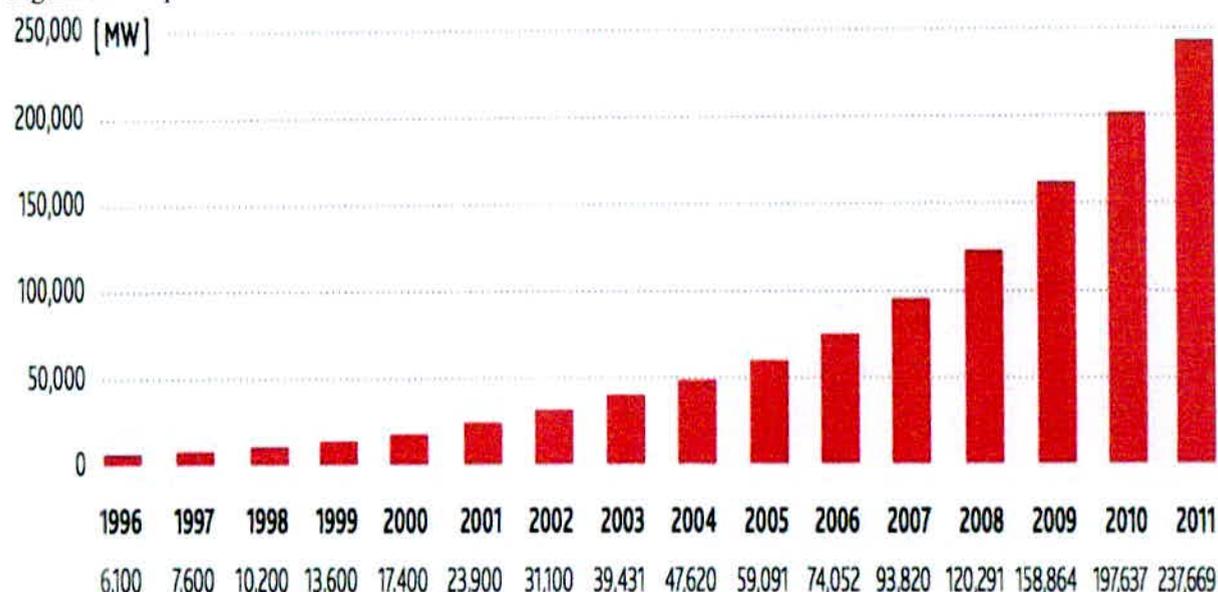
Região	Porcentagem de terra ocupada*	Potencial bruto (TWh/ano)	Potencial líquido (TWh/ano)
África	24	106.000	10.600
Austrália	17	30.000	3.000
América do Norte	35	139.000	14.000
América Latina	18	54.000	5.400
Europa Ocidental	42	31.400	4.800
Europa Ocidental & ex-URSS	29	106.000	10.600
Ásia (excluindo ex-URSS)	9	32.000	4.900
Mundo **	23	498.400	53.000

*Em relação ao potencial bruto;

**Excluindo-se Groenlândia, Antártida, a maioria das ilhas e os recursos offshore.

Fonte: ANEEL

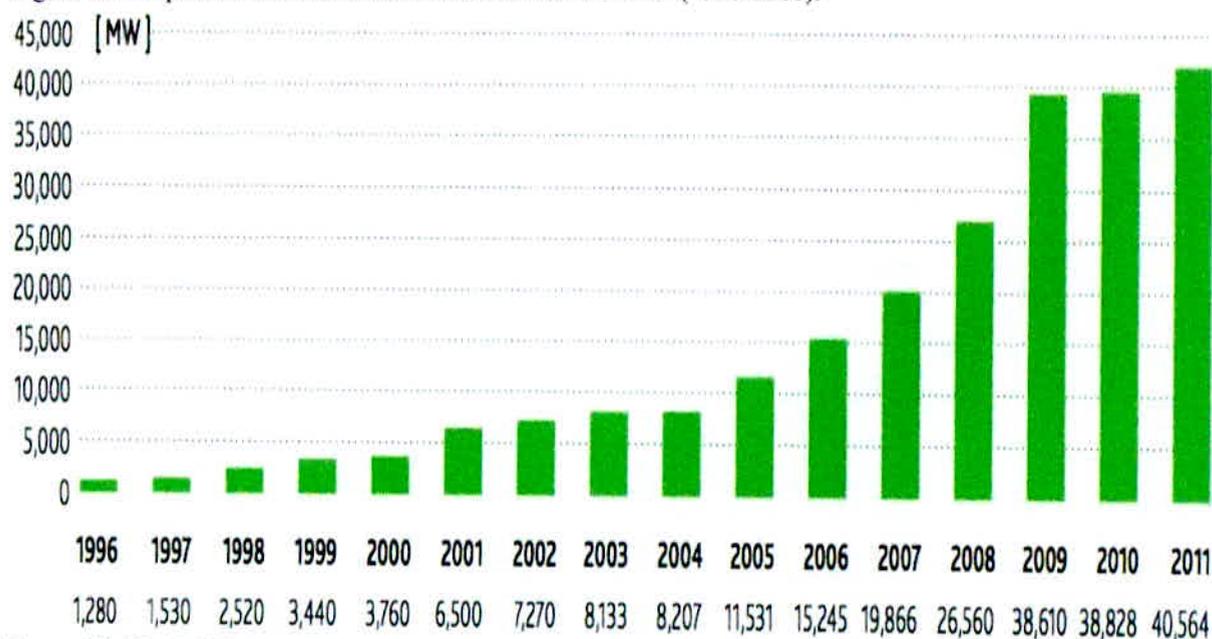
Figura 17 - Capacidade Eólica Mundial Acumulada Anualmente (1996-2011).



Fonte: GLOBAL WIND REPORT, 2013.

De acordo com o GWEC (2013), a capacidade mundial instalada, em 2011, foi de 40.564 MW, acumulando um total de aproximadamente 238 GW. Isso representou um crescimento de 20% em relação ao ano anterior, sendo o maior crescimento entre as tecnologias alternativas de energia. Desde 2006 até 2011, o setor apresentou um crescimento médio de 26%, porém manteve-se praticamente estagnado nos últimos três anos – 38,6 GW em 2009, 38,8 GW em 2010 e 41,2 GW em 2011.

Figura 18 - Capacidade Eólica Mundial Instalada Anualmente (1996-2011).



Fonte: GLOBAL WIND REPORT, 2013.

Tabela 2 - Capacidade eólica instalada em 2011 por país.

País	Acréscimo 2011 (GW)	Total 2011 (GW)	Crescimento (%)
China	18,0	62,4	40%
Estados Unidos	6,8	46,9	17%
Alemanha	2,1	29,1	8%
Espanha	1,1	21,7	5%
Índia	3,0	16,1	23%
França	0,8	6,8	14%
Itália	1,0	6,7	16%
Reino Unido	1,3	6,5	25%
Canadá	1,3	5,3	32%
Portugal	0,4	4,1	10

Fonte: ANEEL, 2013

7.5 Potencial eólico Brasil

Desde 1970 a pesquisa para as alternativas de energia eólica tem caminhado em passos lentos para o descobrimento real do potencial eólico brasileiro (AMARANTE, 2001).

Ainda existem divergências entre especialistas e instituições na real estimativa do potencial eólico brasileiro, que era em torno de 20.000 MW. Atualmente, recentes estudos apresentaram valores superiores a 60.000 MW. Divergências de informações são devido a falta de informações e das diferentes metodologias aplicadas (BRASIL, 2003).

Os estudos realizados têm dado motivação à exploração comercial no país. Os primeiros estudos referentes ao potencial energético eólico brasileiro foram realizados na região nordeste do país, sendo no Ceará e em Pernambuco. Com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, publicou em 1998 a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste. A continuidade desse trabalho resultou no Panorama do Potencial Eólico no Brasil (BRASIL, 2003).

Figura 19 – Velocidade média anual do vento a 50m de altura.



Velocidade média do vento (m/s) 50 m acima do nível de superfície					
	Mata	Campo Aberto	Zona Costeira	Morro	Montanha
4	> 8,0	> 7,0	> 8,0	> 9,0	> 11,0
3	4,5 - 6,0	6,0 - 7,0	6,0 - 7,0	7,5 - 9,0	8,5 - 11,0
2	3,0 - 4,5	4,5 - 6,0	4,5 - 6,0	6,0 - 7,5	7,0 - 8,5
1	< 3,0	< 4,5	< 4,5	< 6,0	< 7,0

Fonte: ANEEL, 2003 Adaptado

Notas:

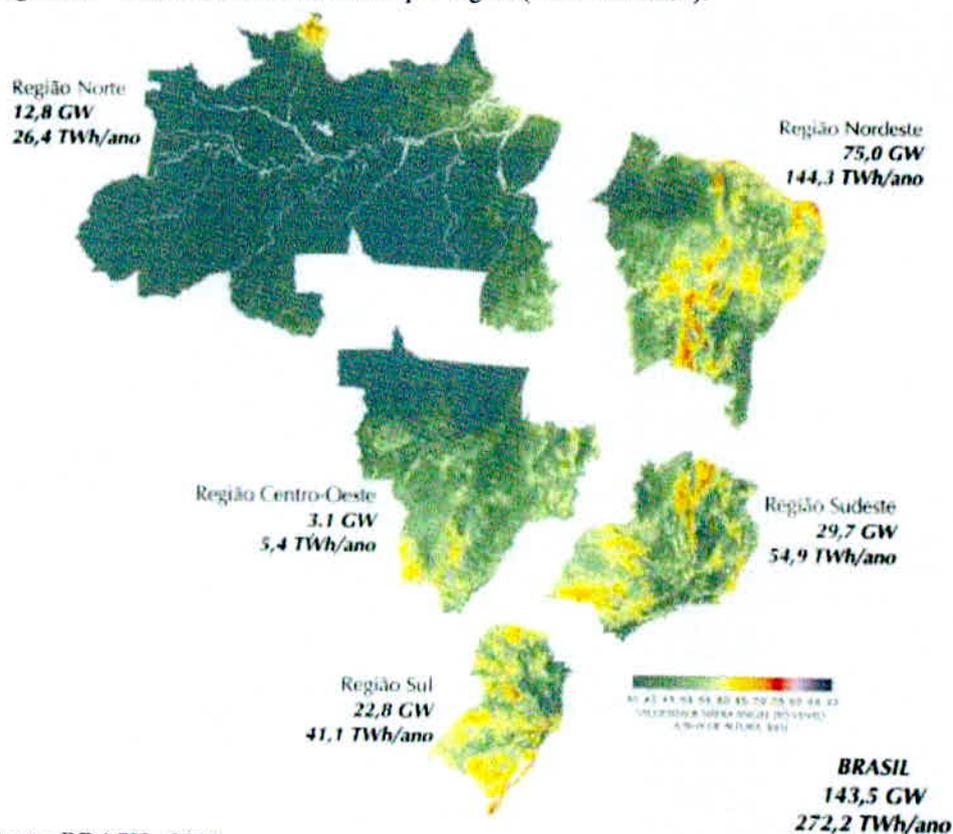
- Mata indica áreas de vegetação nativa e árvores no atlas.
- Campo aberto refere-se a áreas planas de pastagem, plantações e/ ou vegetação baixa, sem muitas arvores altas.
- Zonas costeiras são áreas de praias, normalmente com larga faixa de areia, onde o vento incide no sentido mar-terra.
- Morros são áreas de relevo levemente ondulados, relativamente complexo e de pouca vegetação ou pasto.
- Montanhas representam áreas de relevo complexo com altas montanhas. O potencial eólico é dado para locais nos topos das montanhas em condições favoráveis para o fluxo do vento.

O Atlas eólico brasileiro foi de grande importância para a época, promovendo e favorecendo a capacidade da potência acumulada para o Brasil. (ANEEL).

Novos estudos apontaram para um maior potencial em relação à altura das torres onde foi possível a descoberta de uma maior disponibilidade de captação dos ventos.

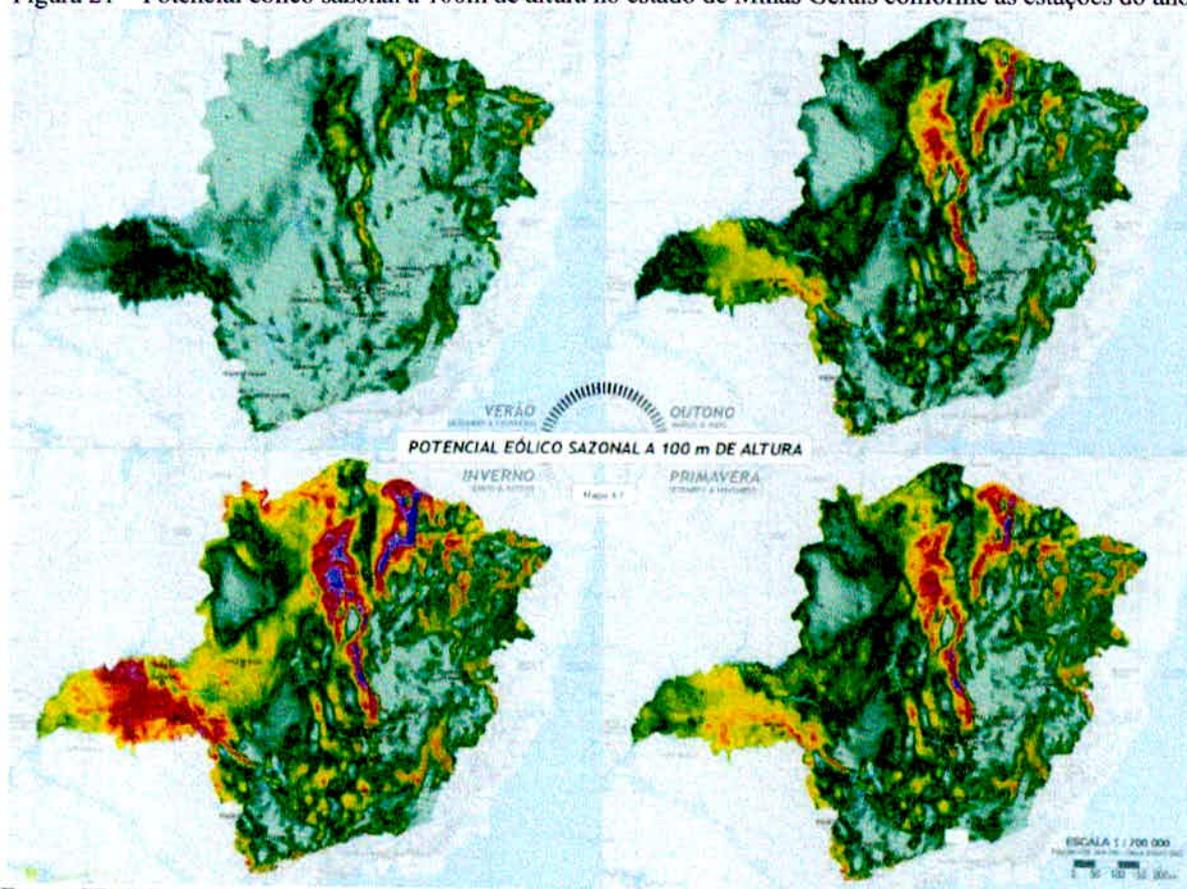
O estado de Minas Gerais pôde entrar no estudo e em 2010, a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A.) publicou o Atlas Eólico de Minas Gerais, o qual apontou um potencial de 40 GW a uma altura de 100 metros do solo. Só essa potência descoberta, sem considerar as disponíveis a alturas menores, já é o dobro do daquele citado pelo Atlas do Potencial Eólico Brasileiro para toda a região sudeste. Já o Rio Grande do Sul obteve um significativo aumento, passando de 15,8 GW a 50 m de altura, para 115,2 GW a 100 m de altura (CEMIG, 2013).

Figura 20 – Potencial eólico no Brasil por região (Visão em 2001).



Fonte: BRASIL, 2013

Figura 21 – Potencial eólico sazonal a 100m de altura no estado de Minas Gerais conforme as estações do ano.



Fonte: CEMIG, 2013

7.6 Aproveitamento da energia eólica no Brasil.

Devido ao o constante crescimento da demanda energética no mundo e principalmente no Brasil, o aumento de consumo dos combustíveis fósseis e não renováveis juntamente com as necessidades de preservação ambiental e o desenvolvimento tecnológico eólico, faz-se necessário uma redução nos custos do processo da indústria eólica, e também o aumento da capacidade do potencial eólico existente juntamente com outras riquezas ainda não exploradas.

O Brasil possui um dos maiores parques de geração e potenciais eólicos do mundo em diversos estados.

O fator de capacidade das usinas eólicas em regiões de ventos médios anuais superiores a 8 m/s, atinge 40% e, em alguns locais como no litoral nordeste do Brasil, em alguns meses chega a atingir até 60% (PORTAL-ENERGIA, 2013).

No Brasil ocorre nos períodos não chuvosos uma redução nos reservatórios das usinas hidrelétricas, coincidentemente há um maior período de ventos que geram uma maior quantidade de energia elétrica que são geradas pelas usinas eólicas.

Esta ocorrência climática entre o período da estiagem faz com que nosso sistema possua uma maior confiabilidade e estabilidade do Sistema Elétrico Brasileiro.

O Brasil possui uma produção de energia eólica muito pequena em relação a sua capacidade, dos quais (91%), operam comercialmente desde o início de 1999.

No caso da energia eólica, o local de maior exploração desse tipo de fonte no Brasil é o litoral do Nordeste, onde a intensidade e direção do vento são constantes (MORAES, 2004).

8 COMPONENTES DE UM SISTEMA EÓLICO

Um sistema eólico é constituído por vários componentes que devem trabalhar em harmonia de forma a propiciar um maior rendimento final. Para efeito de estudo global da conversão eólica devem ser considerados os seguintes componentes:

- a) Vento: Disponibilidade energética do local destinado à instalação do sistema eólico.
- b) Pás: Capturam a energia eólica e a convertem em energia rotacional no eixo.
- c) Nacele: Carcaça onde são abrigados os componentes.
- d) Eixo: Transfere a energia de rotação para o gerador.
- e) Rotor: Responsável por transformar a energia cinética do vento em energia mecânica de rotação.
- f) Transmissão e Caixa Multiplicadora: Responsável por transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga. Alguns geradores não utilizam este componente; neste caso, o eixo do rotor é acoplado diretamente à carga.
- g) Gerador Elétrico: Responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica. Utiliza a energia rotacional para gerar eletricidade utilizando eletromagnetismo.
- h) Mecanismo de Controle: Responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle da carga, monitora todo o sistema, realiza o desligamento da turbina.
- i) Torre: Responsável por sustentar e posicionar o rotor e a nacele na altura conveniente. Ergue todo o conjunto a uma altura onde as pás possam girar com segurança e longe da terra.
- j) Sistema de Armazenamento: Responsável por armazenar a energia para produção de energia firme a partir de uma fonte intermitente.
- k) Transformador: Responsável pelo acoplamento eletromagnético entre o aerogerador e a rede elétrica.
- l) Sensores de vento: Alinha o rotor com a direção do vento.
- m) Sistema de freio a disco: Em caso de falha no sistema ou sobrecarga de energia, detém a rotação do eixo.
- n) Acessórios: São os componentes periféricos.

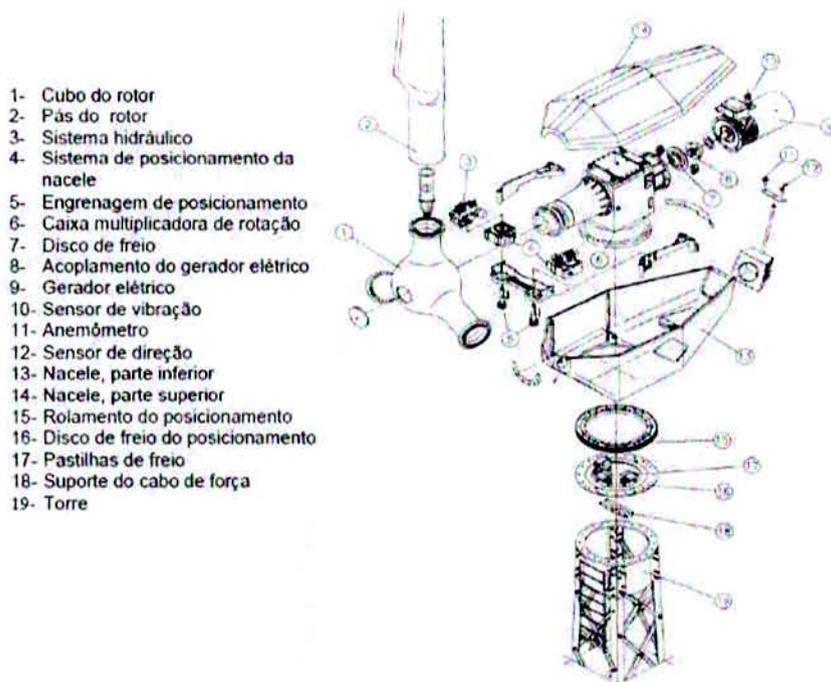
O rendimento de um sistema eólico está relacionado diretamente com a potência disponível do vento. Ao extrair a energia dos ventos, os rotores eólicos fazem a redução de sua velocidade, sendo a velocidade do vento frontal ao rotor (velocidade não perturbada) é maior do que a velocidade do vento atrás do rotor (na esteira do rotor). Uma redução muito

grande da velocidade do vento faz com que o ar circule em volta do rotor, ao invés de passar através dele (PUC, 2013).

A máxima extração de energia ocorre quando para uma velocidade na esteira do rotor é igual a $1/3$ da velocidade não perturbada. Em condições ideais, o valor máximo da energia captada por um rotor eólico é limitado pela eficiência de Betz dada pelo fator $16/27$ ou $0,593$, ou seja, apenas $59,3\%$ da energia contida no fluxo de ar podem ser teoricamente extraída por uma turbina eólica.

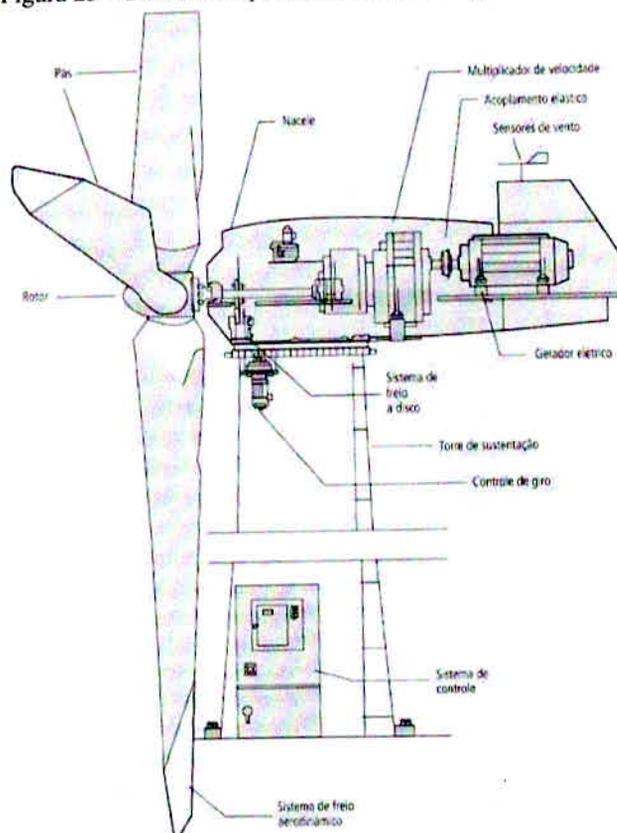
Todo sistema eólico somente começa a funcionar a partir de uma determinada velocidade, chamada de velocidade de entrada, esta velocidade é necessária para que algumas perdas possam ser vencidas. Quando o sistema consegue atingir a velocidade de corte um mecanismo de proteção é acionado com a finalidade de não causar riscos ao rotor e à estrutura (ENERGIA EÓLICA, 2013).

Figura 22 – Partes de um sistema eólico.



Fonte: ENERGIAS RENOVAVEIS, 2013.

Figura 23 – Desenho esquemático de um aerogerador moderno.



Fonte: ANEEL, 2013

8.1 Descrição dos principais componentes

8.1.1 Rotor Eólico

O rotor é o componente do sistema eólico responsável por captar a energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação. É o componente mais característico de um sistema eólico, e a sua configuração influencia diretamente no rendimento global do sistema.

Os rotores eólicos podem ser classificados em rotores de eixo horizontal e rotores de eixo vertical (CRESESB, 2013).

8.1.1.1 Rotores de Eixo Horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns e possuem maior utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (lift) e forças de arrasto (drag). Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a ação de forças que atuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que atuam na direção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são

proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento (PORTAL-ENERGIA, 2013, p. 24).

Adicionalmente, as forças de sustentação dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo).

Os rotores giram através das forças de sustentação que permitem liberar mais potência do que aqueles que giram sob o efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento. Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento. Tais rotores podem ser constituídos de uma pá e contrapeso, duas pás, três pás ou múltiplas pás.

Os rotores mais utilizados para geração de energia elétrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás.

Rotores de 3 pás são os mais comuns, pois constituem um bom compromisso entre coeficiente de potência, custo e velocidade de rotação, bem como uma melhor estética comparada às turbinas de 2 pás. Apesar dos rotores com 2 pás serem mais eficientes, são mais instáveis e propensos a turbulências, trazendo risco a sua estrutura, o que não acontece nos rotores de 3 pás que são muito mais estáveis, barateando seu custo e possibilitando a construção de aerogeradores de mais de 100 metros de altura e com capacidade de geração de energia que pode chegar a 5 MW (megawatts). Seu pico de geração de energia é atingido com ventos fortes e sua eficiência pode passar dos 45%.

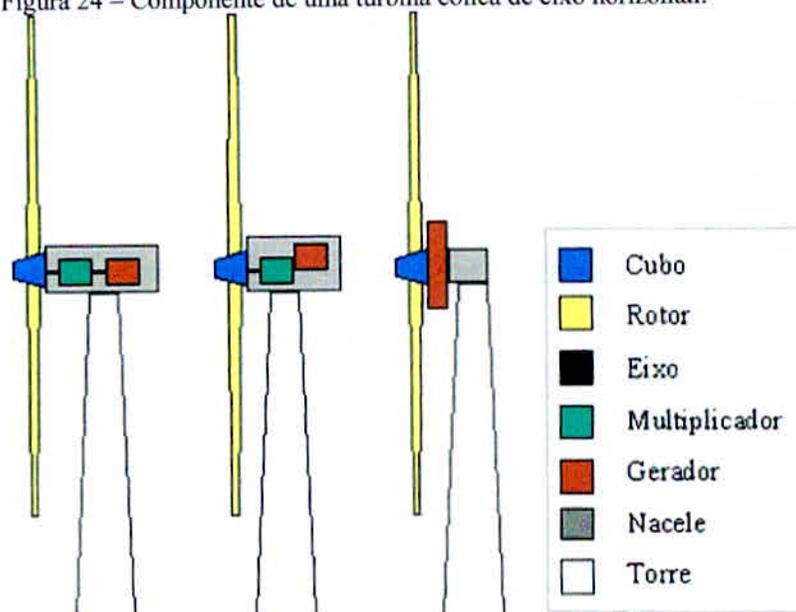
Rotores multipás são mais utilizados para bombeamento de água de poços artesianos, mas nada impede que sejam utilizados para geração de energia elétrica. Impulsionados tanto por força de arrasto como por força de sustentação, esses rotores têm seu pico de eficiência em ventos fracos, com uma eficiência de 30% (ENERGIA EÓLICA, 2013, p. 1).

Aerogeradores de eixo horizontal são os mais utilizados porque o seu rendimento aerodinâmico é superior aos de eixo vertical e estão menos expostos aos esforços mecânicos, compensando seu maior custo (CRESESB, 2013).

Existem duas categorias de aerogeradores de eixo horizontal:

- Frontais (“upwind”): o vento sopra pela parte frontal. As pás são rígidas e o rotor é orientado segundo a direção do vento através de um dispositivo motor.
- Retaguarda (“downwind”): o vento sopra pela retaguarda das pás. O rotor é flexível e auto orientável.

Figura 24 – Componente de uma turbina eólica de eixo horizontal.



Fonte: CRESESB, 2013

8.1.1.2 Rotores de Eixo Vertical

Os rotores de eixo vertical não necessitam de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, reduzindo a sua complexidade de projeto e os esforços devidos às forças de Coriolis. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (lift) e por forças de arrasto (drag). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são Darrieus, Savonius e turbinas com torre de vórtices (PORTAL ENERGIA, 2013).

Os rotores do tipo Darrieus são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical.

Tendem a ser mais seguros, mais fáceis de construir, podem ser montados mais perto do solo e lidam muito melhor com condições de turbulência. Possuem torres baixas, entre 0,1 e 0,5 vezes a altura do próprio rotor, o que permite a colocação de todo o dispositivo de conversão de energia (gerador, caixa de velocidades, e outros equipamentos) na base do aproveitamento, o que facilita as operações de manutenção (ENERGIA EÓLICA, 2013, p. 1).

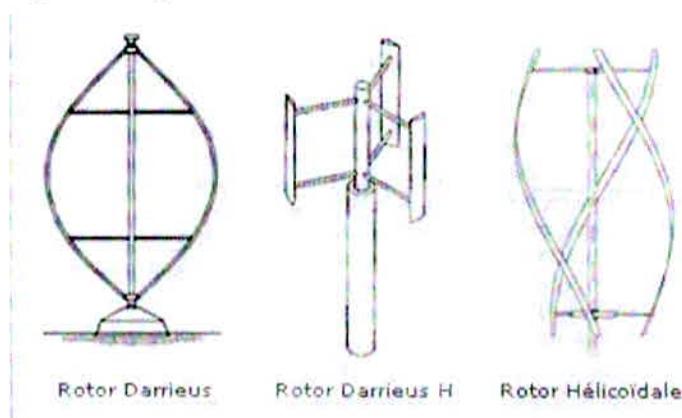
Este tipo de aerogerador não é necessário o dispositivo de orientação da turbina face ao vento, como nos aerogeradores de eixo horizontal. Possuem também uma velocidade de arranque mais baixa do que a dos aerogeradores de eixo horizontal, o que lhes dá vantagem em condições de vento reduzido.

Sua eficiência é baixa em comparação aos rotores de eixo horizontal, devido ao vento junto ao solo possuir uma fraca intensidade, implicando em um menor rendimento para este tipo de aerogerador e a torre fica sujeita a elevados esforços mecânicos.

Indicado para meios urbanos por serem silenciosos, aproveita o vento mesmo que a direção deste não seja constante e haja a formação de turbilhões, o que acontece frequentemente em áreas com edifícios, árvores e outros obstáculos.

Os rotores de eixo vertical possuem um custo menor em relação aos de eixo horizontal, devido o gerador não girar seguindo a direção do vento, apenas o rotor gira enquanto o gerador fica fixo (CRESESB, 2013).

Figura 26 – Tipos de rotores



Fonte: ECOSOURCS, 2013

8.1.2 Transmissão e Caixa Multiplicadora

A transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até o gerador. Ela é composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos. O projeto tradicional de uma turbina eólica consiste em colocar a caixa de transmissão mecânica entre o rotor e o gerador, de forma a adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais. A velocidade angular dos rotores varia na faixa de 20 a 150 RPM, devido às restrições de velocidade na ponta da pá. Entretanto, geradores (sobretudo geradores síncronos) trabalham a rotações muito mais elevadas, entre 1200 a 1800 RPM, tornando necessária a instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos (ENERGIA EÓLICA, 2013, p. 1).

Alguns fabricantes já desenvolveram aerogeradores sem a caixa multiplicadora e abandonaram a forma tradicional de construir turbinas eólicas. Assim, ao invés de utilizarem a caixa de engrenagens com alta relação de transmissão, utilizam geradores multipolos, de baixa velocidade e grandes dimensões (CRESESB, 2013).

8.1.3 Mecanismos de Controle

Fazem a orientação do rotor, ao controle de velocidade, ao controle de carga, entre outros. Pela variedade de controles, existe uma enorme variedade de mecanismos que podem ser mecânicos (velocidade, passo, freio), aerodinâmicos (posicionamento do rotor) ou eletrônicos (controle da carga) (ENERGIA EÓLICA, 2013).

Os aerogeradores utilizam dois diferentes princípios de controle para limitar a extração de potência a potência nominal do aerogerador. São chamados de controle estol (stall) e controle de passo (pitch). No passado houve uma grande utilização do controle do stol simples pelos aerogeradores. Com o aumento do tamanho das máquinas, houve a necessidade dos fabricantes optarem pelo sistema de controle de passo, por oferecer uma maior flexibilidade na operação das turbinas eólicas (CRESESB, 2013).

8.1.4 Gerador

A transformação da energia mecânica de rotação em energia elétrica, através de equipamentos de conversão eletromecânica, é um problema tecnologicamente dominado, encontrando-se vários fabricantes de geradores disponíveis no mercado.

Entretanto, a integração de geradores a sistemas de conversão eólica constituísse em um desafio, que envolve principalmente:

- a) Variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);
- b) Variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- c) Exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida.

Atualmente, existem várias alternativas de configurações de geradores, sendo que cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens, devendo ser analisadas com cuidado na incorporação a sistemas de energia eólica (UNIFEI, 2013).

8.1.5 Torre

As torres fazem a sustentação e o posicionamento do rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Em geral, as torres são fabricadas de metal (treliça ou tubular) ou de concreto, podendo ser ou não sustentadas por cabos tensores (CRESESB, 2013).

8.1.6 Sistema de Armazenamento de Energia

O vento torna-se inconstante devido a mudanças do tempo, devido a esta ocorrência, torna-se necessário a utilização de um sistema de armazenamento de energia que garanta o fornecimento adequado à demanda.

Ocorrendo uma maior produção de energia devido às condições climáticas e caracterizando em uma demanda maior, faz-se o armazenamento da produção excedente. O armazenamento da energia excedente produzida é feita através de baterias.

Para os casos em que a energia eólica é utilizada para complementar a produção de energia convencional, a energia gerada é injetada diretamente na rede elétrica, não sendo necessário o armazenamento de energia, bastando que o sistema elétrico convencional de base esteja dimensionado para atender à demanda durante os períodos de calmaria.

Quando a energia eólica é utilizada como fonte primária de energia, uma forma de armazenamento se faz necessária para adaptar o perfil aleatório de produção energética ao perfil de consumo, guardando o excesso de energia durante os períodos de ventos de alta velocidade, para usá-la quando o consumo não puder ser atendido por insuficiência de vento (CERPCH – Centro nacional de referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas, 2013).

8.1.7 Acessórios

Segundo o CRESESB (2013, f.1):

Os acessórios englobam todos os itens de apoio necessários ao funcionamento do sistema eólico. Incluem-se transmissões, freios, embreagens, eixos, acoplamentos e mancais que não apresentam nenhum problema tecnológico aos sistemas eólicos.

9 AEROGERADORES

Aerogeradores são máquinas que realizam a conversão da energia cinética que é obtida através dos ventos em energia elétrica (PUC, 2013).

O atual modelo de aerogerador é baseado no mesmo em que foi construído em 1896 pelo Dinamarquês Poul la Cour.

Os primeiros aerogeradores eram compostos por turbinas de eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono entre outros.

Atualmente as turbinas eólicas possuem as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível.

As turbinas eólicas se dividem em dois tipos: As de eixo vertical e as de eixo horizontal, sendo utilizadas as forças de arraste ou a força de sustentação produzida pelo vento para poderem se movimentar. São utilizadas para a geração de energia elétrica ou para o sistema de bombeamento ou até mesmo em outros sistemas mecânicos.

As turbinas eólicas se classificam quanto a sua forma construtiva sendo Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) e Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH), e quanto à potência sendo as de pequeno Porte (até 50 Kw de potência), médio porte (potência de 50 a 1000 Kw) e grande porte (acima de 1 Mw de potência) (LIMA, 2013).

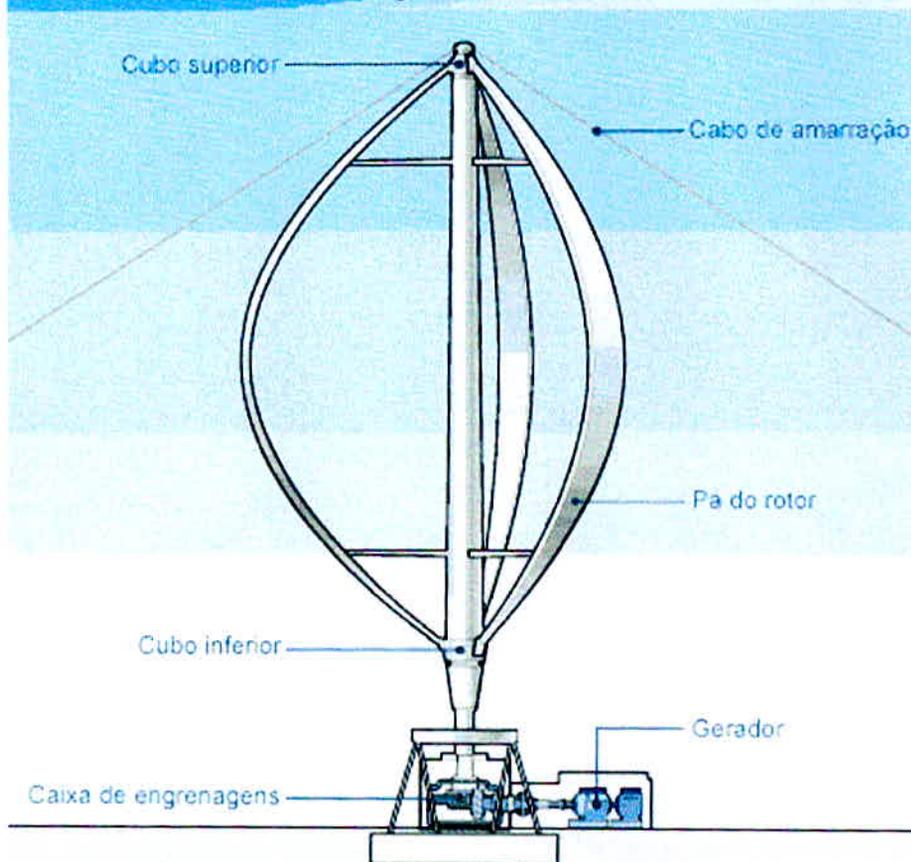
Figura 26 – Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH).



Fonte: ENERGIAS RENOVAVEIS, 2013.

Figura 27 – Turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV).

Como funciona a energia eólica turbina de eixo vertical



Fonte: HOWSTUFFWORKS, 2013

Figura 28: Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande).



Fonte: BRASIL, 2013

As turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH) são as que possuem maior utilização e vendas de mercado e sua principal característica é a necessidade de um mecanismo que possa

permitir o posicionamento do eixo em relação à direção do vento para que possa obter um melhor aproveitamento devido à mudança de direção do vento.

Possuem três componentes básicos sendo a torre, o rotor com as pás e a nacelle. A nacelle abriga o gerador elétrico, caixa multiplicadora de velocidades, eixos, mancais, sistema de freios sistema de controle e mecanismos de giro da turbina.

O rotor normalmente é composto por três pás, e seu controle pode ser passivo ou ativo para que possa operar em uma determinada rotação. O eixo que conduz o torque das pás apresenta uma velocidade de rotação baixa, devido a este fator há a necessidade de aumentar a rotação utilizando um multiplicador de velocidades de mecanismo. Após o multiplicador é conectado ao gerador elétrico que transforma a energia mecânica em elétrica.

O gerador elétrico pode ser assíncrono (indução) adequado para trabalhar com rotação constante ou gerador síncrono utilizado em sistemas com rotação variável.

As turbinas possuem um sistema de controle que possibilitam a melhora e aumento de ganhos de energia posicionando o rotor conforme a variação do vento.

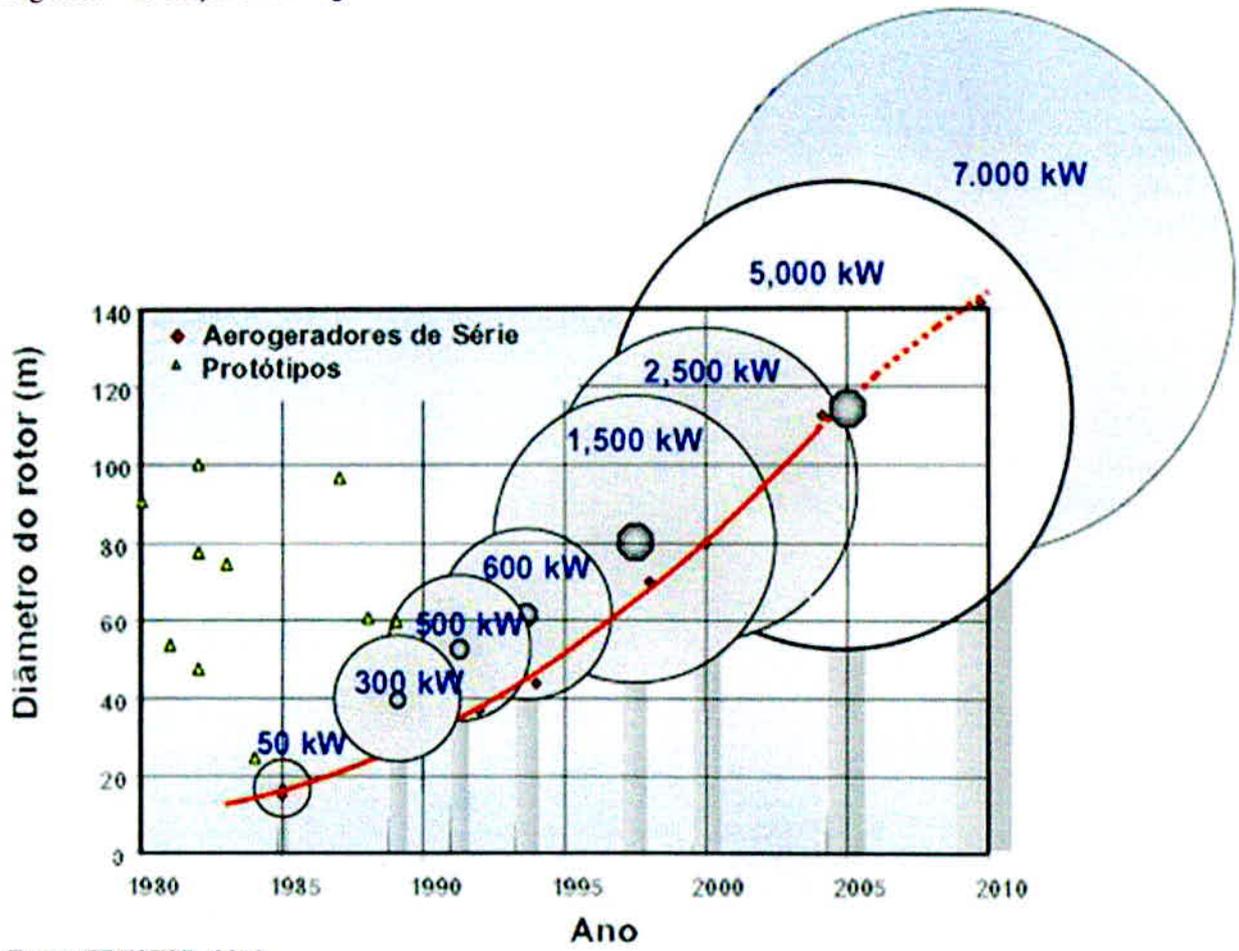
As turbinas eólicas possuem diversos tipos de comando que possibilitam a frenagem quando a velocidade dos ventos forem elevadas (LIMA, 2013).

9.1 A evolução dos aerogeradores de grande porte

O comércio de aerogeradores no mundo se desenvolveu rapidamente em tecnologia e tamanhos durante os últimos anos. A figura 30 mostra o desenvolvimento do tamanho e da potência de aerogeradores desde 1985.

A aerodinâmica não é a única consideração de projeto em jogo na criação de uma turbina eólica eficaz. O tamanho importa: quanto maiores as 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 interrompem o fluxo do vento). Os cientistas estimam um aumento de 12% na velocidade do vento cada vez que se dobra a elevação (FIEC, 2013 p. 1).

Figura 29 - Evolução dos aerogeradores desde 1985 até 2005.



Fonte: CRESESB, 2013

10 APLICAÇÃO DO SISTEMA EÓLICO

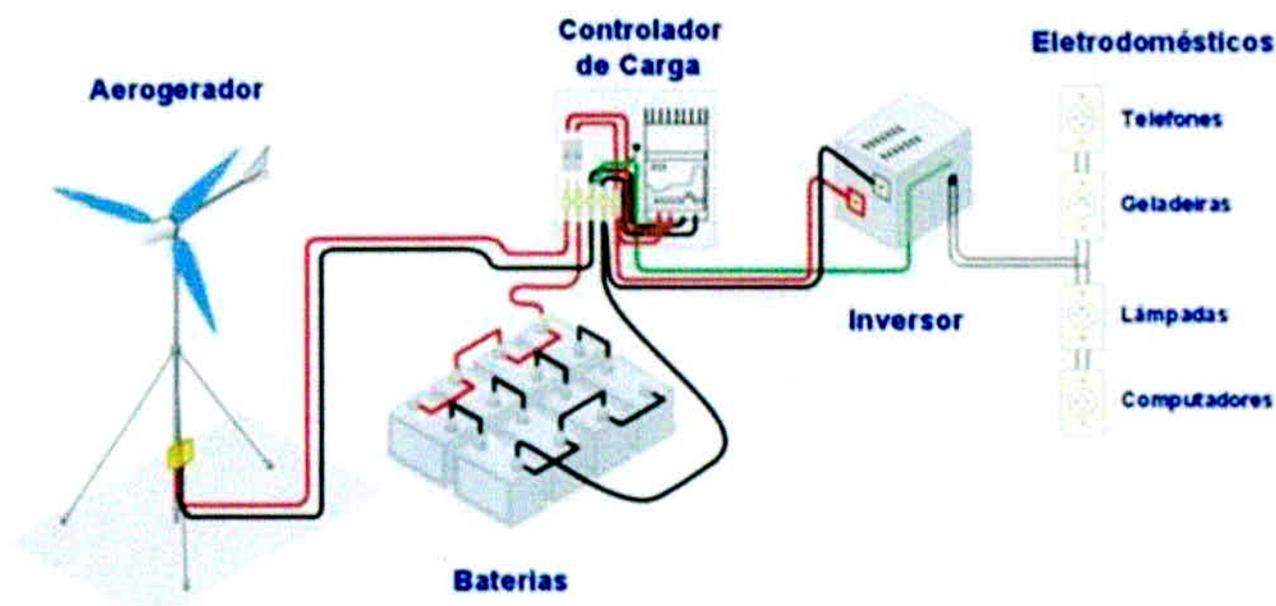
Quanto às aplicações para produção de eletricidade, um sistema eólico pode ser classificado conforme abaixo.

10.1 Sistemas independentes ou isolados

São sistemas que normalmente utilizam alguma forma de armazenamento podendo ser baterias para utilização de aparelhos elétricos ou armazenamento de água para posterior utilização. São de pequeno porte (até 80 Kw) e possuem custos mais elevados devido ao sistema de armazenamento. (REIS, 2011 p. 247).

Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga tem como principal objetivo não deixar que haja danos ao sistema de bateria por sobrecargas ou descargas profundas. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um inversor. Este inversor pode ser de estado sólido (eletrônico) ou rotativo (mecânico) (CRESESB, 2013).

Figura 30 - Configuração de um sistema eólico isolado.



Fonte: CRESESB, 2013

10.2 Sistemas híbridos (de apoio)

São sistemas que apresentam mais de uma fonte de energia, utilizando várias formas para gerar energia, buscando a maior eficiência no sistema. Utilizam turbinas eólicas, geradores diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras.

Empregados em sistemas de médio porte para que possam atender um maior número de usuários. Devido ao trabalho com cargas em corrente alternada, o sistema híbrido precisa de um inversor. Devido à grande complexidade de arranjos e multiplicidade de opções, a forma de otimização do sistema torna-se um estudo particular a cada caso (CRESESB, 2013).

São aqueles em que uma turbina eólica opera em paralelo com uma fonte de energia firme (na maioria grupo gerador diesel), com o objetivo principal de economizar combustível. Também são utilizados em conjunto com módulos fotovoltaicos. Os sistemas híbridos normalmente são empregados em sistemas de pequeno e médio porte destinados a atender um maior número de usuários (REIS, 2011 p. 247).

Figura 31 – Configuração de um sistema híbrido solar-eólico-diesel.



Fonte: CRESESB, 2013

10.3 Sistemas interligados à rede

Estes tipos de sistemas não necessitam de um sistema de armazenamento, devido a toda a sua geração de energia estar ligada diretamente à rede elétrica. Complementam diretamente ao sistema elétrica ao qual se encontram interligados.

Suas vantagens são: redução de perdas, o custo evitado de expansão de rede e a geração na hora de ponta quando o regime dos ventos coincide com o pico da curva de carga.

Sistemas de grande porte interligados à rede de distribuição de duas formas: diretamente, através de geradores de indução ou síncrono, ou indiretamente, através de inversores acoplados aos geradores de corrente contínua. (REIS, 2011 p. 248).

11 MEIO AMBIENTE

A queima de combustíveis fósseis produz dióxido de carbono (CO₂), contribuindo para o aquecimento global. A energia eólica é limpa, não advém da queima de fósseis, não emitem poluentes. Constitui-se, portanto, numa alternativa complementar às outras fontes.

A usina eólica apresenta, ainda, a vantagem de não exigir a desapropriação de grandes áreas, com deslocamentos populacionais, além de preservar os espaços utilizados pela agricultura.

A energia eólica é, se não a solução definitiva para as ameaças de mudanças climáticas, um fator atenuante, conforme o relatório Wind Force 12, elaborado pelo Greenpeace e o Conselho Global de Energia Eólica.

Esse relatório demonstra que não há barreiras técnicas ou econômicas para o suprimento de 12% das necessidades globais de energia, a partir de uma matriz eólica, até o ano 2020. A utilização dessa alternativa é ferramenta apreciável, na corrida para diminuir em 12% o efeito estufa causado pelas emissões de gás (GWEC, 2013).

11.1 Recursos Energéticos e o Meio Ambiente

Recursos energéticos são de importância vital para o ser humano. Cientistas calculam que o Sol envia para a Terra energia equivalente a cerca de 10 mil vezes o consumo mundial de energia bruta. Somente as atividades vulcânicas não derivam da energia solar.

Os recursos energéticos são divididos em fontes primárias e secundárias. As primárias são os recursos energéticos provindos da natureza, são subdivididas em duas categorias: renováveis e não renováveis.

As renováveis, que além do Sol, são originadas de hidroelétricas, biomassa, ventos (eólica), marés, etc. Petróleo, carvão mineral e gás natural são fontes consideradas não renováveis, ou fósseis.

As fontes que são denominadas de energia secundárias são as que chegam até o usuário final, como eletricidade, gasolina, álcool, etc. Desta forma, uma mesma fonte de energia secundária pode ser obtida de modo renovável ou não renovável (fóssil).

A diferença entre a renovável e a fóssil é que a renovável significa sempre e a fóssil nunca mais (DOS SANTOS, 2006).

A constante preocupação com o aquecimento global e mudanças climáticas provocadas por emissões de Co₂, devido ao uso de fontes de energia sujas como a fóssil, a

eficiência energética é uma forma muito mais rápida e eficaz de se diminuir os impactos causados no meio ambiente (AMBIENTE-ENERGIA, 2013).

11.2 Impactos Socioambientais

A instalação de uma usina eólica dispõe de várias vantagens quando comparada a outras fontes energéticas, como baixos impactos sociais e ambientais. A produção de energia elétrica através dos ventos não implica em emissões de gases na atmosfera, não produz resíduos, não provoca o deslocamento de populações, não há alagamentos de áreas, cidades, florestas, reduz o risco gerado pela sazonalidade hidrológica e não inviabiliza a área ocupada. As pequenas centrais podem suprir pequenas localidades distantes da rede, contribuindo para o processo de universalização do atendimento (DOS SANTOS, 2006).

A geração de energia elétrica por meio de turbinas eólicas constitui uma alternativa para diversos níveis de demanda, sendo considerada a energia mais limpa do planeta, disponível em diversos lugares e em diferentes intensidades, uma boa alternativa às energias não renováveis (PORTAL ENERGIA, 2013).

Apesar de não queimarem combustíveis fósseis e não emitirem poluentes, centrais eólicas não são totalmente desprovidas de impactos ambientais. Entre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos. As turbinas de múltiplas pás são menos eficientes e mais barulhentas que os aerogeradores de hélices de alta velocidade.

A fim de evitar transtornos à população vizinha, o nível de ruído das turbinas deve atender às normas e padrões estabelecidos pela legislação vigente. Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas.

Outro impacto negativo das centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (rádio, televisão etc.). Essas interferências variam muito, segundo o local de instalação da usina e suas especificações técnicas, particularmente o material utilizado na fabricação das pás. Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e relatórios de impactos ambientais (DOS SANTOS, 2006).

Embora a área realmente ocupada pelas turbinas eólica seja pequena, a área total de uma usina eólica é extensa (aproximadamente 20 hectares por MW) devido à necessidade de

uma distância mínima entre as torres, a fim evitar a perturbação causada no escoamento do vento entre uma unidade a outra. Contudo, o local ainda pode ser explorado com outras finalidades, como agricultura e pecuárias.

Pode ocorrer colisão de aves com as pás de devido as suas rotas de migração. Essa causa de mortes de aves, entretanto, pode ser reduzida a um nível tolerável por meio do planejamento do futuro da geração eólica, considerando aspectos de conservação da natureza como evitar a instalação de parques eólicos em áreas importantes de habitat, evitar áreas de corredor de migração, adotar arranjo adequado das turbinas no parque eólico e utilizar sistemas de transmissão subterrâneos (BRASIL, 2013).

12 CONCLUSÃO

Este estudo permite demonstrar a importância da utilização das fontes de energia renovável principalmente a geração de energia eólica, pois a utilização do vento como fonte de matéria prima é praticamente inesgotável, uma vez que dependemos apenas da diferença de temperatura que é provocado pelo sol.

E necessário mudar os paradigmas de utilização das fontes de energia não renováveis, pois é um recurso finito. A busca por melhores estudos, pesquisas e investimentos para novas tecnologias de aproveitamento e utilização de fontes renováveis para redução de preço e conscientização para o meio ambiente. Um exemplo de desperdício de matriz energética não renovável é o próprio petróleo como combustível em usinas termelétricas, pois bem sabemos que este bem de consumo é muito mais necessário nas indústrias farmacêuticas do que apenas gerando energia.

A viabilização de estudos proporcionam avanços tecnológicos que refletem na busca de melhoria e desempenho dos equipamentos, aumento sua capacidade de geração com redução de custos.

Conclui-se também que a utilização de energia eólica traz grandes benefícios para determinadas regiões do país ainda subdesenvolvidas com investimentos, geração de emprego, distribuição de royalties, além de proporcionar a entrada de tecnologia para a população das áreas de abrangência.

REFERÊNCIAS

- A DINÂMICA CLIMÁTICA. Disponível em:
<<http://coceducacao.com.br/ebook/pages/9927.htm>>. Acesso em 23 out. 2013
- AMARANTE, Odilon A. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília, 2001.
p. 44
- Ambiente Energia. **Eficiência** energética e meio ambiente. Disponível em:
<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2011/05/eficiencia-energetica-e-meio-ambiente/11412>>. Acesso em 06 nov. 2013.
- APROVEITAMENTO DE ENERGIA EÓLICA**. Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br> >. Acesso em 31 out. 2013
- BORGES NETO, Manuel Rangel. **Geração de energia elétrica: Fundamento**. São Paulo: Érica, 2011
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia eólica**. 2003. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06Energia_Eolica\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/06Energia_Eolica(3).pdf)>. Acesso em: 25 out. 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Energia Eólica**. 2013. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>>. Acesso em: 29 Out. 2013
- BRASIL. **ONS** – Operador nacional do sistema, 2013. Disponível em:
<http://www.ons.com.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx>. Acesso em: 19 out. 2013
- CERPCH . **Fontes Renováveis Eólica**. Disponível em:
<www.cerpch.unifei.edu.br/eolica>. Acesso em: 25 out. 2013
- CIRCULAÇÃO DOS VENTOS. Disponível em:
<<http://mikajojo.webnode.com.br/news/circula%C3%A7%C3%A3o%20dos%20ventos>>. Acesso em: 17 out. 2013
- CRESESB. **Energia eólica princípios e aplicações**. Disponível em:
<<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 19 out. 2013
- DARRIEUS VERTICAL AXIS WIND TURBINE. Disponível em:
<http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus_vertical_axis_wind_turbine>. Acesso em: 04 nov. 2013
- DOS SANTOS, A. et al. **Projeto de geração de energia eólica**. Energia eólica 2006. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/polari/energiaeolicatcc.pdf>>. Acesso em: 25 out 2013.

EDUCAÇÃO – TIPOS DE ENERGIA. Disponível em:
<<http://www.educacao.cc/ambiental/tipos-de-energias-hidreletrica-eolica-nuclear-solar-termica-etc>>. Acesso em: 25 set. 2013

ENERGIA EÓLICA. Disponível em:
<<http://evolucaoenergiaeolica.wordpress.com>>. Acesso em: 16 out. 2013

ENERGIA EÓLICA. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/item/120>>.
Acesso em: 16 out. 2013

FIEC. Como funciona a energia eólica. 2013. Disponível em:
<<http://www.fiec.org.br>>. Acesso em 31 out. 2013

FIOCRUZ. OS VENTOS. Disponível em:
<<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/ventos.htm>>. Acesso em: 29 out. 2013.

FONTES alternativas de energia. [S.l:s.n],2013. Disponível em:
<<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/fontes-alternativas-de-energia/fontes-alternativas-de-energia.php>> . Acesso em: 14 jun. 2013

GWEC. Global Wind Energy Council. Global Wind 2011 Report. 2012. Disponível em:
<http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2011_lowres.pdf>. Acesso em:
28 out. 2013.

HISTÓRIA e funcionamento da energia eólica no brasil. 2013. Disponível em:
<<http://www.portal-energia.com/historia-e-funcionamento-da-energia-eolica-no-brasil>>.
Acesso em: 18 out. 2013.

LEÃO, Ruth. Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. (Apostila).

LIMA, Taylane Caldas. Análise de viabilidade tecnológica de fabricação de pás de aerogeradores de pequeno porte no Rio Grande do Norte. Energia eólica 2013.
Disponível em: <<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/232/TCC%20-%20Taylane.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2013.

MODESTO, André Marcio. Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. 2011. (Apostila).

MORAES, E. C. Energia eólica no Brasil. 2004. Disponível em:
<<http://www.gabeira.com.br>>. Acesso em: 05 nov. 2013.

MUNDO DA EDUCAÇÃO. A história da eletricidade. Disponível em:
<<http://www.mundoeducacao.com/fisica/a-historia-eletricidade.htm>>. Acesso em 26 out. 2013.

PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em:
<<http://www.energiasrenovaveis.com>>. Acesso em 17 out. 2013.

PUC. **Centro de energia eólica**. Disponível em:

<<http://www.pucrs.br/ce-eolica/faq.php>>. Acesso em 05 nov. 2013

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica**. 2 ed. ver. e atual. São Paulo: Manole, 2011.

SENAI. **Geração e distribuição de energia elétrica: Eletrotécnica: Teoria**. São Paulo, SP, 1990. (Apostila).

STEPHAN, J., **Calculation of Different Generator Systems for Wind Turbines with Particular**. Tudo sobre aerogeradores. 2013. Disponível em:

<<http://www.aerogeradores.org>>. Acesso em: 04 nov. 2013.

TIO SAM – Enciclopedia. Disponível em:

<<http://www.tiosam.com/enciclopedia>>. Acesso em: 29 out. 2013.

UNESP. **Energia Eólica**. Disponível em:

<www.dee.feis.unesp.br/usinaeoletrica>. Acesso em: 25 out. 2013

UNIFEI. **Fontes Renováveis** – Energia Eólica. Disponível em:

<<http://www.cerpch.unifei.edu.br/eolica.php>> . Acesso em: 16 out. 2013

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e Fontes Alternativas**. São Paulo: Hemus, 1981.