



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica



**ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UM  
AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE**  
Relatório de Estágio

**RÚBIA RAFAELA FERREIRA RIBEIRO**

CAMPINA GRANDE, PB  
FEVEREIRO, 2011

**Rúbia Rafaela Ferreira Ribeiro**

**ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UM  
AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE**

Relatório de Estágio apresentado a banca examinadora da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do título de graduado em Engenharia Elétrica.

**Orientador:** Prof. Dr. Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa

Campina Grande, PB  
Fevereiro, 2011

**ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA PARA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UM  
AEROGERADOR DE PEQUENO PORTE**

Rúbia Rafaela Ferreira Ribeiro

Aprovada em \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

-----  
Orientador

-----  
Examinador

Campina Grande, PB  
Fevereiro, 2011

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, expressão maior de sabedoria, que me concedeu o dom da vida e me permitiu chegar até aqui.

A **Minha Mãe** e ao **Meu Pai**, maiores incentivadores da minha busca pelo conhecimento, a quem devo tudo o que sou e conquistei.

Aos meus **Irmãos**, meus eternos companheiros.

Ao meu **Orientador**, Prof. Maurício Beltrão de Rossiter Corrêa, pela paciência e dedicação.

A toda a equipe do **LABDES**, pela receptividade e apoio durante a execução esta atividade.

A Coordenação do **Curso de Engenharia Elétrica** pela atenção.

## **APRESENTAÇÃO**

O estágio supervisionado é de fundamental importância para aplicação do conhecimento teórico obtido na graduação, beneficiando assim o crescimento profissional do acadêmico, além de ser requisito obrigatório para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

O presente relatório de estágio descreve de forma sintética as atividades atribuídas e desenvolvidas pelo aluno, além de apresentar os conhecimentos adquiridos durante a realização do estágio.

O estágio curricular supervisionado foi realizado no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sendo supervisionado pelo professor Dr. Mauricio Beltrão de Rossiter Corrêa. Tendo carga horária total de 120 horas, o seu foco principal foi a especificação técnica para instalação elétrica de um aerogerador de pequeno porte.

## SUMÁRIO

<b>1. A EMPRESA</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUÇÃO</b>	<b>2</b>
<b>3. A ENERGIA EÓLICA</b>	<b>3</b>
3.1. Histórico	3
3.2. O Recurso Eólico	5
3.3. Princípios e Tecnologia	6
3.4. Tecnologias de Aproveitamento	8
3.5. Componentes de um Aerogerador de Eixo Horizontal de Pequeno Porte	11
3.5.1. Rotor Eólico	12
3.5.2. Alternador	13
3.5.3. Sistema de Controle	15
3.5.3.1. Sistema de Direcionamento	15
3.5.3.2. Sistema de Segurança	15
3.5.3.3. Controlador de Carga	16
3.6. Componentes de um Sistema Eólico de Geração de Energia de Pequeno Porte	17
3.6.1. A Torre	17
3.6.2. A Bateria	18
3.6.3. O Inversor	19
3.7. Configurações Básicas de Sistemas Eólicos	20
3.7.1. Sistemas Isolados	20
3.7.2. Sistemas Híbridos	22
3.7.3. Sistemas Interligados à Rede	23
<b>4. O ESTÁGIO</b>	<b>24</b>
4.1. Preliminares do Projeto Básico	24
4.1.1. Disponibilidade do Recurso Eólico	24
4.1.2. Localização	25
4.2. Especificações Técnicas do Aerogerador	26

4.2.1. Componentes do VERNE 555	27
4.3. Especificações para Elaboração do Projeto Básico de Instalação	29
4.3.1. Escolha e Adequação do Local	29
4.3.2. Montagem da Torre	29
4.3.3. Projeto de Instalação Elétrica do Aerogerador	30
4.4. Estimativa de Custo	36
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>38</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>39</b>

## **1. A EMPRESA**

O Laboratório de Referência em Dessalinização – LABDES do Departamento de Engenharia Química, implantado no âmbito do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande é um laboratório multidisciplinar que atua especialmente em pesquisas e projetos nas áreas de recursos regionais e meio ambiente. O LABDES é coordenado pelo Professor Kepler Borges França e conta com uma área coberta de 450 m<sup>2</sup>, distribuídas entre salas, auditório com 30 lugares, laboratórios, oficina, etc.

Dentre as linhas de pesquisa desenvolvidas neste laboratório destaca-se o estudo de fontes renováveis de energia aplicadas ao acionamento de sistemas de dessalinização via osmose inversa.

Consideradas as potencialidades das regiões Norte e Nordeste brasileiras, onde são desenvolvidas e aplicadas pesquisas realizadas neste laboratório, é dada ênfase ao estudo de fontes renováveis de energia do tipo solar e eólica.

As primeiras pesquisas voltadas ao uso de sistemas de geração solar fotovoltaica desenvolvidas pelo LABDES surgiram ainda na década de noventa e encontram-se bastante consolidadas. Os estudos realizados ao longo de mais de dez anos mostraram a efetiva aplicabilidade dos sistemas fotovoltaicos associados aos sistemas de dessalinização.

Mais recentemente o LABDES vem buscando estudar e desenvolver pesquisas voltadas ao uso de sistemas de geração de energia eólica. Para tanto espera-se através deste estágio iniciar os estudos referentes ao uso de fontes eólicas, buscando gerar um documento que represente o primeiro passo para a utilização de sistemas de geração de energia eólica no âmbito deste laboratório de pesquisa.

### **Dados da Empresa**

Laboratório de Referência em Dessalinização - LABDES

Endereço: Rua Aprígio Veloso, 882. Bairro Universitário. Campina Grande, PB.

Telefone: 83 2101 1116

Email: labdes@labdes.ufcg.edu.br

## 2. INTRODUÇÃO

Temas relacionados a recursos regionais e meio ambiente têm despertado bastante interesse, especialmente após os sinais de exaustão que o planeta vêm mostrando. Diante disso, pesquisas de desenvolvimento tecnológico voltadas a área de geração de energia não-convencional, como a eólica, constitui uma alternativa bastante promissora.

Dentro deste contexto e considerando a crescente necessidade do uso de fontes alternativas de energia buscamos aplicar os conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica para estudar a possibilidade de instalação de uma turbina eólica no campus da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), mais precisamente no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES).

As pesquisas de desenvolvimento tecnológico buscam aliar a eficiência energética ao desenvolvimento de tecnologias limpas, ecologicamente sustentáveis, que visam o uso de energia barata e limpa para permitir o crescimento econômico sem prejudicar o meio ambiente, ou seja, busca-se conciliar um futuro sustentável com o aumento da produção de energia.

Como forma de promover o desenvolvimento econômico e garantir o suprimento energético é de fundamental importância por parte de profissionais da engenharia elétrica o conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, das tecnologias e sistemas de aproveitamento de energia.

Tendo em vista toda a evolução da geração de energia eólica e a necessidade do uso de fontes alternativas de energia o estágio realizado teve como objetivo elaborar a especificação técnica para instalação elétrica de uma turbina eólica visando sua utilização como fonte de energia elétrica para o acionamento de sistemas de purificação de água, processos de dessalinização e/ou produção de hidrogênio.

### **3. A ENERGIA EÓLICA**

#### **3.1. Histórico**

Com o avanço da agricultura, o homem necessitava cada vez mais de ferramentas que o auxiliassem nas diversas etapas do trabalho. Tarefas como a moagem dos grãos e o bombeamento de água exigiam cada vez mais esforço braçal e animal. Isso levou ao desenvolvimento de uma forma primitiva de moinho de vento, utilizada no beneficiamento dos produtos agrícolas, que constava de um eixo vertical acionado por uma longa haste presa a ela, movida por homens ou animais caminhado numa gaiola circular. Existia também outra tecnologia utilizada para o beneficiamento da agricultura onde uma gaiola cilíndrica era conectada a um eixo horizontal e a força motriz (homens ou animais) caminhava no seu interior (CRESESB, 2007).

O primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 A.C.. Esse tipo de moinho de eixo vertical veio a se espalhar pelo mundo islâmico sendo utilizado por vários séculos. Acredita-se que antes da invenção dos cata-ventos na Pérsia, a China (por volta de 2000 A.C.) e o Império Babilônico (por volta 1700 A.C) também utilizavam cata-ventos rústicos para irrigação (SHEFHERD, 1994).

A energia eólica como fonte alternativa de energia tem mostrado, ao longo do século XX, a sua importância no mercado energético mundial. Historicamente, a energia eólica tem ajudado o homem em diversas atividades, já desde épocas remotas, com a utilização de máquinas simples e rústicas para o bombeamento de água e moagem de grãos. No final do século XIX e todo o século XX, a utilização dos ventos para a geração de energia elétrica foi marcada por grandes desafios em pesquisa e desenvolvimento. Vários países investiram em diversos protótipos de turbinas eólicas para serem conectadas à rede para o fornecimento de energia elétrica (DUTRA, 2007).

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Em 1991, a Associação Européia de Energia Eólica

estabeleceu como metas a instalação de 4.000 MW de energia eólica na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até o ano 2005. Essas e outras metas estão sendo cumpridas muito antes do esperado (4.000 MW em 1996, 11.500 MW em 2001). As metas atuais são de 40.000 MW na Europa até 2010. Nos Estados Unidos, o parque eólico existente é da ordem de 2.500 MW e prevê-se uma instalação anual em torno de 1.500 MW para os próximos anos (EC, 1999).

O Brasil, no contexto mundial do desenvolvimento da energia eólica, apresenta-se de forma ainda tímida, visto o seu grande potencial. Todo o contexto político do setor elétrico brasileiro possibilitou que, até meados de 2003, aproximadamente 28 MW de projetos eólicos estivessem em operação, dos quais, 26,5 em produção comercial (ANEEL, 2005). Quanto ao potencial brasileiro de energia eólica, o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro publicado pelo CEPEL em 2001 identifica localidades de grande potencial para o uso de energia eólica. Grandes regiões tais como o litoral nordestino, apresentam velocidades médias anuais superiores a 7 m/s (medidas feita a 50m de altura) possibilitando que projetos eólicos se tornem tecnicamente viáveis e economicamente mais atrativos para sua implementação em grande escala, principalmente aqueles conectados à rede elétrica (SÁ, 2001).

A questão do uso da energia eólica no Brasil ganhou um rumo novo a partir da reforma do setor elétrico. Essa reforma, ao introduzir novos elementos, como a racionalidade privada e a “livre concorrência” criou um novo cenário que pode favorecer novos investimentos em fontes alternativas, principalmente na figura do Produtor Independente e do Auto Produtor de Energia. Dentro desse novo cenário do setor elétrico no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tem desenvolvido um importante papel na utilização das fontes alternativas de energia (DUTRA, 2001).

Recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.) têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. Espera-se, portanto, que a energia eólica venha a ser muito mais competitiva economicamente na próxima década (ANEEL, 2002).

### 3.2. O Recurso Eólico

O vento – massa de ar em movimento – tem sua origem na associação entre a energia solar e a rotação planetária. Todos os planetas envoltos por gases em nosso sistema solar demonstram a existência de distintas formas de circulação atmosférica e apresentam ventos em suas superfícies. Trata-se de um mecanismo solar-planetário permanente; sua duração é mensurável na escala de bilhões de anos. O vento é considerado fonte renovável de energia (MME, 2001).

A energia eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. 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 é convertida em energia cinética dos ventos. Este percentual, embora pareça pequeno, representa centena de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo (CRESESB, 2007).

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 (DUTRA, 2007).

Tendo em vista que a velocidade do vento pode variar significativamente em curtas distâncias (algumas centenas de metros), os procedimentos para avaliar o local, no qual se deseja instalar turbinas eólicas, 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.

As informações necessárias para o levantamento das condições regionais podem ser obtidas a partir de mapas topográficos e de uma visita ao local de interesse para avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos. O uso de imagens aéreas e dados de satélite também contribuem para uma análise mais acurada (CRESEB, 2007).

### 3.3. Princípios e Tecnologia

Uma turbina eólica capta uma parte da energia cinética do vento que passa através da área varrida pelo rotor e a transforma em energia elétrica.

Para se determinar a potência elétrica produzida por uma turbina eólica, devemos inicialmente, considerar a energia cinética  $E$  contida em uma massa de ar  $m$  em movimento, que flui de modo permanente, homogênea e turbulenta, com velocidade  $v$ , perpendicular ao plano do rotor:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{Eq.(3.1)}$$

O fluxo de massa de ar,  $\dot{m}$ , que passa por uma área,  $A$ , que equivale a área de varredura das pás em rotação, pode ser representada por:

$$\dot{m} = A\rho v \quad \text{Eq.(3.2)}$$

onde  $\rho$  é a massa específica do ar (ALDABÓ, 2003).

Derivando a equação (3.1) em relação ao tempo obtém-se a equação da potência total disponível,  $P_d$ , no fluxo, que é equivalente à pressão dinâmica exercida pelo escoamento na área do rotor.

$$P_d = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v^2 + \frac{1}{2} m \frac{dv^2}{dt} \quad \text{Eq.(3.3)}$$

A equação (3.3) pode ser escrita da seguinte forma:

$$P_d = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 + \frac{1}{2} m 2v \frac{dv}{dt} \quad \text{Eq.(3.4)}$$

Substituindo (3.2) na equação (3.4) e considerando o escoamento em regime permanente tem-se:

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad \text{Eq.(3.5)}$$

Considerando-se o coeficiente de potência  $C_p$  (rendimento aerodinâmico) que indica a fração da potencia eólica disponível  $P_d$  convertida em potência mecânica no eixo do rotor, pode-se escrever a equação da potência eólica aproveitável,  $P_a$ , como:

$$P_a = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad \text{Eq.(3.6)}$$

Para o cálculo da potência elétrica de saída,  $P_e$ , da turbina eólica, além das perdas aerodinâmicas, deve-se considerar também as perdas do gerador elétrico, dos acoplamentos entre eixos, da caixa multiplicadora de velocidades (quando utilizadas) e dos contatos elétricos. Essas perdas são representadas pela eficiência,  $\eta$ , que apresenta valores em torno de 0.7 e 0.9 (COSTA, 2001). A expressão final da potência elétrica produzida por uma turbina eólica é dada por:

$$P_e = \frac{1}{2} \eta C_p \rho A v^3 \quad \text{Eq.(3.7)}$$

A velocidade angular do rotor é inversamente proporcional ao seu diâmetro  $D$ . Usualmente, a rotação é otimizada no projeto, para minimizar a emissão de ruído aerodinâmico pelas pás. Uma fórmula prática para a avaliação da rotação nominal de operação de uma turbina eólica é:

$$rpm = \frac{1150}{D} \quad \text{Eq.(3.8)}$$

À medida que a tecnologia propicia dimensões maiores para as turbinas, a rotação reduz-se: os diâmetros de rotores no mercado atual variam entre 40m e 80m, o que resulta em rotações da ordem de 30rpm a 15rpm, respectivamente. As baixas rotações atuais tornam as pás visíveis e evitáveis por pássaros em vôo. Quanto aos níveis de ruído, turbinas eólicas satisfazem os requisitos ambientais mesmo quando instaladas a distâncias da ordem de 300m de áreas residenciais. Esses aspectos contribuem para que a tecnologia eólico-elétrica apresente o mínimo impacto ambiental, entre as fontes de geração na ordem de gigawatts (MME, 2001).

### 3.4. Tecnologias de Aproveitamento

No início da utilização da energia eólica, surgiram turbinas de vários tipos – eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono, etc. (CBEE, 2000).

O aerogerador é um equipamento que tem a capacidade de captar a energia cinética contida nos ventos e transformar em energia elétrica. Com a evolução da tecnologia empregada já existem aerogeradores de grande variedade de tamanhos, sendo assim, o mercado segmentou-se em dois distintos grupos:

- Aerogeradores de Pequeno Porte (Potência: 0.1 KW – 100 KW e Diâmetro: 50 cm – 21m);
- Aerogeradores de Grande Porte (Potência: 100 KW – 4.500 KW e Diâmetro: 21 m – 112 m).

Existem principalmente duas topologias gerais de construção dos captadores eólicos, os de eixo vertical e de eixo horizontal.

Há uma grande discussão entre os defensores dos dois tipos onde são apresentadas vantagens e desvantagens técnicas, mas comercialmente falando os de eixo horizontal tem apresentado grande superioridade aos de eixo vertical, pois apesar de exigirem maior complexidade mecânica, são equipamentos que trabalham com uma rotação mais elevada reduzindo enormemente os custos dos alternadores.

Em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direção do vento, o que reduz a complexidade do projeto e os esforços devido 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. 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 (CRESESB, 2007).



**Figura 3.1: Aerogerador Experimental de Eixo Vertical**

**Fonte: (CRESESB, 2007)**

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns, e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação e forças de arrasto. 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. 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) (DUTRA, 2001).

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. Construtivamente, as pás podem ter as mais variadas formas e empregar os mais variados materiais. Em

geral, utilizam-se pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro reforçada (CRESESB, 2007).

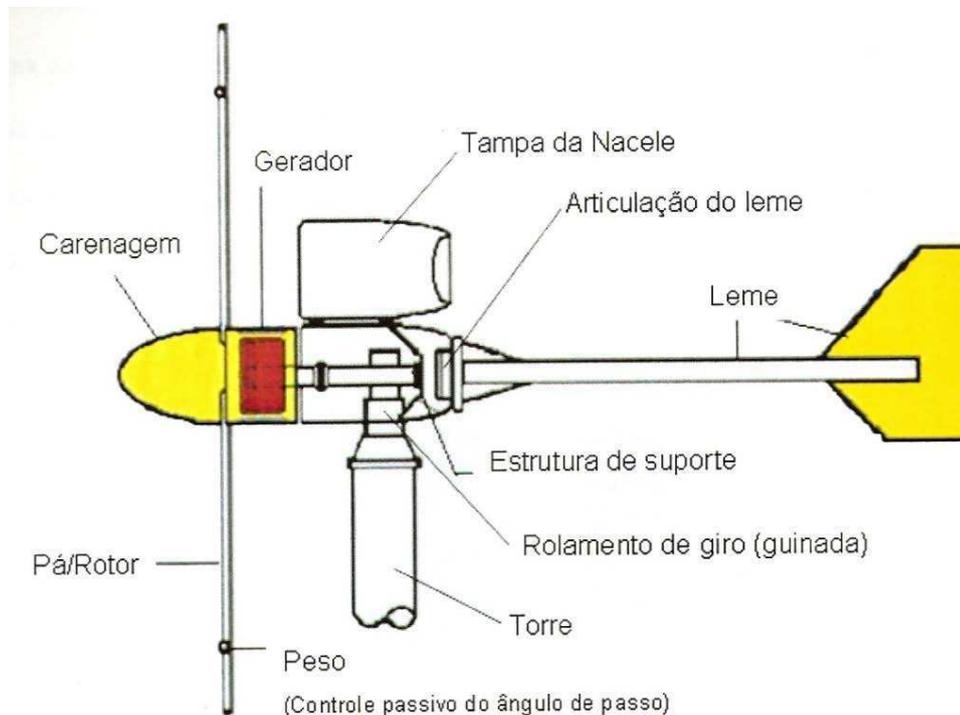


**Figura 3.2: Turbina Eólica de Eixo Horizontal**

**Fonte: (CRESESB, 2007)**

A turbina eólica moderna é uma máquina que capta a energia cinética dos ventos, por meio de um rotor aerodinâmico com duas ou mais pás, e converte, através de um gerador elétrico, para energia elétrica. Além do rotor e do gerador, uma turbina eólica é composta por vários componentes: um sistema de transmissão de torque entre o rotor e o gerador elétrico; um sistema de posicionamento do rotor (leme) para otimizar a captação de energia do vento; um sistema de freio mecânico e/ou aerodinâmico que reduz a rotação da máquina em condições de velocidade de vento extremas ou para possibilitar acesso para manutenção, uma carenagem de proteção da conexão das pás com o cubo do eixo – que também atua para melhorar a eficiência aerodinâmica do rotor, e uma estrutura de suporte para todo o conjunto

de componentes mecânicos e eletromecânicos. Além disso, uma turbina eólica necessita de uma torre alta para posicionar o rotor aerodinâmico adequadamente para captação do vento (LIMA JÚNIOR, 2006). A figura 3.3 mostra as principais partes de uma turbina eólica de pequeno porte.



**Figura 3.3: Componentes de uma Turbina Eólica de Pequeno Porte**

**Fonte: (LIMA JÚNIOR, 2001)**

### 3.5. Componentes de um Aerogerador de Eixo Horizontal de Pequeno Porte

Um aerogerador de pequeno porte e eixo horizontal é formado basicamente de cinco partes:

- Rotor Eólico (Pás): é responsável por transmitir a energia cinética dos ventos para o eixo do aerogerador.
- Alternador: recebe a energia eletromotriz do rotor e converte em energia elétrica.
- Sistema de Direcionamento: responsável pelo alinhamento do rotor em direção ao vento.

- Sistema de Segurança: atua como um sistema de proteção para momentos de ventos muito fortes.
- Controlador de Carga: gerencia a geração de energia.

### 3.5.1. Rotor Eólico

As pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Nos aerogeradores que usam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base para que possa girar, modificando assim seu ângulo de ataque. As pás são fixadas através de flanges em uma estrutura metálica a frente do aerogerador denominada cubo (CRESESB, 2007).

Cada fabricante possui um tipo de construção diferenciada e estas diferenças terminam a potência do equipamento, nível de rotação, nível de ruído e segurança.

#### a. Área x Potência

A potência da máquina está diretamente relacionada ao diâmetro do rotor, pois existe um limite físico para geração de energia em função da área.

#### b. Nível de Ruído

No mercado existem máquinas ruidosas e máquinas silenciosas e o fator determinante para esta característica, além do próprio perfil aerodinâmico utilizado é a rotação em que as pás trabalham.

#### c. Segurança

Os materiais empregados devem ser de boa qualidade para que não só sejam seguros como também tenham uma vida longa de operação. Os materiais largamente utilizados são a fibra de vidro e fibra de carbono.

A maioria dos aerogeradores utiliza três pás, o que tem determinado para que a grande maioria das máquinas utilize esse número é a relação custo x benefício, com um maior número de pás seria possível obter melhores rendimentos mas com um custo mais elevado, já com um menor número de pás (2) a máquina ficaria mais

barata, mas em compensação a sua operação seria menos suave principalmente nas mudanças de direção do vento, onde apresentam uma vibração indesejada.

### **3.5.2. Alternador**

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

Entretanto, a integração de geradores no sistema de conversão eólica constitui-se em um grande problema, que envolve principalmente:

- Variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);
- Variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- Exigência de freqüência e tensão constante na energia final produzida;
- Dificuldade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade).

Atualmente, existem várias alternativas de conjuntos motor-gerador, entre eles: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada. Cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas com cuidado na sua incorporação ao sistema de conversão de energia eólica (CRESESB, 2007).

É fundamental lembrar que este componente irá operar em velocidade variável, em baixa rotação, ao tempo e sujeito a todo tipo de intempéries e deve ser capaz de resistir a estas condições durante anos. Isto requer o desenvolvimento de um alternador específico para geração eólica uma vez que os disponíveis no mercado não requerem este grau de exigência.

Um dos fatores de maior relevância no avanço tecnológico dos pequenos aerogeradores é a utilização dos magnetos permanentes, normalmente o neodímio que devido ao seu alto grau de magnetização viabilizou a geração em baixa rotação.

#### **a. Acoplamento Direto x Multiplicador de Velocidade**

As pás por diversas razões devem trabalhar em baixa rotação e isto força alguns fabricantes a utilizarem multiplicadores de velocidade para compatibilizar a rotação da pá com a rotação exigida pelo alternador. O grande inconveniente desta solução é a perda de rendimento pela transmissão mecânica, e os inevitáveis desgastes com o tempo.

Quase que a totalidade dos pequenos aerogeradores utilizam o acoplamento direto uma vez que este sistema possui maior confiabilidade mecânica e longevidade em comparação com a utilização de multiplicador de velocidade. No entanto, é bom lembrar também que os bons sistemas de multiplicação de velocidade são extremamente caros.

#### **b. Resistências às Condições de Operação**

Poucos equipamentos trabalham em condições tão severas e extremas, mesmo que por alguns minutos quando ocorrem grandes ventanias e também nas condições diárias de chuva, sol, maresia, etc. Sendo assim o alternador deve possuir uma construção simplificada, robusta e ser fabricado com materiais antioxidantes.

Mais uma vez o nível de rotação é importante, pois irá determinar a longevidade dos rolamentos e quanto mais rápido for o equipamento maior será o desgaste e a necessidade de manutenção.

### **c. Início da Geração**

Uma característica única dos alternadores empregados em aerogeradores é a resistência inicial de rotação, os alternadores de fluxo radial (os mais comuns no mercado) têm uma grande resistência de partida o que muitas vezes faz com que o equipamento inicie a rotação e conseqüentemente a geração de energia comum vento muito elevado, tendo conseqüências diretas na geração de energia.

### **3.5.3. Sistema de Controle**

Os mecanismos de controle destinam-se à orientação do rotor, ao controle de velocidade, ao controle de carga, etc. 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) (CRESESB, 2007).

#### **3.5.3.1. Sistema de Direcionamento**

Existem dois tipos de sistema de direcionamento: o *up wind*, o qual possui um leme direcionador que posiciona o rotor a frente da torre e o *down wind*, o qual não possui leme e pela própria ação do vento equilibra o rotor em direção ao vento, mas se posicionando atrás da torre, o que pode ter influência negativa na captação de energia.

#### **3.5.3.2. Sistema de Segurança**

Os aerogeradores devem ser capazes de suportar todo tipo de vento sem que a rotação das pás saiam de controle, isto ocorrendo, o resultado será um barulho extremamente desagradável ou até mesmo um acidente como a quebra das pás.

O sistema mais eficiente e seguro de controle de velocidade é o chamado controle de passo, este sistema consiste no giro das hélices sincronizadamente de

acordo com a velocidade do vento e é utilizado por todas as máquinas de grande porte existentes.

As máquinas de pequeno porte em sua absoluta maioria não possuem este tipo de controle e contornam o problema com sistemas duvidosos de controle de velocidade e o fazem a uma velocidade de vento mais baixa, 12.5 m/s ou 45 Km/h. A escolha por estes sistemas ocorre em geral por questões econômicas e em alguns casos por complexidade técnica ocasionando manutenções freqüentes.

### **3.5.3.3. Controlador de Carga**

O controlador de carga tem como principais objetivos adequar a geração de energia e o seu armazenamento, a interação com o usuário e a proteção das baterias no caso de sistemas que fazem armazenamento de energia.

Dependendo das características da energia gerada por cada alternador é necessário maior ou menor complexidade no acoplamento do aerogerador com as baterias, uma vez que se gera em corrente alternada (AC) e armazena-se em corrente contínua (DC).

- **Interação:** a interação com o usuário se dá através de sinais luminosos que indicam o estado de carga das baterias e componentes que indicam a geração do equipamento. Em alguns casos é disponibilizado uma chave de freio magnético para em caso de manutenção ou em uma emergência.
- **Proteção das Baterias:** a proteção das baterias é o ponto mais importante, pois o controle da quantidade de energia disponível nas baterias pode aumentar ou diminuir o seu tempo de operação. Ele normalmente atua protegendo tanto contra o excesso de carga quanto o excesso de consumo, caso haja uma diminuição do nível de energia.
- **Durabilidade:** por se tratar de um equipamento que muitas vezes não terá assistência permanente deve-se ter em mente sempre a durabilidade do controlador.

### **3.6. Componentes de um Sistema Eólico de Geração de Energia de Pequeno Porte**

Para que um sistema de geração eólico funcione efetivamente, além do aerogerador, que corresponde ao principal elemento do sistema, são necessários outros equipamentos que compõem um sistema básico de geração eólica. Esses elementos são descritos a seguir:

Os componentes básicos dos sistemas de geração de energia eólica compreendem o aerogerador, e os demais equipamentos relativamente convencionais destinados a transformação ou armazenamento da energia elétrica para que esta possa ser utilizada pela carga.

Os sistemas eólicos são compostos por cinco elementos básicos:

- O aerogerador, equipamento de geração de energia;
- A torre, destinada a sustentação do equipamento de geração de energia;
- O controlador de carga, responsável pelo gerenciamento da geração de energia;
- As baterias, componentes de acumulação da energia gerada, e
- O inversor, que transforma a energia do equipamento adequando necessidade da carga.

Considerando que já descrevemos o aerogerador e seus componentes fundamentais, inclusive do controlador de carga, vamos tratar sobre os demais elementos do sistema de geração eólica.

#### **3.6.1. A Torre**

As torres são necessárias para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo do sistema. Inicialmente, as turbinas utilizavam torres de metal treliçado. Com o uso de geradores com potências cada vez maiores, as nacelles passaram a sustentar um peso muito elevado tanto do gerador quanto das pás. Desta forma, para dar maior mobilidade e segurança para sustentar toda a

nacele em alturas cada vez maiores, tem-se utilizado torres de metal tubular ou de concreto que podem ser sustentadas ou não por cabos tensores (CRESESB, 2007).

A torre é também um componente que pode ter grande variabilidade em função das condições locais, de terreno, obstáculos ao vento e disponibilidade de área para instalação. A altura pode variar de 12 até 32 metros. No entanto, experiências comprovam que normalmente uma altura de 15 metros tem uma boa relação custo benefício.

Existem basicamente dois tipos mais usados:

- Estaiada – Possui uma haste central de sustentação onde se lançam cabos de aço que são ancorados por bases que suportam toda a carga de força lateral. Normalmente são as torres economicamente mais viáveis para pequenos aerogeradores, mas necessitam de espaço para sua instalação.
- Autoportante – Pode ser treliçada ou tubular e não há necessidade de estais. Requerem estruturas mais robustas e caras. Este tipo de torre necessita de equipamentos especiais para realização de qualquer eventual manutenção.

### **3.6.2. A Bateria**

As baterias, também denominadas de acumuladores de carga, são conhecidas por ser uma conveniente forma de armazenamento de energia.

A mais simples unidade de operação de uma bateria é a chamada célula eletroquímica. Dependendo do tipo de célula utilizada as baterias podem ser classificadas em recarregáveis e não-recarregáveis.

As células primárias compõem as baterias que podem ser utilizadas uma única vez (não-recarregáveis), as quais são geralmente empregadas como fontes de energia de baixa potência. Já as células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que podem ser carregadas com o auxílio de uma fonte de tensão ou de corrente e reutilizadas várias vezes, utilizadas na maioria das aplicações por longos períodos.

As baterias são importantes para o armazenamento da energia quando a geração for maior que o consumo. Esta energia armazenada será utilizada quando não houver vento apropriado, o que possibilitará um maior aproveitamento do sistema.

É aconselhável a utilização de baterias específicas para este tipo de energia, que são baterias estacionárias ou de descarga profunda, pois como a produção deste tipo de energia é irregular é necessária uma bateria que agüente uma descarga maior sem afetar sua durabilidade. Estas baterias possuem uma durabilidade superior às baterias automotivas.

### **3.6.3. O Inversor**

Os inversores, também chamados de conversores, são elementos cuja finalidade é adaptar as características da corrente gerada à demanda total ou parcial do sistema.

Os inversores usam um mecanismo de chaveamento para alternar o fluxo de corrente entre as direções positiva e negativa. Transistores de potência, retificadores controlados de silício (SCRs) e, mais recentemente, os IGBTs (*Insulated Gats Bipolar Transistor*) são tipicamente usados como chaves semicondutoras.

Em determinadas aplicações que operam em corrente contínua, não é possível fazer coincidir as tensões proporcionadas pelo acumulador com a solicitada por todos os elementos de consumo. Neste caso a melhor solução é a utilização de um conversor de tensão CC-CC.

Em outras aplicações, as quais incluem elementos que trabalham em corrente alternada, é necessário a presença de um inversor que transforme a corrente contínua, proveniente dos aerogeradores, em corrente alternada.

Um inversor caracteriza-se, principalmente, pela tensão de entrada, que deve se adaptar a do gerador, a potência máxima que pode proporcionar e a eficiência. Esta última se define como a relação entre a potência elétrica entregue a carga (potência de saída) e a potência elétrica extraída do gerador (potência de entrada).

Para especificar um inversor, é necessário considerar tanto a tensão de entrada quanto a tensão de saída. Além disso, todas as exigências que a carga fará ao inversor devem ser observadas, não somente em relação à potência, mas também variações de tensão, frequência e forma de onda (CRESESB, 1999).

A eficiência do inversor varia em função da potência consumida pela carga. É necessário conhecer essa variação, sobretudo se a carga em corrente alternada é variável, a fim de que o ponto de operação do equipamento se ajuste o melhor possível a um valor médio especificado. Pode-se considerar a eficiência de 70% da carga como um parâmetro aceitável de eficiência do inversor. Porém, deve-se projetar um inversor visando alcançar eficiência superior a 90%.

Outros aspectos importantes que devem possuir os inversores são a adequada proteção contra curtos-circuitos e sobrecargas.

A escolha do inversor a ser utilizado deve ser feita considerando, obviamente, as características da carga de trabalho, a qual definirá a necessidade de equipamentos mais ou menos complexos.

### **3.7. Configurações Básicas de Sistemas Eólicos**

Um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento (DUTRA, 2001).

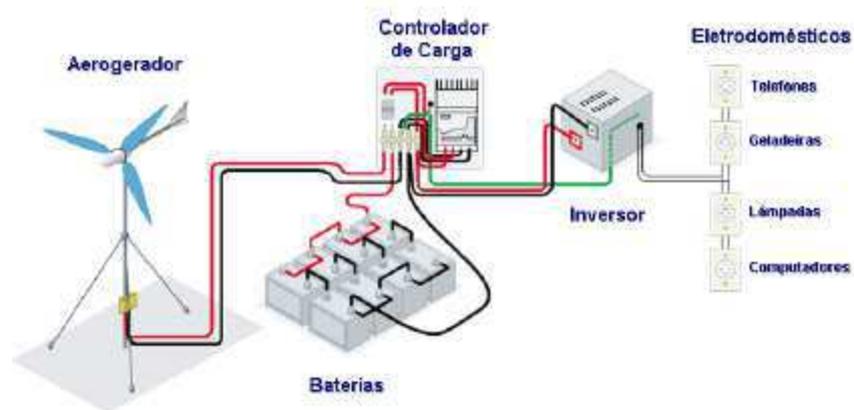
#### **3.7.1. Sistemas Isolados**

Os sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, com o objetivo de utilizar aparelhos elétricos, ou na forma de energia gravitacional, com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida.

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 evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda.

Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor do ponto de máxima potência necessário para otimização da potência produzida. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais.

A figura 3.4 ilustra a configuração de um sistema de geração eólica isolado.



**Figura 3.4: Configuração de um Sistema Eólico Isolado**

**Fonte: (CRESESB, 2007)**

Sistemas de energia eólica autônomos para fornecimento regular de eletricidade tornam-se bastante dispendiosos devido as complicações dos sistemas de armazenamento, que devem compensar não só as variações instantâneas e diárias, mas também compensar a variação da disponibilidade nos períodos do ano. Sendo sua aplicação limitada a pequenos sistemas para recarga de baterias, em regiões remotas, principalmente para fornecimento de eletricidade para equipamentos de comunicação e eletrodomésticos, onde o benefício e conforto compensam o alto custo por watt obtido.

### 3.7.2. Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos, entre outras. A utilização de várias formas de geração de energia elétrica aumenta a complexidade do sistema e exige a otimização do uso de cada uma das fontes. Nesses casos, é necessário realizar um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia para o usuário (DUTRA, 2007).

Em geral, os sistemas híbridos são empregados em sistemas de médio e grande porte destinados a atender um número maior de usuários. Por trabalhar com cargas em corrente alternada, o sistema híbrido também necessita 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.



Figura 3.5: Configuração de um Sistema Híbrido Eólico-Solar-Diesel

Fonte: (CRESESB, 2007)

### 3.7.3. Sistemas Interligados à Rede

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. O total de potência instalada no mundo de sistemas eólicos interligados à rede somam aproximadamente 120 GW (WWEA, 2009).

Os sistemas eólicos de grande porte interligados a rede pública de distribuição por dispensarem sistemas de armazenamento são bastante viáveis representando atualmente a maior evolução em sistemas eólicos, já apresenta custos paritários ao das hidrelétricas. Nesta configuração os sistemas eólicos podem ter uma participação na ordem de 15% do fornecimento total de energia, envolvendo a definição deste percentual estudos específicos de vários fatores que garantam fornecimento regular e a qualidade de energia do sistema interligado como um todo (DUTRA, 2007).



**Figura 3.5: Parque Eólico Conectado à Rede**

**Fonte: (CRESESB, 2007)**

## **4. O ESTÁGIO**

Este capítulo apresenta uma descrição das etapas para elaboração do projeto básico de instalação elétrica de uma turbina eólica de pequeno porte, bem como o orçamento estimado para aquisição de um sistema de geração eólica.

### **4.1. Preliminares do Projeto Básico**

#### **4.1.1. Disponibilidade do Recurso Eólico**

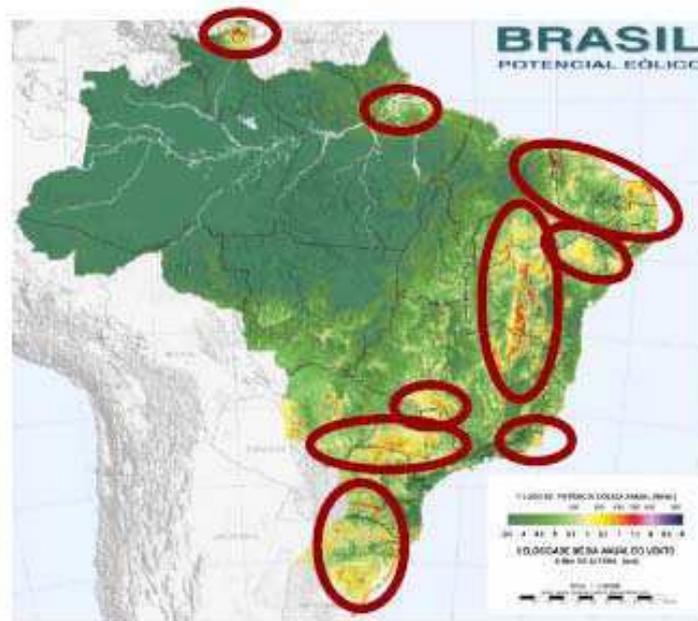
Para selecionar um local para geração de energia eólica, o fator vento é primordial para a definição desta escolha. Como não poderia deixar de ser, se não há vento, não há geração de energia.

Devido ao alto custo para a realização de um estudo do potencial eólico de cada local onde se pretenda instalar um aerogerador, em todo o mundo a decisão de aquisição dos aerogeradores de pequeno porte é tomada baseada em informações macro, como a verificação do potencial eólico da região como um todo, através da consulta de um mapa eólico e a análise visual do local identificando locais onde não haja grandes barreiras para o vento.

O Brasil já possui um Atlas Eólico que dá uma visão geral dos locais com bons potenciais de vento e está disponível para consulta no site [www.cresesb.cepel.com.br](http://www.cresesb.cepel.com.br).

De acordo com os dados obtidos através do Atlas Eólico, conforme é mostrado na figura 4.1, a nossa região está apta a receber sistemas de geração eólica de pequeno porte haja vista que as regiões circuladas em vermelho indicam esta característica.

Além dos dados obtidos a partir do atlas eólico, estudos anteriormente realizados a cerca do potencial eólico no âmbito do Laboratório de Referência em Dessalinização mostram a viabilidade da instalação de uma turbina eólica da região em questão.



**Figura 4.1: Potencial Eólico Brasileiro para Sistemas de Pequeno Porte**

**Fonte: Atlas Eólico Brasileiro**

#### **4.1.2. Localização**

A escolha do local para instalação é um fator determinante para o resultado que será obtido com a operação da turbina eólica. Em primeiro lugar uma questão óbvia é a necessidade de vento. No entanto, não basta ventar, o regime de ventos precisa ter qualidade apropriada para a geração eólica.

Ventar muito pode não ser propriamente uma qualidade. O importante é a constância do vento. O ideal seria uma velocidade média elevada (maior que 5 m/s) com uma distribuição estatística de pouca dispersão.

Em ventos de elevada turbulência o aerogerador tem prejudicada a sua geração de energia, sendo comum recomendar-se a instalação do captador eólico no mínimo 7 metros acima de qualquer obstáculo situado em um raio de 100 metros.

A localização deve levar em consideração, também, a distância entre a torre, o controlador de carga e os consumidores. Em sistemas de baixa tensão o comprimento de condutores deve ser reduzido ao mínimo. Isso é crítico, em particular, entre a torre e o controlador de carga.

## 4.2. Especificações Técnicas do Aerogerador

Para a geração de energia eólica do nosso sistema será utilizado um Aerogerador da ENERSUD, modelo VERNE 555, que apresenta as seguintes características técnicas:

**Tabela 4.1 – Especificações do Aerogerador VERNE 555**

<b>AEROGERADOR VERNE 555</b>	
Diâmetro da Hélice	5.55 mt
Potência à 12 m/s	6.0 kW
Número de Pás	3
Tipo de Pás	Torcida (5 aerofólios)
Velocidade de Partida	2.2 m/s
Torque de Partida	0.3 N/m
Controle	Active Stall
Proteção Contra Altas Velocidades	Controle de Passo Sincronizado
Sistema Magnético	Neodímio (Imã Permanente)
Sistema Elétrico	Trifásico
Tensão de Saída	120 Volts
Corrente Máxima de Saída	50 A
Topologia	Fluxo Axial
Peso Total	190 kg
Material Anti-Corrosão	Alumínio/Inox/Galvanização



**Figura 4.2: Aerogerador VERNE 555**

**Fonte: ENERSUD**

A curva de potência do aerogerador VERNE 555 é apresentada na figura 4.3.

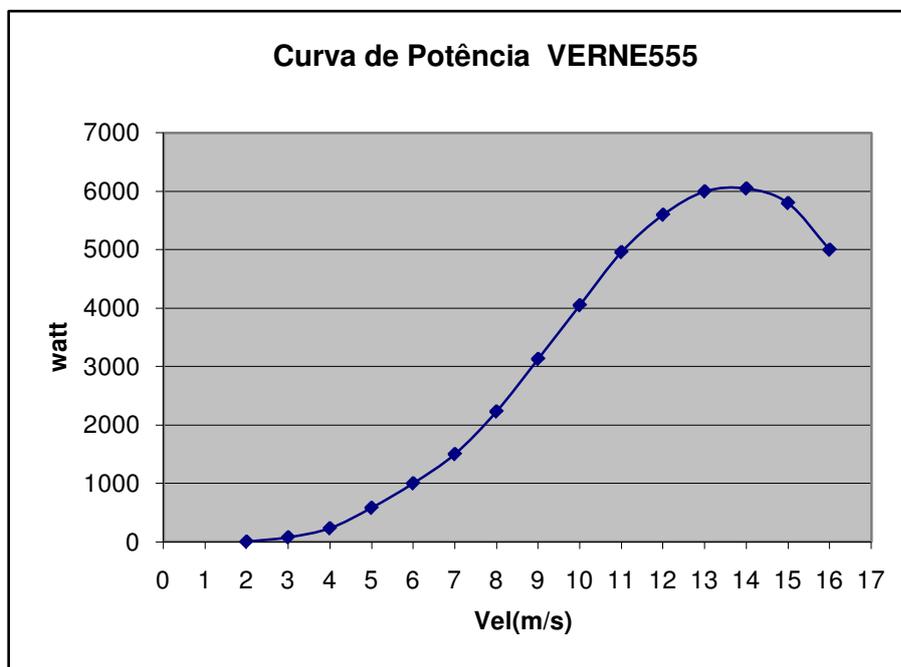


Figura 4.3: Curva de Potência do VERNE 555

Fonte: ENERSUD

#### 4.2.1. Componentes do VERNE 555

##### a. Pás/Captador Eólico

O rotor do VERNE555 é composto de três pás feitas de fibra de vidro fixadas na própria carcaça do alternador por meio de uma raiz tubular de aço e um eixo de aço inox que permite a sua modulação, ajustando o ângulo de ataque em função da velocidade do vento. Há ainda para a fixação das hélices uma mola central que deve ser comprimida sobre as bases das hélices garantindo que estas atuem de acordo com a regulagem determinada e também para que haja a sincronização do sistema.

As pás têm formato torcido estreitando da raiz até a ponta o que visa facilitar a partida com vento de baixa velocidade, oferecer alto desempenho nas maiores velocidades e baixo nível de ruído.

**b. Alternador (Gerador de Magnetos Permanentes)**

O alternador tem a função de transformar a energia rotacional do rotor em eletricidade. O VERNE555 tem um alternador do tipo axial com duplo rotor o que permite ter uma máquina potente compacta e resistente. O alternador utiliza magnetos permanentes feitos com base de neodímio. Sendo o alternador uma máquina própria para uso em baixa velocidade o aerogerador permite o acoplamento direto ao captador eólico, dispensando o uso de sistemas multiplicadores de velocidade.

O alternador do VERNE555 produz corrente alternada trifásica que flui por meio de três cabos para a base da torre e daí ao controlador de carga.

**c. Leme Direcionador**

O leme direcionador é fabricado em fibra de vidro e é acoplado ao corpo da cabeça rotativa. A sua função é orientar o captador eólico no sentido da direção do vento e responder as mínimas alterações nesta direção.

**d. Cabeça Rotativa**

A cabeça rotativa cumpre uma série de funções no VERNE555. Por meio desse elemento é feita a fixação no tubo padrão que sempre deve existir no topo da torre. Os seus rolamentos internos permitem o giro completo facilitando o alinhamento do aerogerador com a direção do vento. No interior da cabeça rotativa é feita a fixação do cabo elétrico que transmitirão a corrente elétrica do gerador que gira acompanhando a direção do vento para o controlador de carga. Para que não haja a torção no cabo elétrico durante a mudança de direção do gerador o VERNE555 possui um jogo de escovas que fazem a transferência da energia do aerogerador para o cabo elétrico.

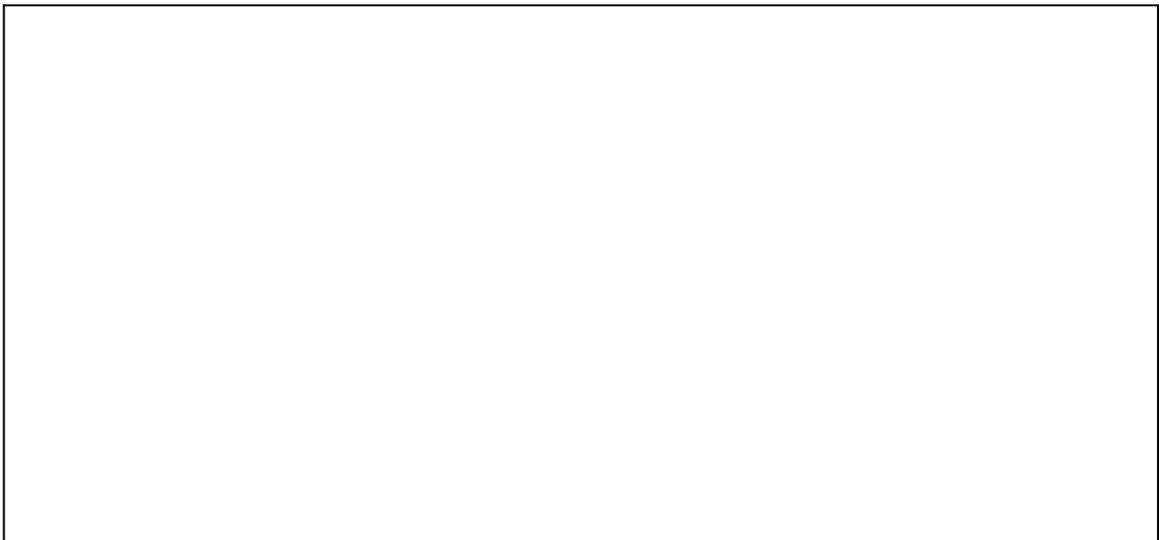
### **4.3. Especificações para Elaboração do Projeto Básico de Instalação**

#### **4.3.1. Etapa 1: Escolha e Adequação do Local**

Fazendo-se as ressalvas a cerca da localização ideal do aerogerador e considerando os fins didáticos deste projeto o qual deseja-se instalar nas proximidades do LABDES, optou-se por instalá-lo a frente do laboratório, mais precisamente na parte frontal esquerda do bloco.

O local escolhido apresenta uma oferta regular de vento, estando livre de obstáculos que impeçam a circulação de vento.

Na figura 4.4 tem-se um escopo da planta do laboratório, bem como o local onde será montado o aerogerador e onde deseja-se localizar o ponto de alimentação da carga.



**Figura: 4.4: Escopo da Planta do LABDES**

#### **4.3.2. Etapa 2: Montagem da Torre**

O primeiro passo para se instalar o VERNE555 é a montagem da torre sem a presença do aerogerador. Para que seja montada a torre é preciso que se tenha uma estrutura física capaz de suportar o peso do conjunto torre/aerogerador.

Para o desenvolvimento desta tarefa é necessário que se faça o projeto de fundação, o qual corresponde a uma estrutura de concreto projetada por um

profissional apto, no caso um engenheiro civil, a estabelecer dimensões e demais condições necessárias para que esta estrutura seja capaz de suportar a carga do conjunto torre/aerogerador.

Já a montagem da torre deve ser realizada, também por uma equipe de engenharia, que dispõem de equipamentos necessários para este fim.

A torre a ser utilizada é do tipo autoportante de estrutura tubular e apresenta as seguintes características: torre metálica de 15 metros de comprimento em aço A-36, sub-dividida em três partes, sendo duas de 6 metros octogonal e 1 cilíndrica de 3 metros flangeada em padrão ENERSUD. Além da torre propriamente dita, é utilizada uma base articulada como suporte para a mesma.

#### **4.3.3. Etapa 3: Projeto de Instalação Elétrica do Aerogerador**

O aerogerador VERNE 555 é fornecido pelo fabricante pré-instalado e sua montagem inclui cinco etapas, as quais são descritas detalhadamente do manual:

1. Conexão do cabo elétrico;
2. Encaixe e fixação do aerogerador na torre;
3. Montagem e fixação do leme direcionador;
4. Encaixe das hélices e aperto da mola central;
5. Fixação da nacele frontal.

Considerando o aerogerador montado e instalado no alto da torre faz-se necessário estabelecer um circuito elétrico capaz de coletar a energia proveniente da turbina eólica deixando-a disponível em um barramento. Para tanto faz-se necessário definir o ponto de alimentação da carga.

O esquema de ligação elétrica a ser estabelecido é mostrado na figura 4.5, o qual é composto pelo gerador eólico, controlador de carga, banco de baterias e quadro de distribuição.

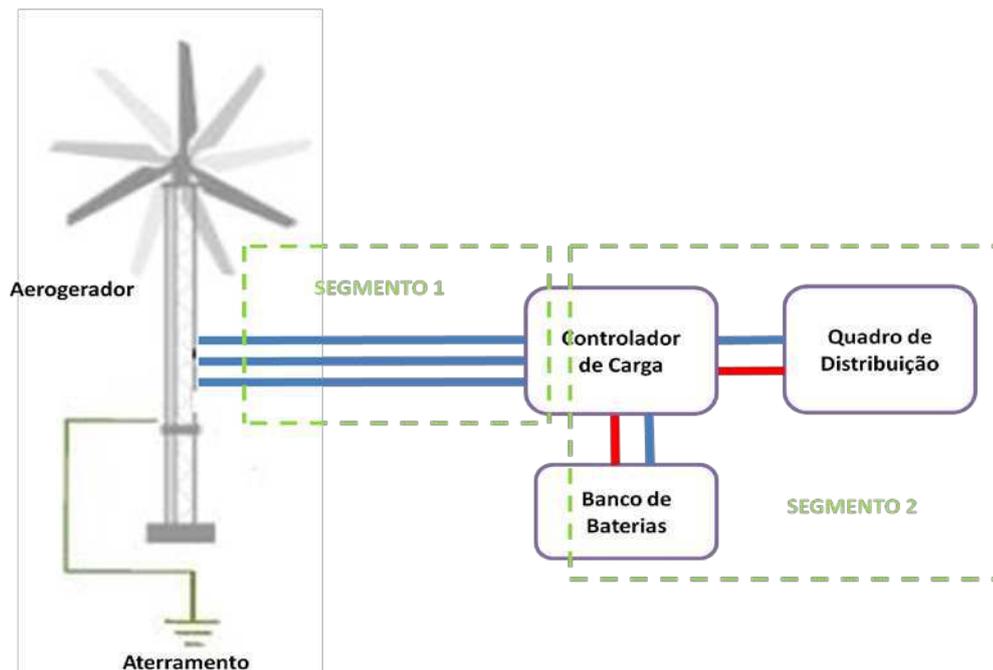


Figura 4.5: Esquema de Ligação Elétrica do Aerogerador

### Escolha do Cabo:

A seleção dos cabos para instalação do circuito elétrico permite a utilização de dois tipos de condutores: um destinado a ligação entre o aerogerador e o controlador de carga (segmento 1) e outro para a ligação entre o controlador e o banco de baterias (segmento 2).

A escolha do diâmetro do cabo é fator determinante do desempenho do sistema. Um cabo elétrico é ao mesmo tempo um condutor e uma resistência à passagem da corrente elétrica. Como resistência ele produz uma perda de energia que se degrada aquecendo o condutor. Um condutor mal dimensionado pode acarretar uma perda de energia considerável.

Os cabos utilizados para instalação do aerogerador são recomendados no guia do fabricante de acordo com as especificações do sistema de geração.

- Segmento 1:

A energia elétrica produzida no alternador é trifásica, o que requer três condutores elétricos para conduzi-lá. A recomendação do fabricante é a utilização de

cabo do tipo PP-Cordplast Trifásico que é bastante resistente e fácil de instalar. Já a escolha da seção do cabo (bitola) leva em consideração a distância entre a localização do aerogerador e do controlador, que no nosso caso é de até 35 metros e deve, portanto, utilizar uma seção de 10mm<sup>2</sup>.

**Tabela 4.2 – Especificações do Cabo Elétrico**

<b>Especificações do Cabo PP-Cordplast</b>	
<b>Norma</b>	NBR 13249
<b>Tipo</b>	Multipolar Flexível (2, 3 ou 4 condutores)
<b>Isolação</b>	Composto Termoplástico de PVC/A
<b>Cobertura</b>	Composto Termoplástico de PVC (ST 1)
<b>Tensão Nominal de Isolamento</b>	450/750 V
<b>Temperatura de Uso Contínuo</b>	70°C
<b>Temperatura de Sobrecarga</b>	100°C
<b>Temperatura de Curto-Circuito</b>	160°C

Fonte: (COTRIM, 2000)

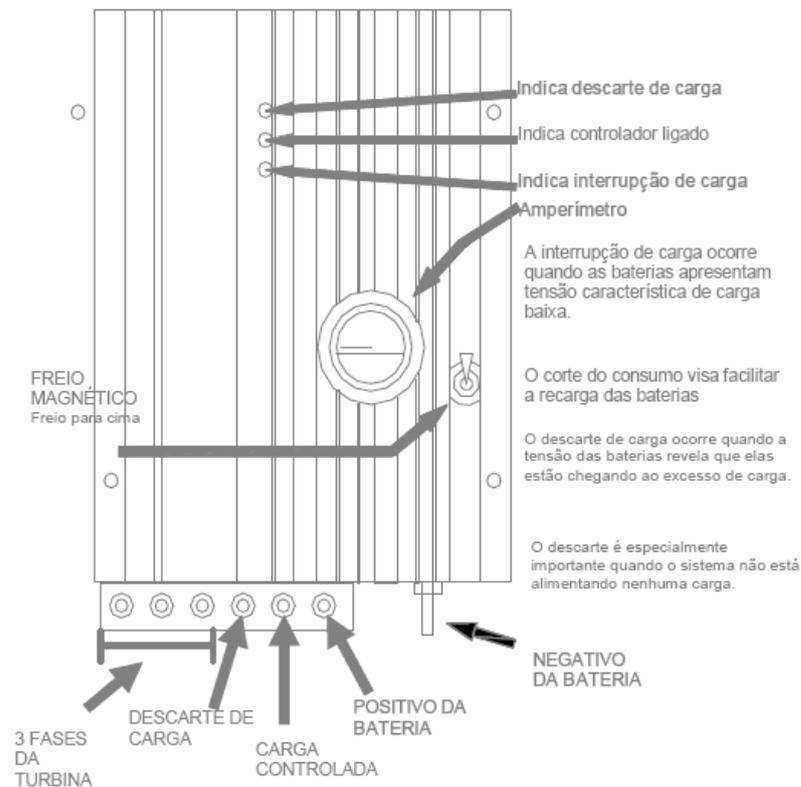
- Segmento 2:

Esse segmento irá interligar os terminais do controlador de carga com o banco de baterias e a carga. Essa interligação alimenta as baterias e a carga com corrente contínua com amperagem que pode atingir valores bastante elevados, dessa forma a recomendação do fabricante estabelece o uso de cabo simples de 10 mm<sup>2</sup> com comprimento máximo de 2 metros.

### **Controlador de Carga:**

A energia gerada pelo alternador chega ao controlador de carga na forma alternada e trifásica, mas o nível de tensão e a frequência variam extremamente com a velocidade do vento. Além do condicionamento da energia o controlador de carga executa funções de proteção das baterias, no que se refere ao excesso de carga gerada, aumentando assim a vida útil do sistema.

A figura 4.6 ilustra o modelo do controlador de carga utilizado, que é fornecido pelo fabricante do aerogerador.



**Figura: 4.6: Controlador de Carga do VERNE 555**

Principais Funções: Controle de carregamento de baterias com booster para aproveitamento das baixas velocidades de vento (acima de 3m/s).

- Tensão de Saída: 120 volts.
- Material: Alumínio.
- Indicador de Carga: Voltímetro.

### **Banco de Baterias:**

Para o dimensionamento do banco de baterias é necessário estabelecer as características das baterias a serem utilizadas, a escolha da bateria segue a recomendação do fabricante do aerogerador, que dispõem de baterias do tipo chumbo-ácido estacionária 12V – 170 Ah.

O quadro seguinte apresenta as tensões características de células e baterias chumbo-ácido.

**Tabela 4.3 – Especificações da Bateria**

Tensões Características	Tensão a 20°C (V)	
	Célula	Bateria
Tensão Nominal	2	12
Tensão Máxima	2,3 – 2,5	13,8 – 15,0
Tensão de Flutuação	2,2 – 2,3	13,2 – 13,8
Tensão de Circuito Aberto	2,1 – 2,2	12,6 – 13,2
Tensão Limite para Medida de Capacidade	1,8 – 1,9	10,8 - 11,4
Mudança das Características de Tensão com a Temperatura	- 0,05 V para Cada 10°C de Aumento	- 0,05 V para Cada 10°C de Aumento

**Fonte: (COTRIM, 2000)**

Como carga a ser alimentada temos um eletrolisador bipolar com as seguintes características:

- Potência Máxima: 5.000 W
- Tensão: 96 V
- Corrente Máxima: 50 A
- Pressão de Trabalho: 1,5 kgf/cm<sup>2</sup> - 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>



**Figura: 4.6: Eletrolisador Bipolar**

No dimensionamento do banco de baterias além da especificação relativa ao tipo de bateria utilizada, faz-se necessário estabelecer características a cerca do tempo de funcionamento do sistema, ou seja, das horas de uso.

Considerando que o laboratório dispõe de fonte convencional de energia (rede elétrica) e geração solar fotovoltaica optou por utilizar o sistema de geração eólica por 3 horas diárias haja vista que o uso prolongado acarretaria numa exigência maior de acumulação de energia e conseqüentemente no número de baterias.

Essa escolha é justificada como medida de redução de custos, tendo em vista que elementos de baterias apresentam elevado custo e reduzida vida útil, além de necessidade de manutenção periódica.

A definição de horas de uso do eletrolisador é baseada numa produção diária de hidrogênio eletrolítico de 3 m<sup>3</sup>, o qual é suficiente para produzir 10 kg de massa cerâmica curada.

O dimensionamento do banco de baterias é realizado utilizando as seguintes considerações:

- Quanto a Carga:

<b>Carga</b>	<b>Potência</b>	<b>Nº de Horas de Uso por Dia</b>	<b>Energia Diária</b>
Eletrolisador	5.000W	3 h	15.000 Wh
Demanda Diária Total de Energia			15.000 Wh
Demanda Diária Total de Energia em Ah			125 Ah

- Quanto ao Banco de Baterias:

<b>Dimensionamento do Banco de Baterias</b>	
Dias de Armazenamento Necessário	1 dia
Limite de Profundidade de Carga	0,8
Capacidade Necessária em Ah	156,25 Ah
Capacidade da Bateria Selecionada em Ah	170 Ah
Número de Baterias em Paralelo	1

Número de Baterias em Série	10
Número Total de Baterias	10
Capacidade Total do Banco de Baterias em Ah	170 Ah
Capacidade Total do Banco de Baterias em KWh	20,4 kWh

Portanto faz-se necessário o uso de 10 baterias de 170 Ah associadas em série para garantir a oferta de energia durante as horas de uso estabelecidas.

#### **Aterramento:**

A malha de terra deve ser feita através da ligação da carcaça do equipamento com a terra por meio de condutor elétrico de seção 16 mm<sup>2</sup> e “eletrodo de aterramento”. Normalmente utilizam-se as ferragens da fundação da torre para melhorar o aterramento, em substituição ao eletrodo de aterramento.

Essa medida segue a recomendação das normas de proteção.

#### **Eletrodutos e Quadro de Distribuição:**

A conexão do aerogerador será realizada mediante a passagem do condutor (cabo trifásico) através da torre tubular até sua base e a partir daí até sala onde encontra-se o controlador de carga.

A sala encontra-se equipada com quadro de distribuição, sendo necessário apenas a inserção de um disjuntor termomagnético unipolar de 50A.

#### **4.4. Estimativa de Custo**

A estimativa de custo para aquisição de sistema de geração eólica inclui os itens relacionados ao aerogerador propriamente dito, bem como sua torre de sustentação.

O orçamento apresentado a seguir corresponde ao custo estimado para a compra dos equipamentos e acessórios, não incluindo custos relativos a montagem e instalação do sistema.

<b>Item</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Preço Unitário (R\$)</b>	<b>Preço Total (R\$)</b>
Aerogerador VERNE 555 + Controlador	1	29.500,00	29.500,00
Cabo Elétrico Trifásico PP	30m	16,00	480,00
Tubo Preto 6" Din 2440 + Flanges, Parafusos, Solda (Torre)	1	5.000,00	5.000,00
Tubo Preto 2" ½" Din 2440	2	300,00	600,00
Bateria Estacionária 12v - 170ah	10	900,00	9.000,00
Torre Metálica	1	18.800,00	18.800,00
Cabos de Aço e Acessórios para Torre	1	1.000,00	1.000,00
Outros (Cabo Elétrico Simples, etc.)	1	500,00	500,00
Transporte	1	1.800,00	1.800,00
<b>Total</b>			<b>65.680,00</b>

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho descreve as especificações técnicas para o projeto de instalação elétrica de um aerogerador de pequeno porte a ser instalado no campus da Universidade Federal de Campina Grande. Além de fazer uma estimativa de custos da aquisição desse sistema de geração eólica.

Os estudos realizados durante este estágio mostraram a viabilidade de instalação desse sistema e permitiram dá início a utilização na geração eólica no âmbito do Laboratório de Referência em Dessalinização.

Durante a realização deste estágio foi possível consolidar os conhecimentos teóricos adquiridos durante a formação acadêmica, o que mostra que esta atividade curricular é bastante proveitosa e indispensável a formação do Engenheiro Eletricista.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, DF: ANEEL, 2002.

ANEEL, 2005. **Banco de Dados de Geração Elétrica**. Disponível na internet via <http://www.aneel.gov.br>, arquivo consultado em Julho/2010.

CBEE – CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA (UFPE). Disponível na internet via <http://www.eolica.com.br>, arquivo consultado em Novembro/2010.

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Ed. CEPEL, Rio de Janeiro, RJ: 2001.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica de Salvo Brito, **Energia Eólica: Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro – RJ, 2007.

DUTRA, R. M., **Propostas de Políticas Específicas para Energia Eólica no Brasil após a Primeira Fase do PROINFA**. Rio de Janeiro – RJ: PPE/COPPE/UFRJ, 2007. Tese (Doutorado).

DUTRA, R. M., **Viabilidade Técnico-Econômica da Energia Eólica Face ao Novo Marco Regulatório do Setor Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro – RJ: PPE/COPPE/UFRJ, 2001. Dissertação (Mestrado).

ELETROBRÁS, CEPEL. **Atlas Eólico do Brasil – Versão Preliminar**, Relatório Interno. CEPEL, Rio de Janeiro, 1998.

EC – EUROPEAN COMMISSION. **Wind Energy – The Facts, A Plan for Action in Europe**, Bélgica: European Commission 1999.

LIMA JÚNIOR, Claudemiro de, **Sistema de Dessalinização por Osmose Reversa Acionado por Energia Eólica**. Recife – PE: PPGEM/CTG/UFPE, 2006. Dissertação (Mestrado).

MME – Ministério de Minas e Energia. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília – DF: MME, 2001.

SÁ, A. L., ,1994 “**Computer Tool to Identify Promising Areas for Wind Farm Installation and Energy Prediction**”. In: *DEWEK 2006 - The International Technical Conference*. Bremen, Germany.

SCHEER, H. **O Potencial e as Chaves de uma Estratégia Solar**. O Manifesto Solar – Energia Renovável e a Renovação da Sociedade. Rio de Janeiro - RJ, CRESESB/CEPEL, 1995.

SHEPHERD, D.G., ,1994 “**Historical Development of the Windmill**”. In **Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering**, SPERA, S.A, (ed), 1 ed. New York, ASME Press, pp 1-46.

WWEA – World Wind Energy Association, 2009. **Wind Energy International 2007-2008**. ISBN 81-7525-641-9 ed. WWEA, New Delhi, India.