

**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**CURSO FÍSICA APLICADA**

**CADEIRA: ENERGIAS RENOVÁVEIS  
( OPÇÃO 2)**

**TEMA: TECNOLOGIA EÓLICA PARA A PRODUÇÃO DA  
ENERGIA ELECTRICA  
( O Gerador Eólico da Barra- Inhambane)**

**Docente:**

Dr. Luis Cheia  
Dr. Cuamba

**Discente:**

Gidião, Enércio Ezequiel

Maputo, Janeiro 2011

# Índice

1. Introdução.....	2
2. OBJECTIVOS.....	4
2.1. Objectivo geral .....	4
2.2. Objectivos específicos.....	4
3. Formação do vento.....	4
3.1. Direcção do vento.....	5
3.2. Força de Coriolis (D) .....	6
3.3. Estágio dos Ventos em Moçambique.....	6
4. INFORMAÇÕES GERAIS .....	8
4.2. Origens históricas.....	8
4.4. Turbinas Eólicas .....	9
4.4.1. Componentes do Sistema.....	12
4.4.2. Sistemas Híbridos.....	15
5. Potencial Eólico .....	16
5.1. Densidade de Potência Eólica.....	17
5.2. TEORIA DE BETZ.....	18
7. Conclusão .....	19
8. Bibliografia .....	20

## 1. Introdução

Um dos grandes tormentos do Mundo de hoje é a questão relativa à energia, o aproveitamento desta ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a maioria da energia utilizada no planeta e em particular em moçambique é de origem não renovável, seja de fonte mineral, térmica ou das correntes de águas. O homem tendo em vista as suas necessidades, transformou os recursos naturais a sua volta em diferentes formas de energia, o que lhe permitiu obter maiores benefícios para o seu quotidiano.

Depois da revolução industrial, as máquinas a vapor conquistaram o espaço que era maioritariamente dominado pela tracção animal. Período em que surgiu uma das maiores inquietações mundiais e que mantém se ainda no nosso quotidiano, a questão relativa à “gestão sustentável” dos recursos energéticos e das fontes de energia.

Estas máquinas de combustão, usam combustíveis fósseis, e possuem um bom rendimento para as pretensões do Homem, aumentando gradualmente a potência das máquinas para assim maximizar o rendimento, em contra partida a combustão destes combustíveis liberta os GEE ( Gases de Efeito de Estufa), que perigam o ambiente e por conseguinte concorrem para extinção precoce da vida na Terra. Por outro, lado são recursos esgotáveis e com a exploração não sustentável destes recursos favorecer para um esgotamento rápido desta fontes energéticas.

O aproveitamento dos recursos renováveis, ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável. Mas a energia pode ser utilizada de forma mais sustentável do ponto de vista ambiental, energético e sócio- económico. Se for incrementada a produção mundial de energia com recurso as fontes renováveis das mesmas.

Nota-se, um elevado grau de consciencialização dos países, pois alguns ratificaram o protocolo de Kyoto, com vista a recorrência as fontes renováveis como fonte energética e a redução percentual da emissão dos GEE, e recentemente a reunião de Bali, no concernente a adopção de políticas que tem como objectivo reduzir a emissão dos GEE e adopção de políticas que preconizam o uso sustentável dos recursos naturais.

A energia eólica pode ser considerada como uma fonte segura e a sua exploração seria alternativa energética para as locais onde o nível de electrificação não existe e/ou que usam geradores a Diesel para a produção de electricidade, impulsionando assim o acesso a energia eléctrica.

Mocimboa tem um vasto potencial de recursos energéticos naturais por explorar, incluindo o hidroeléctrico de cerca de 12500MW, gás natural com cerca de milhões de m<sup>3</sup> de reserva, carvão mineral com 13,1 biliões de toneladas de reservas identificadas, hectares de biomassa, e um grande potencial de energia solar. [2]

O trabalho por realizar têm como objectivo analisar o potencial eólico para instalação de um gerador eólico, para a produção de energia eléctrica na praia da barra ( Província de Inhambane ). Esta que pode ser aproveitada para diversos fins na região em particular e no País em geral.

Este trabalho, irá abordar as medições paramétrica do vento, nomeadamente a velocidade, frequência e direcção do vento. O que permitira avaliar o potencial eólico e por fim instalação dos geradores eólicos nesta região do País, sendo conhecida a orografia e vasta orla marítima desta.

De modo a identificar com maior precisão, as zonas de potencial eólico passíveis de instalação de turbinas eólicas para produção de electricidade, bombagem de água e outros fins que podem ser alcançados através da energia eólica .

## 2. OBJECTIVOS

### 2.1. Objectivo geral

Estudar o potencial eólico da Barra para a produção da energia eléctrica Província de Inhambane.

### 2.2. Objectivos específicos

- Identificar o regime de ventos na região da Barra;
- Avaliar as frequências e a velocidade diárias e mensais da direcção do vento na região da Barra;
- Avaliar o tipo de turbinas a instalar para a geração da electricidade na região;

### 3. Formação do vento

O vento é massa do ar em movimento, ou seja, é o deslocamento aleatório de cada molécula que forma o ar, porém em uma escala que compreende a uma parte da atmosfera. O deslocamento é ocasionado pelas diferenças de pressão atmosférica entre duas regiões, o mesmo sofre influência do relevo, da proximidade com o mar, com a rugosidade do terreno.

Ao movimento vertical do ar denomina-se *corrente de ar*, enquanto que o movimento horizontal denomina-se *vento*. A Energia Eólica é uma forma de Energia que deriva da Energia Solar, cuja fonte é o vento. A energia Eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Vista essa desigualdade de aquecimento da atmosfera, a radiação que incide sobre a Terra, distribui-se de modo desigual, o que cria uma diferença de temperaturas e esta diferença de temperaturas origina a variação de pressão. Com vista a estabelecer o equilíbrio de pressão ocorre o movimento das massas de ar que se chamam *vento*.

Sendo a atmosfera um fluido, a pressão atmosférica varia em todas as direcções. A hipótese do equilíbrio hidrostático é normalmente aceita para efeito de estudos

localizados da variação de pressão com a altitude, em situações que possam ser consideradas não perturbadas.

O gradiente de pressão existe quando a pressão do ar varia de um lugar para o outro e é a maior taxa de variação da pressão com a distância. As isóbaras mais próximas indicam gradientes de pressão mais fortes. Se o ar estiver sujeito a uma pressão maior num lado que no outro, este desequilíbrio produzirá uma força resultante da região de maior pressão para a região de menor pressão.

Os ventos que sopram em escala global e aqueles que se manifestam em pequena escala são influenciados por diferentes aspectos entre os quais destacam-se a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo. As regiões tropicais, que recebem os raios solares quase que perpendicularmente, são mais aquecidas do que as regiões polares. Consequentemente, o ar quente que se encontra nas baixas latitudes das regiões tropicais tende a subir, sendo substituído por uma massa de ar mais frio que se desloca das regiões polares.

Os ventos globais são gerados principalmente pela rugosidade da superfície terrestre e pela diferença de temperatura e pressão. Estes se encontram a alguns km de altura a partir do solo. O vento distribui-se a partir do equador e espalha-se para o norte e sul nas partes mais altas da atmosfera. Ao redor dos 30° de latitude em ambos hemisférios ocorre a força de Coriolis. Nesta latitude se encontra uma zona de altas pressões, que começa a ir de novo em direcção ao equador (zona de baixas pressões).

### **3.1. Direcção do vento**

A direcção do vento exprime a posição do horizonte aparente do observador a partir do qual o vento parece, isto é, donde o vento sopra e nunca para onde o vento estaria a deslocar-se, por mais que aparente esse facto o aparecimento de rajadas origina a brusca variação da direcção. A direcção do vento é expressa em azimute, isto é, do ângulo que o vector velocidade do vento forma com o norte geográfico local (0°), medindo no mesmo sentido horário ou rosa dos ventos expressa em pontos cardiais.

A direcção do vento também é um importante parâmetro a ser analisado pois mudanças de direcção frequentes indicam situações de rajadas de vento. Além disso, a medida da direcção do vento auxilia na determinação da localização das turbinas em um parque eólico. As direcções dos ventos dominantes são sempre importantes para a colocação de uma aerogerador, visto que é preciso, para uma boa eficiência, um local ideal com o mínimo de obstáculos para as direcções dominantes do vento. É importante observar todos os aspectos geográficos para um empreendimento eólico.

### **3.2. Força de Coriolis (D )**

Se a terra não girasse sobre seu próprio eixo, os ventos seguiriam a direcção do gradiente de pressão. Mas devido ao movimento rotacional do planeta, observa-se outro efeito sobre as partículas do ar em movimento, efeito conhecido por força de Coriolis.

Este efeito actua sobre as moléculas do ar mudando-lhes a sua trajectória, esta que seria influenciada pelo gradiente de pressão. A força de Coriolis é uma força fictícia que aparece quando se observa um movimento na atmosfera a partir dum sistema de referencia preso á Terra, devido a rotação da Terra. A acção da força de Coriolis é expressa pela **lei de Ferrel**:

*Qualquer objecto ou fluido que move-se horizontalmente tende a desviar –se para direita da sua trajectória no Hemisfério Norte e para a esquerda no Hemisfério Sul, independentemente do seu movimento.*

Devido ao facto da força de Coriolis ser perpendicular ao movimento, o trabalho realizado por ela é nulo, portanto ela só actua com objectivo de mudar a direcção da velocidade não altera-la.

### **3.3 Estágio dos Ventos em Moçambique**

Segundo Cunha (1972), o regime dos ventos em Moçambique é extensivamente

influenciado pela circulação da atmosfera na África meridional que, por sua vez, está condicionada por vários centros de acção cujos princípios, em relação a Moçambique são:

- O anticiclone subtropical do indico;
- A cintura de baixas pressões equatoriais (zona de convergência inter tropical);
- Os vales depressionais que acompanham o movimento das depressões subpolares que afectam por vezes as regiões do litoral das províncias de Maputo, Gaza, e Inhambane;

Em todo o litoral Moçambicano, o vento tem velocidade média na ordem de 10km/h, atingindo os valores mais altos, na ordem dos 15km/h, no extremo sul do País. Já no interior, o vento diminui a sua velocidade atingindo os valores mais baixos na ordem dos 4 – 6 km/h nas províncias de Zambézia, Tete, e Gaza, com excepção das regiões montanhosas do Niassa onde o vento atinge a velocidade de aproximadamente 10km/h (Cunha 1972).

A velocidade do vento, como se sabe, observa-se em cada dia, e é variável no espaço e no tempo. Sendo a velocidade do vento um parâmetro meteorológico de grande interesse na actualidade e para o futuro da humanidade, surge a necessidade do estudo da sua distribuição no espaço, tempo e distribuição média.

Os dados recolhidos são apresentados na tabela que se segue:

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	oct	Nov	Dez
Maputo												9,9
Xai-Xai												8,6
Inhambane	7,0	7,5	5,6	5,0	5,5	4,8	5,6	6,4	7,5	8,0	8,1	7,5



## **4. INFORMAÇÕES GERAIS**

### **4.1 Definição**

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em

Movimento, que devido ao transporte de impulso fazem girar as pás das turbinas para a geração de electricidade. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de electricidade, ou cata-ventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento de água [4].

O termo eólico, tal como muitos dos que usamos hoje na nossa linguagem, provem do latim *Aeolicus*, pertencente ou relativo a Éolo, Deus dos ventos na mitologia grega e, portanto, pertencente ou relativo ao vento [2].

### **4.2. Origens históricas**

Segundo [1], tudo indica que as primeiras utilizações de energia eólica deram-se com as embarcações, algumas publicações mencionam vestígios de sua existência já por volta de 4.000 a.C., recentemente testemunhado por um barco encontrado num túmulo sumeriano da época, no qual havia também remos auxiliares.

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

As embarcações a vela dominaram os mares durante séculos, até que o surgimento do navio a vapor, em 1807 veio dividir este domínio, mas pelo facto de exigir menores despesas em contrapartida a menor regularidade oferecida no tempo dos trajectos, os barcos a vela conseguiram manterem-se por um bom tempo, só perderam a concorrência no início do século XX, quando foi praticamente abandonado em favor de uso da máquinas a vapor.

Segundo [2], Os persas começaram a usar a força do vento poucos séculos antes de Cristo, e pelo ano 700 DC, eles estavam construindo moinhos de vento verticais

elevados ou panemones, para serem usados como força nas mós, na moagem de grãos.

Outras civilizações do médio oriente, em especial os muçulmanos continuaram onde os persas deixaram e construíram seus próprios moinhos de vento. Com o retorno das cruzadas, pensou-se que eles tinham trazido ideias sobre moinhos de vento e desenhos para a Europa, mas provavelmente foram os holandeses que desenvolveram o moinho de vento horizontal, com hélices, comuns nos campos dos holandeses e ingleses.

### **4.3. Aplicação da energia eólica para a geração de electricidade**

Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de electricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo (década de 1970), é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial.

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede eléctrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Actualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. 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. O custo dos equipamentos, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduziu-se significativamente nas últimas duas décadas.

### **4.4. Turbinas Eólicas**

Aerogeradores, turbinas Eólicas, geradores eólicos, máquinas eólicas, e cata-ventos são os diversos nomes utilizados para as máquinas capazes de transformar a energia

cinética dos ventos em energia mecânica, ou em energia eléctrica [3].

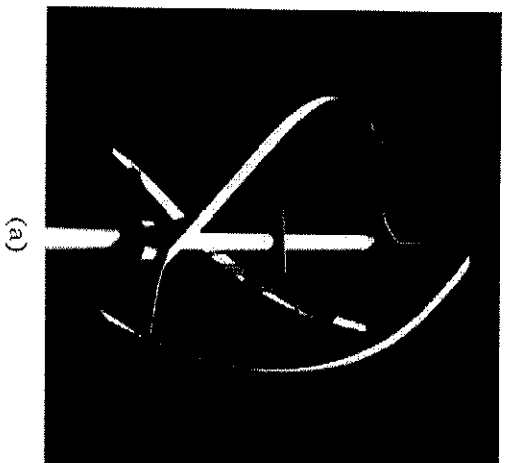
Normalmente estas máquinas são utilizadas para a geração de energia eléctrica através de acoplamento com geradores, mas também, turbinas eólicas podem ser utilizadas em sistemas de bombeamento ou outros sistemas mecânicos.

As turbinas eólicas são classificadas quanto à sua forma construção:

- Turbinas eólicas de eixo horizontal (TEEH);
- Turbinas eólicas de eixo vertical (TEEV);

E quanto à sua potência nominal:

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



(a)



(b)

Figura 2 – Turbinas eólicas de eixo vertical (a) e horizontal (b)/Fonte [3]

As TEEH são as mais difundidas no mercado, e têm como característica principal a necessidade de um sistema de controle para posicionar o rotor na direcção

predominante de vento. Os aerogeradores possuem três componentes básicos, o rotor com as pás, a gôndola (nacelle) e a torre. Na gôndola ficam os principais componentes tais como o gerador eléctrico, caixa multiplicadora de velocidades, eixos, mancais, sistema de feios sistema de controle e mecanismos de giro da turbina.

O rotor apresenta geralmente, um conjunto de pás, podendo ter controle passivo ou activo das mesmas para operar numa determinada rotação. Na maioria das máquinas o eixo que transmite o torque das pás apresenta uma velocidade de rotação baixa sendo necessário aumentar a rotação utilizando um multiplicador de velocidades de engrenagens. Após o multiplicador é conectado ao gerador eléctrico que transforma a energia mecânica em eléctrica.

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

Existem também turbinas eólicas de grande porte que utilizam geradores síncronos de ímãs permanentes que operam com baixa rotação dispensando a caixa multiplicadora.

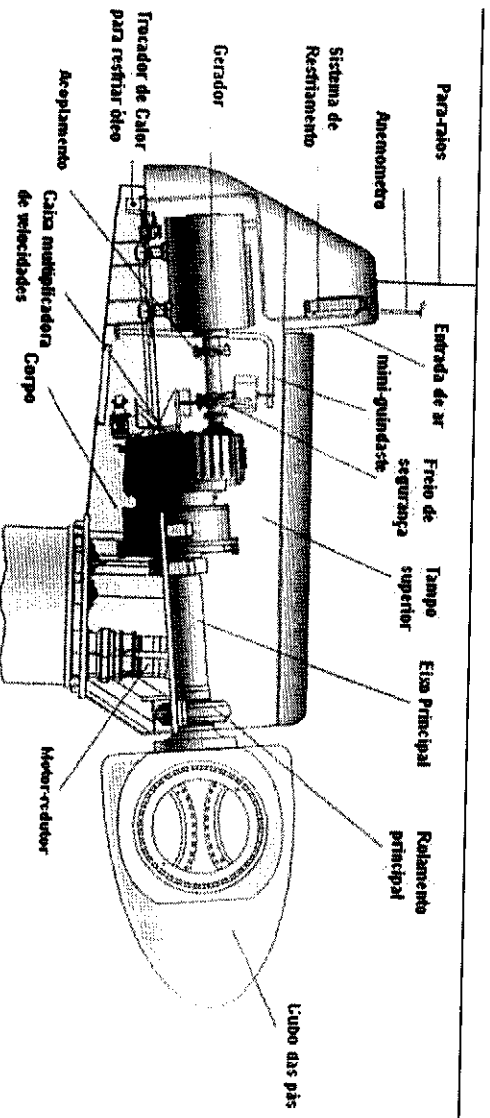


Figura 3 - Componentes de uma TEEH [3]

As turbinas apresentam um sofisticado sistema de controle que permite otimizar os ganhos de energia posicionando o rotor num plano perpendicular à velocidade do

vento. A máquina possui sistemas para realizar operações de segurança freando a máquina para velocidades muito altas (acima de 25 m/s). As pás podem ser fixas ou podem mudar o ângulo de passo.

As turbinas eólicas apresentam diferentes tipos de controle para frenagem em velocidades de vento elevadas - são os controles por Stall ou Pitch. No controle por stall, em altas velocidades de vento, há um desprendimento do fluxo de vento no perfil aerodinâmico, gerando vórtices e assim aumentando o arrasto e diminuindo a velocidade angular ou rotação. Já no controle por pitch, existe um sistema que gira as pás posicionando-as perpendicularmente ao vento, diminuindo a sustentação aerodinâmica e, conseqüentemente, a rotação do rotor. O sistema de controle por ângulo de passo das pás, apesar de mais complexo e maior custo e o mais utilizado. Apresenta uma curva de potência que permite maiores ganhos de energia sendo menores os esforços de transmissão. O sistema de controle por stall apresenta menor custo do rotor, contudo maior custo no sistema de freios. Requer um sistema auxiliar para protecção em altas velocidades.

#### **4.4.1. Componentes do Sistema**

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) O Rotor Eólico:**

O rotor é o componente do sistema eólico responsável pela captura da energia cinética dos ventos e transformá-la em energia mecânica de rotação, daí em energia eléctrica.

É o componente mais característico de um sistema eólico. Por este motivo, a configuração do rotor influenciará directamente no rendimento global do sistema.

Os rotores eólicos podem ser classificados segundo vários critérios e o mais importante é aquele que utiliza a orientação do eixo como factor de classificação.

Considerando o eixo podemos classificar os rotores em:

a) **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 (*lift*) e forças de arrasto ( *drag*). 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) [4];

b) **Transmissão e caixa multiplicadora** a transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica que sai do eixo do rotor até a carga. É composta por eixos, engrenagens de transmissão e acoplamentos. Na turbina eólica consiste coloca se a caixa de transmissão mecânica entre o rotor e o gerador para adaptar a baixa velocidade do rotor à velocidade de rotação mais elevada dos geradores convencionais.

A velocidade angular dos rotores geralmente varia entre 20 a 150 RPM, devido às restrições de velocidade na ponta da pá. Entretanto, geradores (sobretudo geradores síncronos) trabalham a rotações muito mais elevadas (em geral, entre 1200 a 1800 RPM), tornando necessário a instalação de um sistema de multiplicação entre os eixos.[4]

### c) **O Gerador**

A transformação da energia mecânica de rotação em energia eléctrica, através de equipamentos de conversão eletromecânica, ocorre no gerador. Entretanto, a integração de geradores a sistemas 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 frequência e tensão constante na energia final produzida;

- facilidade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico dos sistemas eólicos, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade).

#### **d) 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, travões), aerodinâmicos (posicionamento do rotor) ou electrónicos (controle da carga). Os aerogeradores modernos utilizam dois diferentes princípios de controle aerodinâmico para limitar a extração de potência à potência nominal do aerogerador. Estes controles denominam-se controle *estol* e de *passo*.

#### **e) Controle estol**

O controle estol é um sistema passivo que reage à velocidade do vento.

As pás do rotor são fixas em seu ângulo de passo e não podem girar em torno de seu eixo longitudinal.

O ângulo de passo é escolhido de forma que, para velocidades de vento superiores a velocidade nominal, o escoamento em torno do perfil da pá do rotor descola da superfície da pá (estol), reduzindo as forças de sustentação e aumentando as forças de arrasto.

Sob todas as condições de ventos, superiores à velocidade nominal, o escoamento em torno dos perfis das pás do rotor é, pelo menos parcialmente, descolado da superfície, produzindo menores forças de sustentação e elevadas forças de arrasto.

Menores sustentações e maiores arrastos atuam contra um aumento da potência do rotor.

Para evitar que o efeito estol ocorra em todas as posições radiais das pás ao mesmo tempo, o que reduziria significativamente a potência do rotor, as pás possuem uma pequena torção longitudinal que as levam a um suave desenvolvimento deste efeito.

#### **2)O controle de passo**

O controle de passo, por sua vez, é um sistema activo que normalmente necessita de uma informação vinda do controlador do sistema. Sempre que a potência nominal do gerador é ultrapassada, devido a um aumento da velocidade do vento, as pás do rotor giram em torno do seu eixo longitudinal. As pás mudam o seu ângulo de passo para reduzir o

ângulo de ataque. Esta redução do ângulo de ataque diminui as forças aerodinâmicas actantes e, conseqüentemente, a extracção de potência. Para todas as velocidades do vento superiores à velocidade nominal, o ângulo é escolhido de forma que a turbina produza apenas a potência nominal. Sob todas as condições de vento, o escoamento em torno dos perfis das pás do rotor é bastante aderente à superfície produzindo sustentação aerodinâmica e pequenas forças de arrasto.

#### **e) As torres**

Sustentam e posicionam o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento.

É uma estrutura de grande porte e de elevada contribuição no custo inicial do sistema. Geralmente, as torres são fabricadas de metal.

#### **D) Um sistema de armazenamento**

Para armazenar energia em razão do comportamento do vento que muda ao longo do tempo, para garantir o fornecimento adequado as necessidades. Nos casos em que a energia eólica é utilizada para complementar a produção de energia convencional, a energia gerada é injectada directamente na rede eléctrica, não sendo necessário o armazenamento de energia, bastando que o sistema eléctrico convencional de base esteja dimensionado para atender à demanda durante os períodos de calma. 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 produzida num sistema de acumulação. [4]

### **4. 4.2. Sistemas Híbridos**

Sistemas híbridos de energia (*Hybrid Power Systems*) são sistemas autónomos de geração eléctrica que combinam fontes de energia renovável e geradores convencionais.

O objectivo deles é produzir o máximo de energia possível das fontes renováveis enquanto mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificadas para cada projecto. Para a implantação com sucesso de um sistema híbrido de energia, dois factores são essenciais: a confiabilidade da operação e o fornecimento de energia;



Os componentes usados em sistemas híbridos de energia são padronizados e comercializados tanto para operação interligados à rede eléctrica como para o funcionamento isolado. Embora a vida útil e a confiabilidade destes equipamentos, isoladamente, sejam adequadas para a sua utilização em sistemas eléctricos, o funcionamento de sistemas híbridos de energia modifica este quadro por causa da interacção entre os vários componentes e em decorrência das características de sistemas isolados, isto é, redes fracas e demandas com grandes variações. Diversos problemas surgem como danos aos motores de partida dos geradores diesel, justes de travagem das turbinas eólicas e a degradação dos bancos de baterias. [4]

## **5. Potencial Eólico**

Existe uma regra para o cálculo da potência gerada pelos cata-ventos e turbinas de vento. É importante ressaltar que esta regra é teórica e na prática, não se consegue converter toda a potência (teórica) em potência útil. A taxa de conversão é de aproximadamente de 59%, quando esta-se diante de um sistema ótimo.

Segundo [5] - potência é igual ao trabalho (Energia) dividido pelo tempo:

A tabela que se segue refere-se, a estimação da velocidade do vento em função da altura das turbinas. Os recursos eólicos são caracterizados segundo classes do vento que variam de 1 até 7 que representa o máximo do potencial, dos desníveis das superfícies por qual sopram os ventos, antes de chegarem as pás das turbinas estas determinam os níveis de turbulência.[5]

Tabela : Relação da velocidade com altura das turbinas [3]

Clase	a 30 m de altura		a 50 m de altura	
	Velocidade vento m/s	doPotencia do vento W/m <sup>2</sup>	Velocidade vento m/s	doPotencia do vento W/m <sup>2</sup>
1	0-5.1	0-160	0-5.6	0-200
2	5.1-5.9	160-240	5.6-6.4	200-300
3	5.9-6.5	240-320	6.4-7.0	300-400
4	6.5-7.0	320-400	7.0-7.5	400-500
5	7.0-7.4	400-480	7.5-8.0	500-600
6	7.4-8.2	480-640	8.0-8.8	600-800
7	8.2-11.0	640-1600	8.8-11.9	800-2000

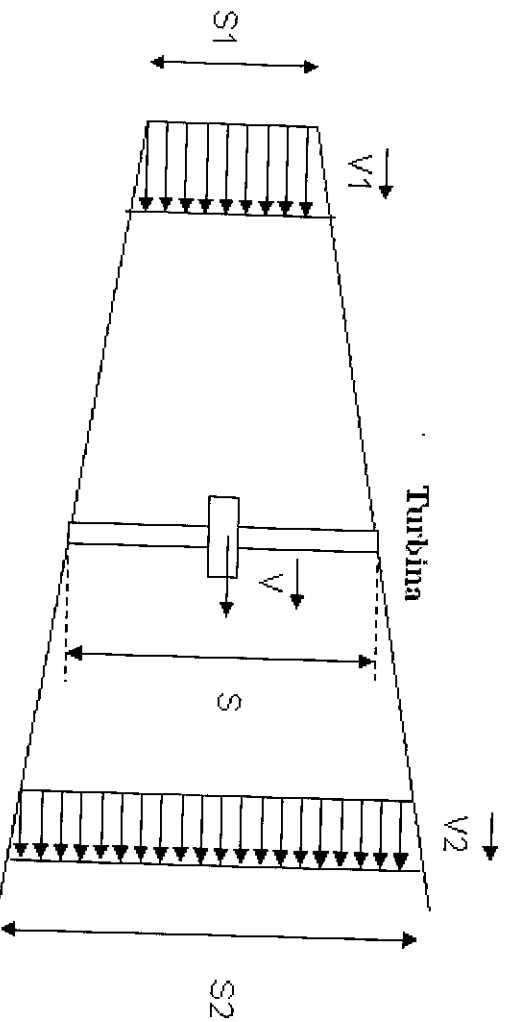
### 5.1. Densidade de Potência Eólica

Segundo [7], por causa da variabilidade dos ventos, a equação de cálculo da potência do vento deveria ser usada somente para velocidades de vento instantâneas e não para médias de longo termo. Na realidade o vento varia constantemente. A densidade de potência eólica é na maior parte dos lugares entre 1,7 a 3 vezes maior do que a calculada a partir do valor de velocidade média do vento. Por esta razão a grandeza densidade de potência eólica é utilizada como termo de comparação dos potenciais eólicos de diversas localizações geográficas:

## 5.2. TEORIA DE BETZ

Segundo [6] - o rendimento global do sistema eólico relaciona a potência disponível do vento com a potência final que é entregue pelo sistema. Os rotores eólicos ao extrairtem a energia do vento reduzem a sua velocidade; ou seja, 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. A condição de máxima extracção de energia verifica-se para uma velocidade na esteira do rotor 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 factor  $16/27$  ou  $0,593$ . Em outras palavras,  $59,3\%$  da energia contida no fluxo de ar pode ser teoricamente extraída por uma turbina eólica. Na prática, entretanto, o rendimento aerodinâmico das pás reduz ainda mais este valor. Para um sistema eólico, existem ainda outras perdas, relacionadas com cada componente (rotor, transmissão, caixa multiplicadora e gerador). Além disso, o fato do rotor eólico funcionar em uma faixa limitada de velocidade de vento também irá contribuir para reduzir a energia por ele captada.



Esquema da redução de velocidade em volta do rotor,[3]

## 7. Conclusão

Com o estudo feito, conclui-se que:

- Turbinas eólicas com menores ângulos de ataque, desenvolvem maiores potências, mais necessitam de maior velocidade de vento para a produção de energia. Com velocidades abaixo de 5m/s, a turbina não gira, como consequência não produz energia.
- Turbinas eólicas com maiores ângulos de ataque, desenvolvem menores potências em relação as turbinas com menor ângulos de ataque com a mesma velocidade do vento.

Com o aumento dos ângulos de ataque das pás, a turbina produz energia eléctrica com variação quase constante com o aumento das velocidades, embora de menor magnitude, chegando a atingir um aumento de 1 casa decimal com o aumento de velocidade na mesma proporção.

Com o modelo matemático desenvolvido, podemos aplicar para o estudo do comportamento das turbinas eólicas, variando as velocidades e os ângulos de ataque das pás

Para um país como o nosso (Moçambique), em que temos baixas velocidades do vento, e sem muita constância, aconselha-se a usar turbinas com maiores ângulos de ataque das pás isto é, sob um ângulo de 30° .

## 8. Bibliografia

- [1] <http://www.aondevamos.eng.br>
- [2] - [www.mundodoquimico.hpg.om.br](http://www.mundodoquimico.hpg.om.br)
- [3] - <http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/17/29/>
- [4] - Rui M.G. Castro, Energias Renováveis e Produção Descentralizada INTRODUÇÃO À ENERGIA EÓLICA Março de 2007 (edição 3)
- [5] - [www.fem.unicamp.br/~leolica/image23.gif](http://www.fem.unicamp.br/~leolica/image23.gif)
- [6] - <http://www.cresesb.cepel.br>
- [7] – Aportamentos da cadeira de Energias Renováveis.
- [8] - Manual de electrotecnia geral