

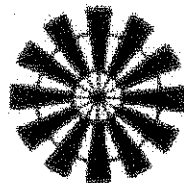
Tingok



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

**Departamento de Física**

**Trabalho de Licenciatura**



**Estudo do comportamento da energia eólica na região da Cidade de  
Maputo**

**AUTOR**

**Alberto Matuquela Taiela**

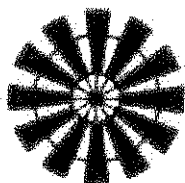
**Maputo, maio de 2002**



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

Departamento de física

**Trabalho de licenciatura**



**Estudo do comportamento da energia eólica na região da Cidade de  
Maputo**

**SUPERVISORES:**

**Prof. Doutor Boaventura Chongo Cuamba**

**dr. Hermínio José Tembe**

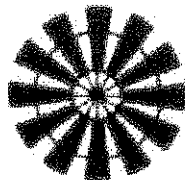
Maputo, maio de 2002



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS**

Departamento de física

**Trabalho de licenciatura**



**Estudo do comportamento da energia eólica na região da Cidade de  
Maputo**

**Autor**

**Alberto Matuquela Taiela**

Maputo, maio de 2002

## DEDICATÓRIA

À minha esposa  
Belarmina João Beleque

Aos meus filhos  
Mário Rafael Alberto Macie, José Carlos Alberto Taiela, Florentino Emanuel Alberto  
Macie, Hélio Yuran Alberto Taiela e seu enteado Dércio Alves João

e minha mãe  
Florinda Zaqueu Matuquela

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Boaventura Chongo Cuamba e dr. Hermínio José Tembe supervisores (UEM), pela dedicação, experiência transmitida, críticas e apoio científico prestados durante a preparação do presente trabalho.

Aos docentes do departamento de física, em particular aos Dr.Tchernych, Dr. Hoguane, Dr.Mapossa, Dr.Utui, dr.Mavume, dr.Queface, dr.Naran, dr.Ginito, dr<sup>a</sup>.Mayra, dr.Ibraimo, dr.Saíde, Dr.Burdeny, Dr. Akil, Dr. Rakov, Dr.Rocha pela assistência prestada e sugestões ao longo do curso.

A Direção Provincial de Educação de Inhambane (DRH) por ter permitido e criado condições para que me fosse concedida a bolsa de estudo pelo Ministério de Educação.

Ao corpo técnico e administrativo do departamento de física, pelo apoio prestado ao longo do curso.

Ao corpo técnico do INAM em especial ao senhor Quissico, que a todo o momento estiveram disponíveis a ceder os dados para o trabalho.

Aos meus irmãos: Saquina Simone, Maria Simone, Raquel Matuquela Taiela, Olinda Matuquela Taiela, Joana Rafael, Saraiva Rafael, Lígia Simone, Graciete Rafael, Manuel simone, Amélia Simone, seu primo Francisco Notíço, sua cunhada Adelina António Mabecuana pelo apoio moral e material que me foi prestado ao longo de todos os anos de minha formação e a memória da sua irmã Helena Simone.

Aos meus amigos e colegas: Brizito José Francisco, Jonas Nombora Zucule e Isaias Nemba Uaene pelo apoio igualmente prestado.

Seus sobrinhos: Maria Stela Mabecuane, Coleta Diawara e Hélio Daniel Mabecuane, pelo apoio moral prestado em particular o último pelo apoio material e técnico na execução do presente trabalho da licenciatura.

## RESUMO

Uma estimativa possivelmente, optimista, avalia que a produção actual de energia eólica no Mundo deverá ser aproximadamente igual a  $5 \cdot 10^5$  t de carvão ano.

O aquecimento do planeta terra nos últimos anos tem sido uma preocupação para todo o mundo, devido as consequências daí resultantes, é sabido, em última análise, que todo o ser vivo está sendo colocado em perigo devido a este fenómeno. A principal causa é resultado do desenvolvimento tecnológico e com o advento da máquina a vapor e de explosão e que são de maior rendimento que as primeiras máquinas inventadas pelo homem moinho de vento e navegação a vela. Para que este problema seja minimizado para padrões aceitáveis, é necessário e urgente o uso de energia de recursos renováveis. O uso da energia eólica é uma medida que propomos como fonte alternativa.

Hoje em Moçambique, a utilização deste tipo de energia é bastante fraca e os poucos moinhos de vento que foram introduzidos não se mostraram adequados devido a fraca assistência técnica.

Neste trabalho fez-se uma avaliação do valor médio da energia eólica e sua variação com o tempo na região da cidade de Maputo. Os resultados obtidos mostram que os níveis de energia satisfazem as necessidades básicas da população.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Este trabalho foi completamente realizado com base no material que ao longo do mesmo se fez referência. As ideias originais nele expressas, são de inteira responsabilidade do autor.

Maputo, maio de 2002

O autor

---

(Alberto Matuquela Taiela)

## ÍNDICE

Dedicatória.....	I
Agradecimentos.....	II
Resumo.....	III
Declaração de honra.....	IV
Índice.....	V-VI
1 Introdução.....	1
2 Objectivos.....	2
3 Fundamentos teóricos.....	2
3.1 Movimento do ar na atmosfera e suas causas.....	2
3.2 Força que se exerce sobre o ar em movimento.....	2
3.2.1 Força de gradiente de pressão.....	2
3.2.2 Força de Coriolis.....	4
3.2.3 Força centrífuga.....	6
3.2.4 Força de atrito.....	7
3.3 Comportamento do vento em Moçambique.....	9
3.4 Medição do vento.....	10
3.4.1 Velocidade do vento.....	10
3.5 Energia proveniente do vento.....	11
3.5.1 Tipos de turbinas.....	12
3.5.1.1 Máquinas de eixo horizontal.....	15
3.5.1.2 Máquinas de eixo vertical.....	15
3.5.1.3 Concentradores.....	16
3.5.2 Equação da energia do vento.....	18
3.5.3 Impulso nas turbinas.....	21
3.5.4 Torque.....	25
3.5.5 Harmonização Dinâmica.....	26
3.5.5.1 Cume da Taxa de Velocidade.....	26
3.5.5.2 Extensão da Teoria do Momento Linear.....	29
3.5.6 Geração de Electricidade.....	31
3.5.6.1 Geradores.....	32
3.5.7 Energia mecânica.....	34
3.5.7.1 Transporte marítimo.....	34
3.5.7.2 Moínho de grau.....	34
3.5.7.3 Água bombeada.....	34



4	Metodologia.....	35
5	Resultados.....	37
5.1	Calculo de Erros.....	51
6	Conclusões.....	51
7	Recomendações.....	52
8	Bibliografia.....	52
9	Anexos.....	53

## **I - Introdução**

A energia eólica é menos utilizada que no passado. Com efeito, tanto os moinhos de vento e a navegação a vela que foram os primeiros motores que foram inventados pelo homem e que até há relativamente pouco tempo se revestiam de grande importância para a humanidade, começaram a perder interesse com o advento da máquina a vapor e do motor de expulsão que são de maior rendimento e não estão sujeitos às contingências dos primeiros.

Estas máquinas que hoje são usadas e que são de maior rendimento, usam combustíveis fósseis e o uso sistemático destes combustíveis não se mostra adequado nem seguro. Primeiro porque são os principais responsáveis pela poluição do meio ambiente e conseqüentemente o aquecimento do globo terrestre "efeito estufa" e as conseqüências nefastas daí resultantes que perigam em última análise a própria sobrevivência dos seres vivos na terra. Em segundo lugar estes combustíveis, provêm de fontes susceptíveis ao esgotamento.

Estes factos que são preocupantes, impõe ao homem a adopção de medidas adequadas para pôr cobro a esta situação. A solução é a substituição paulatina de motores que usam combustíveis fósseis por motores que usam a energia de recursos renováveis.

Por isso o novo milénio e particularmente o século XXI, é tido como o século de mudança do uso de energia de recursos não renováveis para o uso de energia de recursos renováveis no funcionamento dos motores. É por isso que o estudo do clima eólico se reveste de grande importância, para os desafios do novo século.

Sabe-se que Moçambique dispõe de um vasto leque de energia de recursos renováveis, de igual modo sabe-se que o seu aproveitamento é deveras insignificante devido aos elevados custos no seu transporte. Estamos a falar da energia hidro - eléctrica, esta situação leva a que várias regiões não se beneficiem desta energia, como sempre as zonas rurais são as mais prejudicadas e cenários apontam que dezenas ou centenas de anos se passarão para que regiões recôndidas do nosso território possam ser beneficiárias deste recurso energético. E continuamos de forma desastrosa a assistir o ritmo de desflorestamento que ocorre e com tendências para a desertificação, como conseqüência do aproveitamento do combustível lenhoso com o índice de poluição atmosférica relevante. Esta situação precisa ser travada alocando a população outras formas de energia mais baratas, renováveis e não poluentes.

No conjunto destes problemas, a energia eólica aparece como uma das fontes seguras. No entanto o aproveitamento deste tipo de energia é extremamente adequado para as zonas rurais assim como para a cidade, a sua utilização carece de um estudo de viabilidade energética e económica de cada zona que se pretende implantar.

## **2 - Objectivos**

- 1 – Avaliar a energia eólica na região da cidade de Maputo
- 2 – Avaliar o comportamento da energia eólica em função do tempo variação (anual, mensal, diária e horária).
- 3 – Despertar a opinião pública para o interesse no estudo e aproveitamento deste recurso energético disponível.
- 4 – Contribuir na criação de uma base de reflexão em resposta ao desafio do novo século “século de renovação” no uso de energia de fontes esgotáveis e poluentes para o uso de recursos renováveis e não poluentes.

## **3- Fundamentos Teóricos**

### **3.1 Movimento do ar na atmosfera e suas causas.**

Designa-se por vento ao movimento horizontal do ar relativamente á superfície do Globo Terrestre. A causa primária do vento é a desigual distribuição horizontal da pressão atmosférica, representando uma tentativa da natureza para estabelecer o equilíbrio dessa pressão.

Os movimentos verticais do ar são mais conhecidos por correntes. Diz-se assim correntes ascendentes e correntes descendentes.

### **3.2 Forças que se exercem sobre o ar em movimento**

#### **3.2.1 Força de gradiente de pressão**

Devido a desigual distribuição da pressão atmosférica, uma partícula de ar fica sujeita a uma força chamada força de gradiente de pressão que tende a movê-la das altas para as baixas pressões.

O gradiente horizontal de pressão é definido pelo decréscimo da pressão atmosférica por unidade de distância, medido normalmente ás isóbaras e na direcção em que a pressão decresce com mais rapidez. O gradiente de pressão é assim:

Normal ás isóbaras.

Dirigido das altas para as baixas pressões e.

Inversamente proporcional á distância entre as isóbaras.

A fig 3.2.1 representa uma carta isobárica, mostrado para o hemisfério sul, um centro de altas pressões **A** e o outro de baixas pressões **B**, apartir do centro de altas pressões a pressão diminui progressivamente para qualquer direcção, duas direcções do gradiente de pressão são indicadas pelas rectas 1 e 2 que pela própria definição fazem um ângulo recto com as isóbaras, dirigido, como se vê, das altas para as baixas pressões. Isóbaras próximas umas das outras indicam que o gradiente é forte, variando rapidamente a pressão com as distâncias relativamente curtas causando ventos fortes, isóbaras muito separadas indicam um gradiente fraco, ocasionando ventos igualmente fracos. Calmo observa-se no centro do anticiclone.

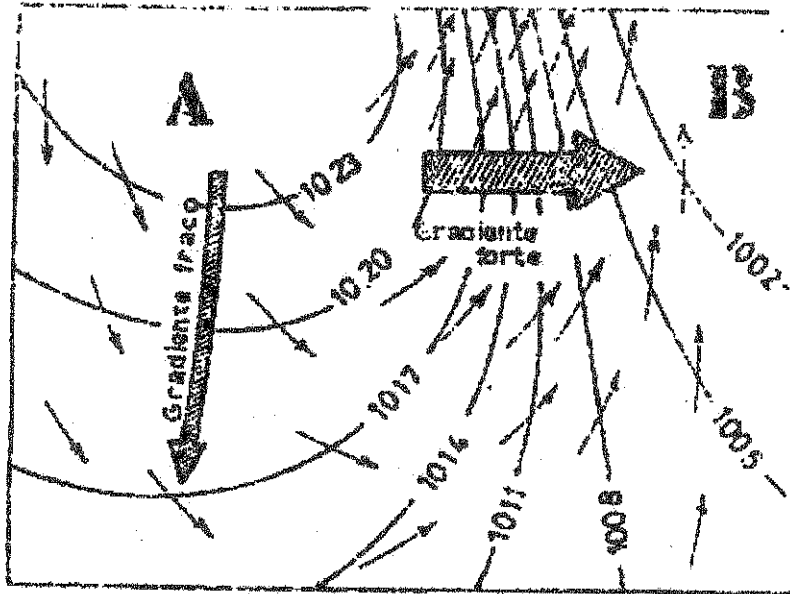


Fig. 3. 2.1 Direcção e sentido da força de gradiente de pressão, numa carta isobárica.  
(Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972)

Consideremos uma partícula de ar ABCD Fig. 3.2.2 com  $1\text{ cm}^2$  de secção entre as isóbaras P e  $P+\Delta P$ .

Sendo a pressão uma força na unidade de área, a diferença de pressão  $\Delta P$  representa a força actuando sobre a partícula e dirigida da pressão mais alta para a mais baixa. Se representarmos a distância entre as isóbaras, medida segundo a normal, por  $\Delta d$ , a força de gradiente de pressão por unidade de comprimento será:

$$F_p = -\Delta P / \rho \Delta S \quad (3.2.1)$$

Sendo, portanto, inversamente proporcional a distância entre isóbaras e directamente proporcional á diferença de pressão.

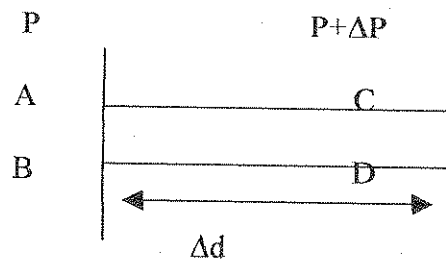


Fig. 3.2.2 Uma partícula de ar ABCD com  $1\text{cm}^2$  de secção entre as isóbaras P e  $P+\Delta P$ . (Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972)

### 3.2.2 Força de Coriolis.

Se a terra não girasse sobre o seu eixo os ventos seguiriam a direcção do gradiente de pressão. Mas devido ao movimento de rotação do planeta observa-se outro efeito sobre as partículas do ar em movimento, efeito que é conhecido por força de Coriolis. Esta força actuando sobre as partículas do ar logo que estas iniciam o movimento por acção da do gradiente de pressão altera-lhes a trajectória, desviando-as daquela que as partículas seguiriam por efeito da força de gradiente.

A acção da força de Coriolis pode ser expressa pela lei de Ferrel: Qualquer objecto ou fluido movendo-se horizontalmente tende a desviar-se para a direita da sua trajectória no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul, independentemente da direcção do seu movimento.

A força de Coriolis não é uma força real, mas sim aparente, pois não envolve qualquer ganho ou perda de energia, representando o resultado de dois movimentos: (a) o movimento de rotação da terra; e (b) o movimento do corpo em relação á rotação da terra. Devemos, portanto, ter em atenção que o vento observado representa sempre o movimento do ar relativo a rotação da terra.

O efeito da rotação da terra sobre a direcção do vento é expresso pela expressão:

$$D=2\rho v\Omega \sin\varphi \quad (3.2.2)$$

D - É a força ou aceleração de Coriolis por unidade de volume.

V - É a velocidade do vento geostrofico.

$\Omega$  - É a velocidade angular da terra ( $2\pi$  em 24horas)

$\varphi$  - É a latitude

$\rho$  - É a densidade do meio.

Pela análise da fórmula 3.2.2, chegamos a conclusão de que, a força de Coriolis é máxima nos polos ( $\sin\varphi=1$ ) e mínima no equador onde se anula ( $\sin\varphi=0$ ).

Como consequência desse facto, o ar é menos desviado nas baixas latitudes do que nas latitudes altas onde o vento sofre um desvio maior.

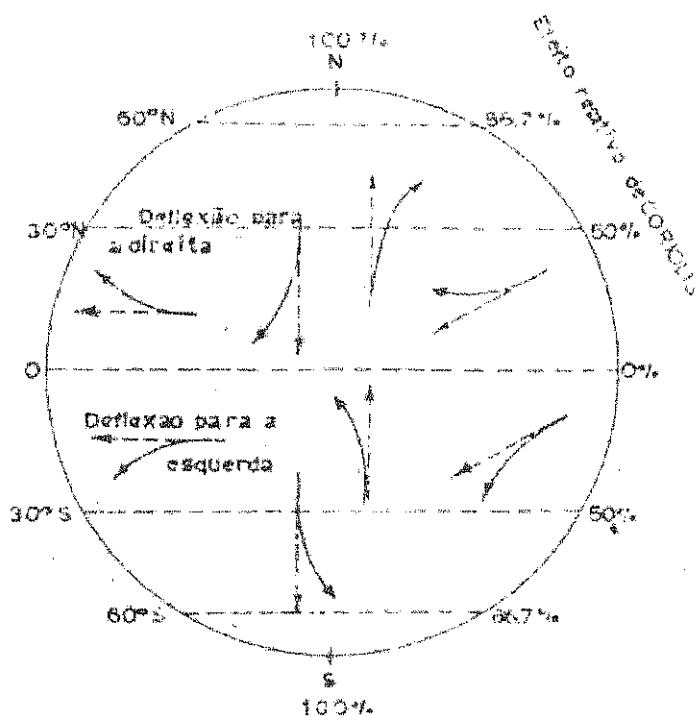


Fig. 3.2.3 Efeito do Coriolis em diferentes locais e a sua orientação.  
( Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972)

Os dois factos importantes da força de Coriolis são, portanto os seguintes:

- O ar em movimento desvia-se para a esquerda no hemisfério sul e para a direita no hemisfério norte.
- Para um determinado lugar a velocidade do vento é afectada pela força de Coriolis.

Assim, a velocidade do vento é determinada essencialmente pela inclinação barométrica, ou seja, pela variação horizontal da pressão atmosférica por unidade de distância, se bem que a densidade do ar, a latitude e o atrito influenciam em certa medida essa velocidade. Na atmosfera livre, o efeito de atrito da superfície do globo já não se exerce, ou é muito reduzido, a direcção do vento é paralela as isóbaras vento geostrófico e o ar pode desse modo ser encarado como um fluxo que se desloca entre as isóbaras da mesma maneira que a água corre num rio. Quando o rio é estreito o fluxo é rápido e quando é largo o fluxo é lento.

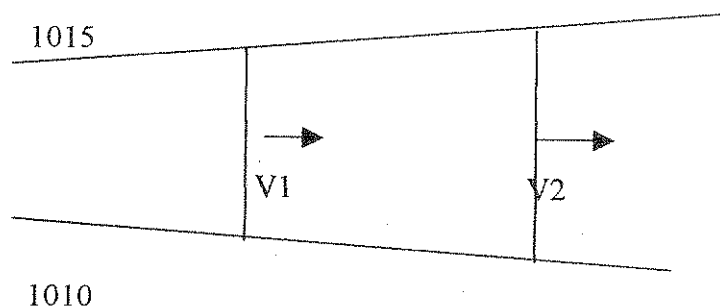


Fig. 3.2 Efeito da distância entre as isóbaras sobre a velocidade do vento, ( $v_1 > v_2$ )  
( Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972 )

Pode-se, deste modo, determinar a velocidade do vento pela distância entre as isóbaras, principalmente quando o vento é geostrófico. Veja vento geostrófico.

Existem tabelas e escalas que permitem em função dessa distância e da latitude determinar directamente essa velocidade.

Em função da variação da força de Coriolis com a latitude, aumentando, como se disse, do equador para os polos, a velocidade do vento para a mesma distância entre as isóbaras diminui no mesmo sentido. Assim, por exemplo, uma diferença de pressão de 2.5mb entre dois pontos situados a distância de 150km resulta uma velocidade de vento geostrófico de cerca de 60km/h para a latitude de 40°, 45km/h para a latitude de 60° e 38km/h para a latitude de 80°.

### 3.2.3 Força centrífuga

Quando a trajectória da partícula de ar é curvilínea actua também sobre ela a força centrífuga, também conhecida ou chamada força ciclostrófica, que por unidade de volume se exprime pela conhecida expressão:

$$F_c = \rho v^2 / r \quad (3.2.3)$$

$F_c$  - Força centrífuga

$\rho$  - É a densidade do ar

$v$  - Velocidade do ar

$r$  - Raio da curvatura

Esta força é em geral, de muito pequena importância sobre a direcção do vento, porquanto o raio de curvatura é normalmente muito grande, podendo atingir muitos milhares de quilómetros. Ela só é importante quando o raio de curvatura é relativamente pequena como sucede em depressões muito acentuadas, designadamente em ciclones tropicais.

### 3.2.4 Força de atrito

Outra força que se exerce sobre o ar em movimento é a provocada pelo atrito da superfície do globo, influenciando tanto a velocidade como a direcção do vento. Com efeito, a força de atrito, actuando paralelamente, à direcção do vento mas em sentido oposto, faz diminuir a sua velocidade, destruindo o equilíbrio que se verifica no vento geostrófico entre as forças de gradiente de pressão e a força de Coriolis. Como esta última é proporcional á velocidade do vento é, por conseguinte, diminuída, tornando-se então preponderante a força de gradiente de pressão.

Sendo assim, o ar desviado para o centro das baixas pressões, como se vê pelo esquema da fig. 3.2.5.

O vento sopra, por conseguinte, á superfície do globo não paralelamente ás isóbaras, como na atmosfera livre fora da acção do atrito da superfície do globo, mas sim obliquamente através das isóbaras, deflectindo para a esquerda no hemisfério sul (H.S) e para a direita no hemisfério norte (H.N), e fazendo com elas um ângulo variável de 20° e 45° em função da rugosidade da superfície. O ângulo será grande quando a superfície for muito rugosa e pequeno quando a superfície for lisa como nos oceanos e planícies. A velocidade será reduzida em função da grandeza da força de atrito.

Em ambos os hemisférios, portanto, o ar converge para os centros de baixas pressões e diverge para os centros de altas pressões.

Tomando em consideração a força de atrito o ângulo ( $\alpha$ ) que a direcção do vento faz com o gradiente de pressão pode ser expressa pela expressão:

$$\text{Tg}\alpha = 2\Omega \sin\varphi / k \quad (3.2.4)$$

$\varphi$  - É a latitude do lugar

$\Omega$  - Velocidade angular da terra ( $2\pi$  em 24 horas)

$k$  - Coeficiente de atrito

Esta formula indica que quando ( $k$ ) diminui ( $\alpha$ ) aumenta. Se ( $k$ ) é próximo de zero, como se verifica á superfície dos oceanos ( $\alpha$ ) é aproximadamente igual a 90°, isto é, sobre a superfície da água o vento se aproxima do vento geostrófico.

O coeficiente ( $k$ ) pode ser obtido pela medição do ângulo que a direcção do vento observado á superfície faz com a direcção do gradiente de pressão e, por conseguinte, a distribuição do vento á superfície permite-nos apreciar o efeito de atrito.



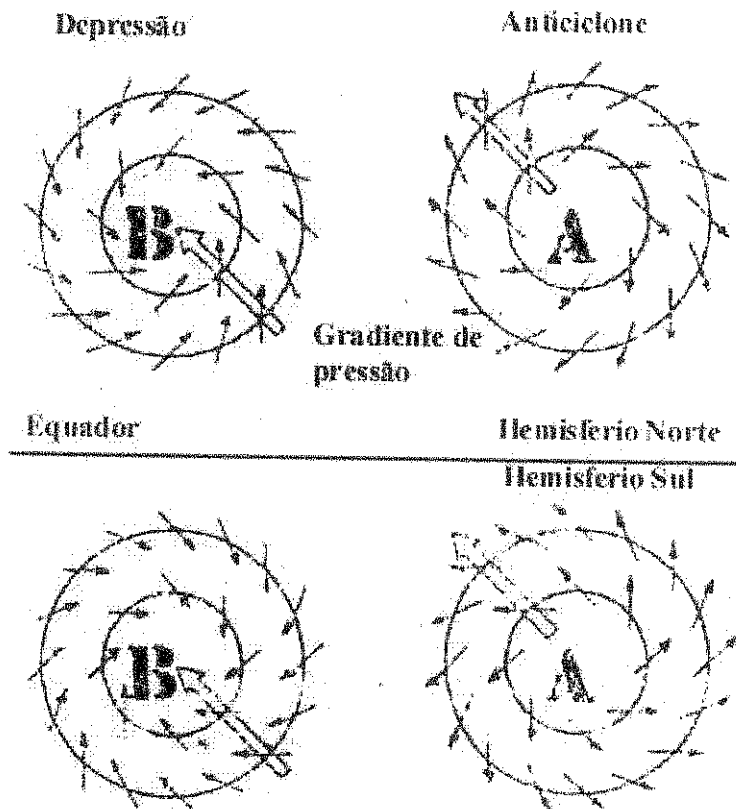


Fig. 3.2.5 Efeito da força de atrito.  
(Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972)

Atendendo ao facto do atrito sobre os oceanos ser menor que sobre os continentes podemos concluir que para um dado valor de gradiente de pressão os ventos são mais fortes e mais próximos do paralelismo com as isóbaras sobre os oceanos do que sobre os continentes. Sobre aqueles a direcção do vento, em geral, não ultrapassa  $20^\circ$  em relação à direcção das isóbaras e o vento é aproximadamente  $2/3$  do vento do gradiente, e sobre os continentes o atrito depende do relevo do solo, variando o ângulo referido de  $25^\circ$  a  $40^\circ$  e sendo maior a diminuição da velocidade do vento.

O efeito de atrito diminui com a altitude e a cerca de 100m os seus efeitos são já desprezíveis. Acima dessa altitude os ventos sopram, portanto, paralelamente às isóbaras, isto é, são ventos geostróficos. Aquele nível chama-se nível de gradiente e a camada da superfície do globo até esse nível denomina-se camada de atrito, dependendo a sua espessura, da velocidade do vento, estabilidade do ar e da natureza do revestimento do solo etc.

Se o vento dentro da camada de atrito for representada por um diagrama radial verifica-se uma variação análoga à indicada na Fig. 3.2.6. Vê-se que aos níveis mais baixos o vento varia rapidamente com a altitude mas que essa variação decresce depois lentamente à medida que se aproxima do vento geostrófico no topo da camada de atrito.

A teoria da variação do vento por efeito de atrito foi primeiramente desenvolvida por Ekman que verificou que essa variação podia ser representada por uma espiral, como mostra a Fig. 3.2.6, que é conhecida por espiral de Ekman.

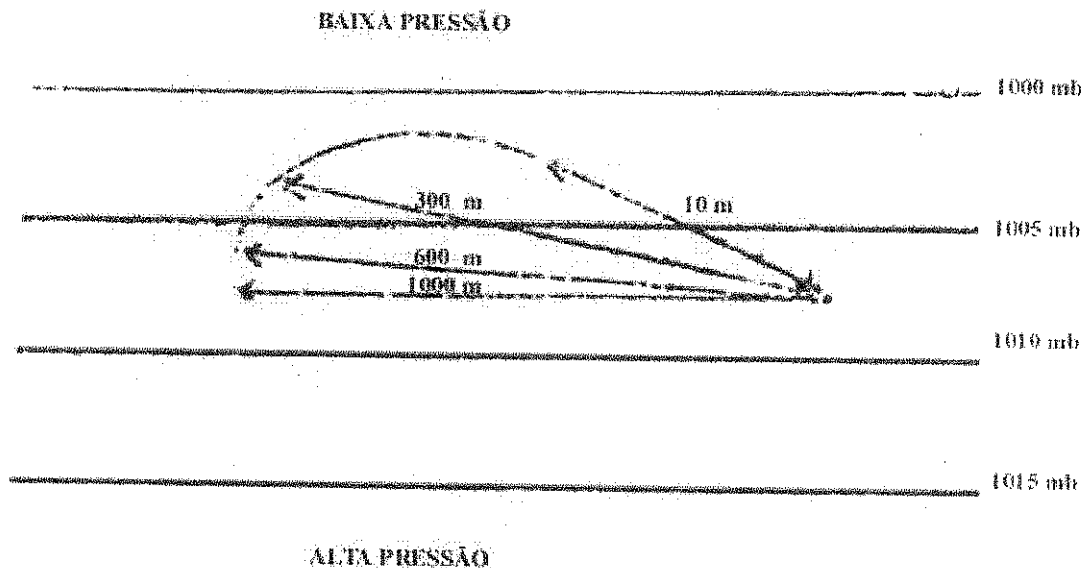


Fig. 3.2.6 Efeito do atrito sobre o vento com altitude (H.S)  
(Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972)

### 3.3. Comportamento do vento em Moçambique

O regime de ventos em Moçambique é essencialmente influenciado pela circulação da atmosfera na África meridional que por sua vez está condicionada por vários centros de acção cujos principais em relação a Moçambique são:

- O anticiclone subtropical do Índico.
- A cintura de baixas pressões equatoriais zona de convergência Intertropical.
- Depressão de origem térmica que se desenvolve sobre o continente na época quente.
- Um anticiclone de origem térmica que se estabelece na época seca na parte meridional do continente Africano.

Os vales depressionários que acompanham o movimento das depressões subtropicais que afectam por vezes as regiões do litoral dos distritos de Maputo, Gaza e Inhambane.

### 3.4 Medição do vento

#### 3.4.1 Velocidade do vento

A velocidade do vento exprime-se em km/h, m/s ou nós ( milha marítima por hora), a relação entre estas medidas é a seguinte:

$$1\text{m/s}=3.6\text{km/h}$$
$$1\text{nó}=1.853.2\text{m/h}$$

Podendo-se considerar que:

$$1\text{m/s}=2\text{nós}$$

Com o erro de 3%.

A velocidade do vento é medida por meio de instrumentos designados por anemómetros ou anemógrafos. Para o presente trabalho o instrumento usado foi o anemógrafo.

Contudo, quando não se dispõe desses instrumentos avalia-se a velocidade do vento por estimativa, segundo uma descrição dos efeitos do vento sobre os objectos observados em terra ou no mar. Para esse fim, existe uma escala numérica, internacionalmente adoptada que se chama escala de Beaufort que foi idealizado pelo Almirante Beaufort em 1808.

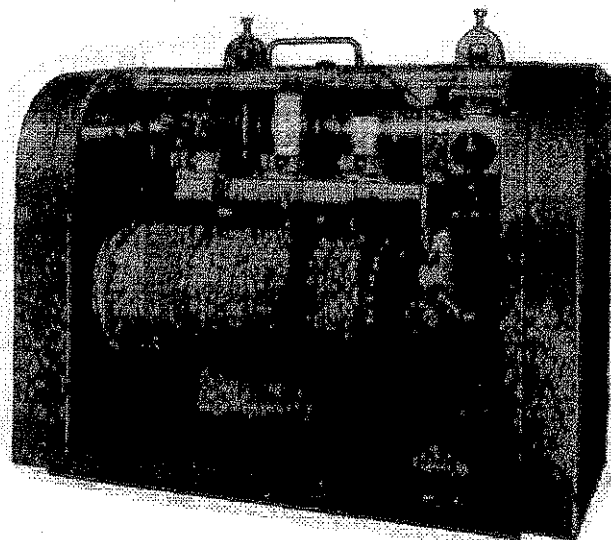


Fig. 3.4.1 Anemógrafo Eléctrico Universal(R.FUESS)  
(fotografia estraida de catálogo)

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

No entanto como primeira etapa do estudo do comportamento do vento, o estudo é realizado apenas para a cidade do Maputo com a observação horária da velocidade do vento ao longo

dos meses de janeiro a outubro de 1999 e observações mensais e anuais do vento ao longo dos anos de 1970 a 1999.

Os dados recolhidos são assim apresentados em tabelas que se seguirão no capítulo 5 e nos anexos em km/h bem como em m/s.

### **3.5 Energia proveniente do vento**

A extracção da energia proveniente do vento com modernas turbinas e o sistema de conversão de energia está estabelecido na indústria. As máquinas são facturadas com a capacidade para poucos (kw) até vários (Mw) na Europa e Estados Unidos da América e, crescentemente, em outras partes do mundo. Muitas máquinas são construídas para a produção de electricidade.

Na secção que se segue mostra-se que a velocidade do vento ( $u_0$ ) e a densidade ( $\rho$ ), a turbina intersecta a secção cruzada ( $A$ ) do vento frontal poderá produzir a energia pela fórmula:

$$P_T = 1/2 c_p A \rho u_0^3 \quad (3.5.1)$$

Aqui ( $c_p$ ) é o factor de eficiência chamado de coeficiente de energia. Observa-se que a energia ( $P_T$ ) é proporcional para ( $A$ ) e o cubo da velocidade do vento ( $u_0$ ).

Assim, visto que o dobro de ( $A$ ) poderá produzir duas vezes o valor da energia e o dobro da velocidade do vento produz oito vezes a energia potencial.

O coeficiente de energia ( $c_p$ ) também varia com a velocidade do vento para máquinas individuais.

A energia do vento para a propulsão mecânica, os moinhos e as bombas de água têm sido estabelecidos ou foram estabelecidos há muitas centenas de anos. Os modelos modernos para a produção de electricidade datam desde 1930 até cerca de 1955.

Naquela altura o desenvolvimento abrandou devido à avaliação dos óleos baratos, mas o interesse despertado e o crescimento rápido em 1973.

As poucas máquinas velhas são imóveis e capazes de operar exemplo o (o Gedser com 100kw com 24 metros de diâmetro, construída em 1957), mas muitas máquinas têm sido construídas desde cerca de 1980 e incorporadas em esboços de engenharia moderna e material. De importância particular têm sido o uso de controlo micro-eléctrico monitor.

O critério de esboço original é a necessidade da protecção da máquina contra danos nas frequentes forças de vento turbulento.

A velocidade do vento cresce com a altura e as componentes horizontais são significativamente grandes que as componentes verticais. Os últimos mais importantes na criação de rajadas de ventos e pequenas variações térmicas. A energia cinética armazenada no vento é de cerca de  $7.0 \cdot 10^{21}$  Joules, e esta é dissipada pela fricção, principalmente no ar mas também pelo contacto com a terra e mar. Cerca de 1% da absorção da radiação solar,  $1200 \text{ TW}$  ( $1.2 \cdot 10^{15}$  Watt), é dissipada nesse caminho.

Os sistemas de energia de vento autónomos tem grande potencial como substitutos do uso de óleo em aquecimento ou para a geração de electricidade proveniente das máquinas diesel. Estes sistemas são particularmente aplicáveis para zonas remotas e para comunidades de ilhas.

### **3.5.1 Tipos de turbinas**

Os nomes dos diferentes tipos de vento de turbina dependem da sua geometria, e a medida que o vento passa através das lâminas fig. 3.5.1 mostra a chegada do vento em movimento nas pás das lâminas e indica as forças essenciais e o movimento relativo que ocorre.

O curso natural do ar de velocidade ( $u$ ) tem a velocidade ( $v_r$ ) relativo para a lâmina de secção de velocidade ( $v$ ). Como o ar é perturbado pela lâmina, a acção da força a qual é composta por duas componentes, os principais factores são:

1. A força de atrito ( $F_D$ ) é a componente em linha com a velocidade relativa ( $v_r$ )
2. A força de ascensão ( $F_L$ ) é a componente perpendicular para ( $F_D$ ).  
O uso da palavra (ascensão) não significa que ( $F_L$ ) é necessariamente ascendência, e deriva da equivalência da força em voo do aeroplano.
3. Movimento rotacional . A ocorrência do ar como o curso natural do fluxo de ar á volta da lâmina, este pode ser aparente como vórtice distintivo e redimuinho (turbulência do ar) criado próximo da superfície da lâmina. Neste caso o movimento dos aeroplanes é livre.
4. O ar é perturbado pelo movimento da lâmina, e o fluxo vêm irregularmente e perturbado. Ocorre antes e depois de rotação das lâminas, assim cada lâmina individualmente pode muitas vezes ser movida na turbulência criada por outra lâmina.

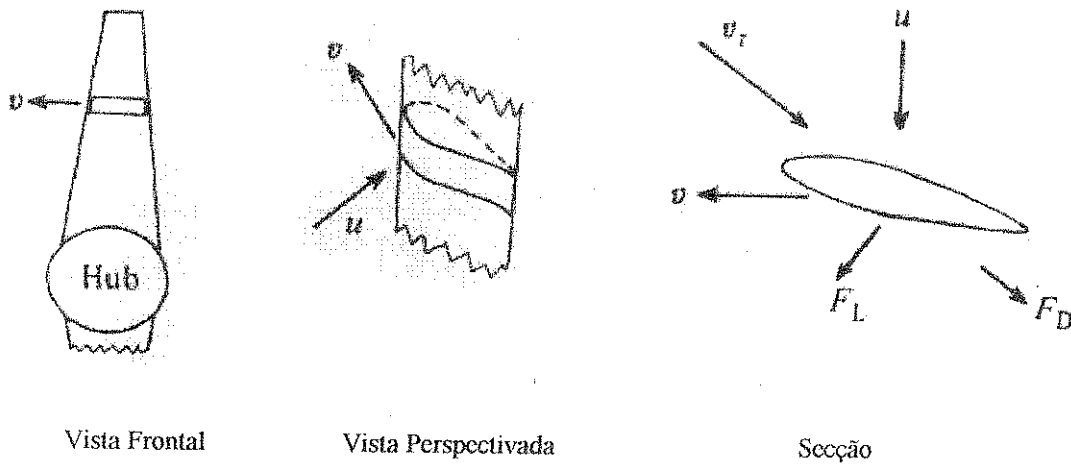


Fig. 3.5. velocidades e forças no movimento de ar nas secções das pás.  
Velocidades: (u) vento, (v) secção das lâminas, ( $v_r$ ) velocidade relativa do vento na secção. Forças: ( $F_D$ )  
força de atrito em linha com ( $v_r$ ), ( $F_L$ ) perpendicular para ( $F_D$ ).  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

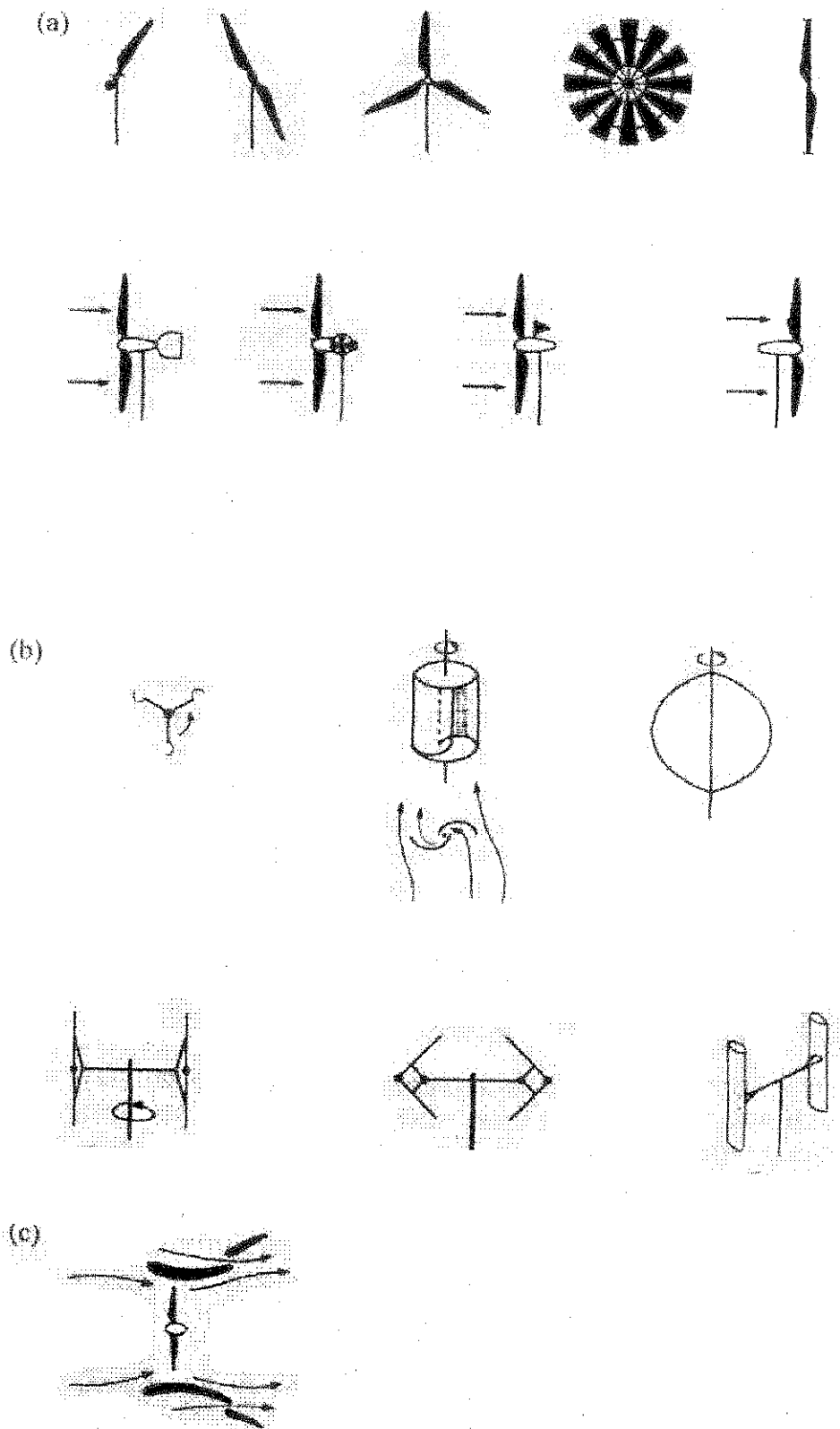


Fig. 3.5.2 Classificação do vento nas turbinas (a) eixos horizontais, (b) eixos verticais, (c) concentradores.  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

### **3.5.1.1 Máquinas de eixo horizontal**

Consideremos aqui o tipo de propulsor. A força de condução dominante é a ascensão. As lâminas no rotor podem ser frontais ( recepção frontal do vento pelas pás) ou por trás ( recepção traseira de vento pelas pás) veja fig. 3.5.2 (a) da protecção. A recepção frontal do vento nas turbinas necessita uma extremidade ou algum outro mecanismo para manter a orientação, tal como o lado coberto da ventoinha na extremidade do rotor. A recepção traseira do vento nas turbinas poderá ser livre e seriamente afectado pela protecção a qual produz ventos de protecção e turbulência no intervalo das lâminas. Perturbações deste tipo causam stress cíclicos na estrutura, barulho e flutuações na saída.

O vento pode ser esperado para mudança de direcção frequentemente no plano horizontal, e o rotor deve girar (desvio) para seguir o vento sem oscilação. Recepção frontal e traseira do vento pelas máquinas de grande capacidade de cerca de 50kw são usualmente girados pelos motores eléctricos no controle do modelo.

Dois a três lâminas de rotor são vulgarmente usadas para a geração de electricidade. As três lâminas de rotor operam na calma e podem ser de conexão cruzada para grande rigidez.

As multilâminas do rotor, têm alto arranque do torque, do ponto de vista do vento são usados para a bombagem de água e outros de baixa frequência de energia mecânica.

### **3.5.1.2 Máquinas de eixo vertical**

Pelo movimento circular com o eixo vertical, a máquina pode aceitar o vento de qualquer direcção sem nenhum ajustamento. O outro principal beneficio é que a engrenagem e o gerador podem ser directamente acoplados para o eixo ao nível do solo. As principais desvantagens são (1) muitas máquinas de eixo vertical têm sofrido fracasso devido a fadiga que surge de muitas ressonâncias naturais na estrutura, e (2) o torque rotacional proveniente do vento varia periodicamente dentro de cada ciclo, e assim energia periódica não necessária aparece na saída. Como resultado a grande maioria dos trabalhos das máquinas são de eixo horizontal e não de eixo vertical. Não obstante a frequência e o desenvolvimento de vários tipos de máquinas de eixo vertical continuar, para configurações pequenas e sistemas comerciais largos.

(1) Anemómetro de concha: Este dispositivo gira pela força de atrito. A forma desta concha produz a proximidade linear da relação entre a frequência rotacional e a velocidade do vento.

(2) Rotor de Savonius (máquina de turbo): Nesta há um complicado movimento do vento do princípio ao fim e á volta de duas curvas de ar nas lâminas. A força de condução é o atrito. A construção é simples e económica. A alta solidez produz um alto arranque do torque, assim os rotores de Savonius são usados para bombas de água.

(3) Rotor Darrieus: Este rotor têm dois ou três lâminas curvilíneas delgadas com algum ar na secção das lâminas. As forças de condução são de ascensão, com máximo torque ocorrendo quando a lâmina é movida cruzando o vento em uma velocidade muito grande do que a



velocidade do vento. São usadas para a geração de electricidade. O rotor não é usado para o seu auto-arranque. Por conseguinte o movimento pode ser iniciado com o gerador eléctrico usado como um motor.

(4) Rotor de Musgrove: As lâminas desta forma de rotor são verticais para energia de geração normal, mas o tipo gira em volta de um ponto horizontal para o controlo ou para suprimir. Aqui existem várias variações ver fig. 3.5.2, as quais são todas desiguais para terem vantagem de estar intacto e suprimir-se em ventos fortes.

(5) Rotor Evans: As lâminas verticais torcem em volta do eixo vertical para o controlo e suprimir-se.

### **3.5.1.3 Concentradores:**

As turbinas extraem energia proveniente da intersecção do vento, e estas podem ser vantajosas para o tubo ou concentração do vento dentro da turbina no lado da secção de saída do rotor. Vários tipos tem sido desenvolvidos ou sugeridos para eixos de propulsão de turbina horizontal fig. 3.5.2.

(1) Lâminas Tips: Várias lâminas de designação e adaptação são aptos para extrair o ar dentro da secção do rotor e por esta razão a energia em serviço activo da secção cruzada é grande do que na área do rotor.

(2) Concentração de estrutura: As formas de tubo e de deflectores fixados estatisticamente em volta de turbina extraem o vento para dentro do rotor. Concentradores não são ainda geralmente usados para máquinas comerciais.

Na generalidade podemos dizer que: Os motores que usam a força do vento designam-se por rotores ou aeromotores que são essencialmente constituídos por um hélice com duas ou mais pás que giram sob acção do vento e cujo eixo está ligado a um dínamo. A grande vantagem dos aeromotores reside na simplicidade do seu funcionamento e por requerer menos assistência técnica que os outros motores, mas tem o grande inconveniente de serem muito caros, principalmente os de maior potência.

Há vários tipos de aeromotores conforme as necessidades. Assim existem pequenos aeromotores com a capacidade de 1kw utilizados para a iluminação, fornecimento de energia a aparelhos de recepção, para carregar acumuladores, etc.

De 2.5 de 6 e 12kw usados igualmente para a iluminação, em bombas de água para abastecimento de gado, rega de culturas e fornecimento de energia a vários motores agrícolas, nomeadamente para moagem de cereais e outros produtos agrícolas.

Aeromotores mais potentes de 35kw são utilizados para a obtenção de energia eléctrica para iluminação, já em escala maior, e para a mecanização de muitas operações pesadas em exploração agrícolas e pecuária, em indústrias locais etc.

Na Dinamarca existem já aeromotores ainda mais potentes com a capacidade de 70kw e duas instalações de 100kw estão em funcionamento na Inglaterra, a título experimental, utilizando

novas técnicas com base em recentes investigações aeronáuticas, uma delas instalada nas ilhas Orkney e a outra em ST. Albans, no Hertz.

Nos Estados Unidos estão em estudo protótipos de 1000kw antevê-se a possibilidade da construção de outras ainda mais potentes, de ordem de 3000kw, mas, segundo se julga, serão necessários ainda muitos anos de investigação para que unidades de tão grande potência possam entrar em funcionamento.

O aproveitamento da energia eólica esteve até bem pouco principalmente indicada para regiões áridas e ventosas do globo, sem outras fontes de energia, particularmente útil para o funcionamento de bombas de água para a rega. Por exemplo, nas regiões áridas da antiga Rússia Asiática em Atmolinsk, na Kazaquistão, existe uma estação de aproveitamento de energia em grande escala, o que marcou o primeiro passo da exploração extensiva dessa fonte energética para fins agrícolas nas vastas estepes áridas daquele País.

Um aeromotor, contudo, como qualquer outro motor será incapaz de transformar a energia total que lhe é comunicada, havendo um factor de rendimento dependente principalmente do tipo de pás e da sua velocidade em relação com a do vento.

Como quantidade de energia do vento é função da 3ª potência da ( $v$ ), verifica-se que mesmo um pequeno aumento dessa velocidade influi consideravelmente no aumento da energia. Assim, um dos principais problemas do aproveitamento da energia eólica, principalmente em relação aos modelos de aeromotores mais potentes, cujo custo de instalação é muito elevado, diz respeito à prospecção dos locais mais adequados para esse aproveitamento, onde o vento atinge as maiores velocidades da região.

O reduzido aproveitamento actual da energia do vento, mesmo em regiões que oferecem boas condições para esse fim, deve-se a alguns factores:

- (a) Elevado custo dos aeromotores de grande capacidade.
- (b) Variação muitas vezes acentuada da ( $v$ ) do vento, nomeadamente diurnas, o que impede, em geral, o fornecimento regular de energia unicamente por esse meio.
- (c) Dificuldades, ou mesmo impossibilidades, do armazenamento da energia eléctrica nos períodos mais ventosos para ser utilizada nos períodos de vento fraco ou calmo, pois o armazenamento por meio de baterias é muito dispendioso.

Por este motivo, os cientistas que actualmente se estão a dedicar ao problema procuram resolver as dificuldades enunciadas tentando obter aeromotores de custos relativamente mais baixos e meios práticos e económicos de armazenar a energia obtida.

Como resolução para o problema da variabilidade diurna da velocidade do vento, geralmente mais fraca durante a noite, como veremos, têm sido já construído aeromotores acoplados a motores térmicos como meio de manter constante o fornecimento de energia.

### 3.5.2 Equação da energia do vento.

$$P_T = 1/2 \rho A c_p u_o^3 \quad (3.5.1)$$

$P_T$  – Energia do vento

$c_p$  – É o factor de eficiência chamado coeficiente de energia

$u_o$  – Velocidade do vento

$A$  – área circular

$\rho$  - é a densidade do ar

Para uma coluna de forma cilíndrica de secção ( $A$ ) passa uma corrente de ar de densidade ( $\rho$ ) e de velocidade ( $u$ ) constantes tem uma energia cinética por unidade de tempo de forma:

$$P_o = 1/2 (\rho A u_o) u_o^2 = 1/2 \rho A u_o^3 \quad (3.5.2.1)$$



Fig.3.5.3 A massa de coluna é igual a  $(\rho A u)$  e a energia cinética é igual a  $1/2(\rho A u)u^2$   
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir,1986)

A densidade ( $\rho$ ) é função da altura e das condições meteorológicas, a velocidade do vento como se sabe na atmosfera aumenta com a altitude e é afectada pela topografia local e varia com o tempo. Esses efeitos são avaliados nas secções seguintes.

Consideramos ( $u_o$ ) e a ( $\rho$ ) constantes. Ao nível médio das águas do mar toma-se a densidade do ar igual a  $1.2\text{kg/m}^3$ , portanto a energia calcula-se pela equação (3.5.2.1).

Consideremos uma coluna de ar em que a situação é diferente da análise feita, isto, é quando a coluna de ar possui secção não uniforme veja a figura que se segue.

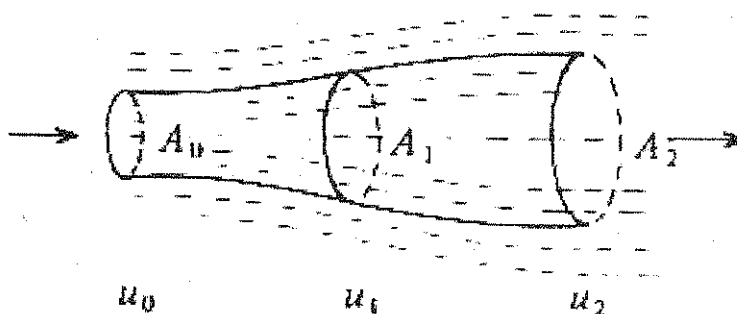


Fig.3.5.4 Expressão do fluxo dentro da coluna, modelo Betz.  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir,1986)

A velocidade do fluxo depende das áreas das secções, quanto menor for a área maior é a respectiva velocidade e vice versa.

A força do fluxo depende da coluna e reduzida a seguinte forma:

$$F = m(u_0 - u_2) \quad (3.5.2.2)$$

Assumindo que o fluxo de ar dentro da coluna é uniforme e de velocidade  $u_1$  a energia extraída na turbina é dada por:

$$P_T = F u_1 = m(u_0 - u_2) u_1 \quad (3.5.2.3)$$

A energia perdida por unidade de tempo pelo fluxo de ar é a energia extraída do vento e é dada por:

$$P_w = 1/2 m(u_0^2 - u_2^2) \quad (3.5.2.4)$$

Igualando (3.5.2.3) e (3.5.2.4) tomando em conta que se trata da mesma energia teremos:

$$u_1 = 1/2(u_0 + u_2) \quad (3.5.2.5)$$

A massa do fluxo do ar dentro do disco "secção 1" por unidade de tempo é dada por:

$$m = \rho A_1 u_1 \quad (3.5.2.6)$$

Tomando (3.5.2.6) em (3.5.2.3) temos:

$$P_T = \rho A_1 u_1^2 (u_0 - u_2) \quad (3.5.2.7)$$

Tomando (3.5.2.5) em (3.5.2.7)

$$P_T = \rho A_1 u_1^2 [u_0 - (2u_1 - u_0)] = 2\rho A_1 u_1^2 (u_0 - u_1) \quad (3.5.2.8)$$

O factor de interferência é a fracção do decréscimo da velocidade dentro da turbina que é:

$$a = (u_0 - u_1) / u_0 \quad (3.5.2.9)$$

Donde vem que:

$$u_1 = -a u_0 + u_0 = u_0(1 - a) = (1 - a) u_0 \quad (3.5.2.10)$$

E usando (3.5.2.5) em (3.5.2.9) temos que:

$$a = [u_0 - (u_0 + u_2) / 2] / u_0 = (2u_0 - u_0 - u_2) / 2u_0 = (u_0 - u_2) / 2u_0 \quad (3.5.2.11)$$

Tomando (3.5.2.10) em (3.5.2.8) teremos:

$$P_T = 2\rho A_1(1-a)^2 u_o^2 [u_o - (1-a)u_o]$$

$$P_T = 4a(1-a)^2 (1/2\rho A_1 u_o^3) \quad (3.5.2.12)$$

Comparando (3.5.2.12) com (3.5.1) podemos estabelecer a seguinte relação matemática

$$P_T = c_p P_o \quad (3.5.2.13)$$

Em que ( $P_o$ ) é a energia em ( $A_1$ ) e ( $c_p$ ) é fracção da energia extraída, o coeficiente de energia.

$$C_p = 4a(1-a)^2 \quad (3.5.2.14)$$

Este coeficiente varia em função de ( $a$ ) isto é em função da velocidade do fluxo, e atinge um valor máximo quando  $a=1/3$  que é:

$$c_{p\text{máx}} = 16/27 = 0.59 \quad (3.5.2.15)$$

Este valor máximo do coeficiente de energia pode ser estudado tomando em conta o estudo da função (3.5.2.14), e obter-se-ia o seguinte:

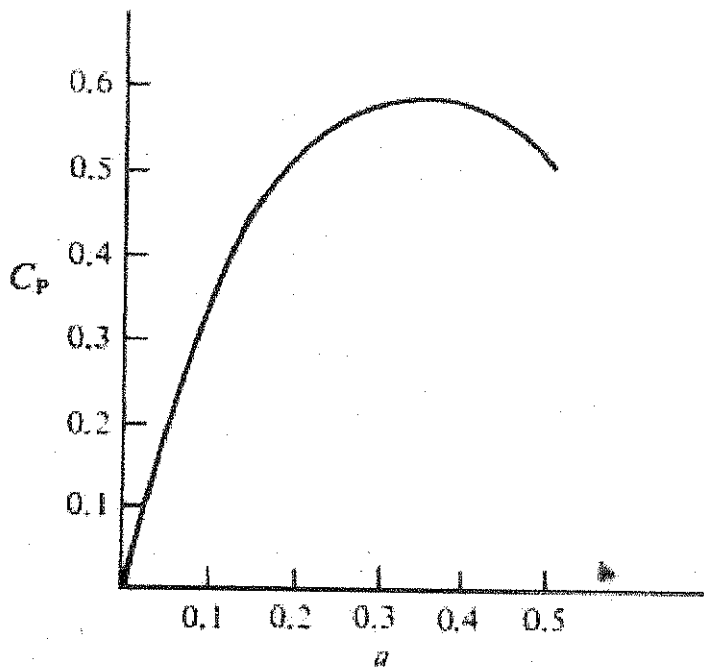


Fig.3.5.5 Gráfico da função  $c_p = 4a(1-a)^2$  onde o valor máximo de  $c_p = 16/27$  para o qual  $a = 1/3$   
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

Só a metade de energia do vento poderá ser extraída porque o ar tem tido energia cinética que liberta na região da turbina, o critério da máxima extração é ( $c_{p\text{máx}}=16/27$ ) é chamado critério de Betz. Poderá ser utilizado em todas as turbinas que funcionam com base nos fluxos de ar. Isto é aplicado para a extração da energia do fluxo das correntes do rio com uma convenção da energia hidro, a água alcança as turbinas para os tubos e dela não flui, só outro critério se aplica.

Nas operações práticas a boa maneira comercial da capacidade máxima do sistema de convenção de energia poderá ter o coeficiente máximo de energia de cerca de 0.4 isto poderá ser descrito tendo uma eficiência relativa para o critério de Betz cerca de  $0.4/0.59=68\%$ .

O coeficiente de energia  $c_p$  é eficiente para a extração de energia de massa de ar que se supõe que passa através do tubo e que vai ativar o disco da secção recta  $A_1$  do tubo. Este ar é proveniente da secção  $A_0$  da coluna. A energia extraída por unidade de área da secção  $A_0$  é maior que a energia por unidade de área  $A_1$  pois  $A_0 < A_1$ .

A máxima energia extraída por unidade de área de secção  $A_0$  é  $8/9$  da energia do vento, e só da turbina tem-se a máxima eficiência de 89% considerando este caminho. Os efeitos deste modelo são importantes para o ordenamento do vento nas turbinas e do vento nas farmas "campo".

### 3.5.3 Impulso nas turbinas

Vamos estabelecer em primeiro lugar a equação de conservação de energia, a equação de Bernoulli:

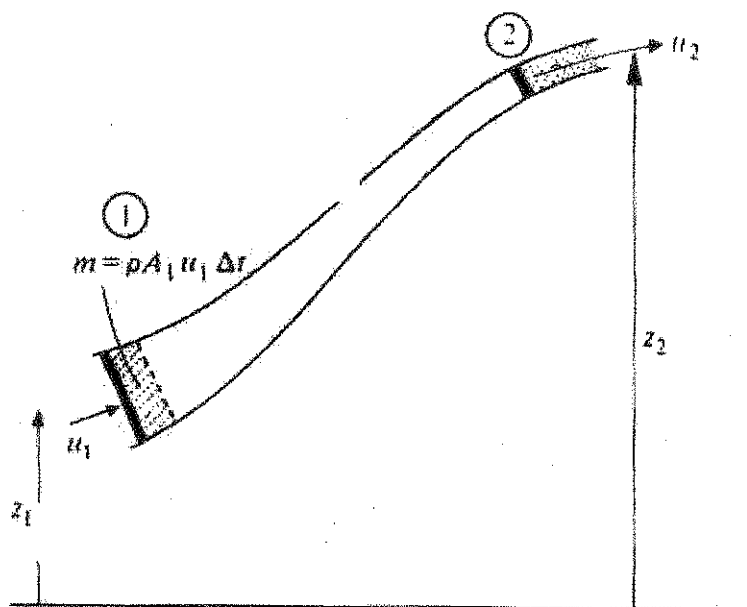


Fig.3.5.6 Ilustração da conservação de energia. Curso natural de de um fluido dentro do tubo com elevação  $z_1$  para  $z_2$ .  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

Consideremos que o mais importante caso de suporte, o mostrado na

fig. 3.5.6 numa situação imaginária do fluxo dentro do tubo. Não há realização do trabalho se o fluxo fazer um vai e vem.

A figura mostra o curso natural dum fluxo dentro do tubo com elevação  $z_1$  para  $z_2$ . O tubo é estreito demais que se pode tomar como constante o fluxo que passa por cada secção do tubo.

Consideremos o volume de ida e volta dentro da linha de curso natural dum fluido e duas camadas perpendiculares que cruzam as secções 1 e 2.

A massa  $m = \rho A_1 u_1 \Delta t$  que entra na secção 1 é igual a massa  $m = \rho A_2 u_2 \Delta t$  que sai em 2.

O balanço energético dentro do fluxo que é a energia potencial perdida mais o trabalho realizado pelas força de pressão é igual ao ganho da energia cinética e o calor perdido pela fricção.

Donde pomos estabelecer a seguinte equação:

$$mg(z_1 - z_2) + [(p_1 A_1)(u_1 \Delta t) - (p_2 A_2)(u_2 \Delta t)] = \frac{1}{2} m(u_2^2 - u_1^2) + E_f \quad (3.5.3.1)$$

Onde a força de pressão  $p_1 A_1$  actua sobre a distância  $u_1 \Delta t$  mesma análise para  $p_2 u_2$  e  $E_f$  é o calor proveniente da fricção.

Podemos desprezar a energia de fricção mas que poderá ser avaliada oportunamente, daí podemos escrever:

Dividindo (3.5.3.1) por  $(m)$  e tomando em conta que  $u_1 \Delta t = h$  realizadas simplificações teremos:

$$P_1/\rho + gz_1 + \frac{1}{2}u_1^2 = p_2/\rho + gz_2 + \frac{1}{2}u_2^2 \quad (3.5.3.2)$$

$$P/\rho g + z + u^2/2g = \text{cont} \quad (3.5.3.3)$$

A equação (3.5.3.3) é uma constante ao longo do tubo.

Tomando em conta a análise feita traduzida nas equações (3.5.3.1) e (3.5.3.2) podemos usar para o cálculo do impulso do vento dentro das turbinas quando tratamos qualquer activador do disco na linha do curso natural de um fluido fig. 3.5.7 O efeito na turbina é de produção da diferença de pressão  $\Delta P$  do fluxo que passa pelas secções 1 e 2.

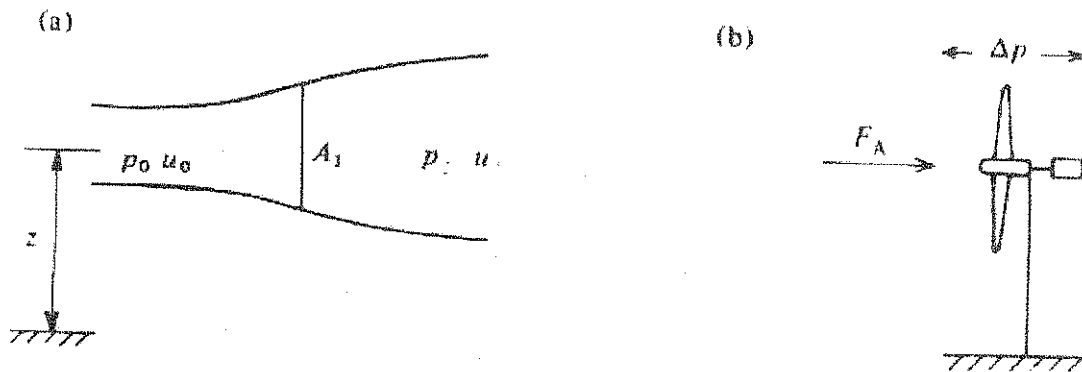


Fig.3.5.7 Impulso na turbina (a) velocidade do fluxo  $u$  pressão  $p$  altura  $z$   
 (b) impulso  $F_A$  diferença de pressão  $\Delta p$ .  
 (Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

Da equação (3.5.3.2) supomos que não há extração de energia sobre o disco.

$$P_0/\rho_0 + gz_1 + u_0^2/2 = p_2/\rho_2 + gz_2 + u_2^2/2 \quad (3.5.3.4)$$

Desprezando a variação da altura e da densidade podemos escrever a seguinte relação.

$$\Delta P = P_0 - P_2 = 1/2(u_0^2 - u_2^2)\rho \quad (3.5.3.5)$$

$\Delta P$  é chamada diferença de pressão estática e  $1/2u^2\rho$ , é pressão dinâmica, o máximo valor de diferença de pressão estática ocorre quando  $u_2$  aproxima a zero.

$$\Delta P_{\max} = 1/2\rho u_0^2 \quad (3.5.3.6)$$

O máximo impulso no disco é:

$$F_{A\max} = 1/2\rho A_1 u_0^2 \quad (3.5.3.7)$$

No eixo horizontal da máquina o impulso é centralizado na turbina do eixo e é chamado eixo de impulso.

Por outro lado sabe-se que o impulso é igual a :

$$F_A = m(u_0 - u_2)$$

Usando as equações (3.5.2.6), (3.5.2.9) e (3.5.2.11) podemos estabelecer a relação seguinte:

$$F_A = 1/2\rho A_1 u_0^2 4a(1-a) \quad (3.5.3.8)$$



O termo  $(1/2\rho A_1 u_0^2)$  poderá ser considerado como a força dada pelo vento quando este atinge o disco.

A fracção desta força experimentada pela turbina em consideração, e o coeficiente da força isto é:

$$F_A = 1/2 c_F \rho A_1 u_0^2 \quad (3.5.3.9)$$

$$c_F = 4a(1-a) \quad (3.5.3.10)$$

$$a = (u_0 - u_1)/u_0 = (u_0 - u_2)/2u_0 \quad (3.5.3.11)$$

O valor máximo do coeficiente de força  $c_F$  poderá ser 1 quando  $a=1/2$  equivalente a velocidade  $u_2=0$ , veja o procedimento do cálculo dos valores máximos e mínimos de uma função.

A máxima energia extraída pelo critério de Betz ocorre quando  $a=1/3$  veja fig. 3.5.5, correspondentes ao valor  $c_F=8/9$ .

Na prática o valor máximo de  $c_F$  no disco sólido é aproximadamente 1.2 devido ao efeito de arestas.

Não obstante o momento linear teórico, mostrar que quando se extrai a energia, o vento proveniente da turbina passa próximo do disco sólido.

É absolutamente enganador para estimar a força na rotação das turbinas pelo vento por semelhança da passagem do vento pela secção  $A_0$  do canal através da abertura entre as lâminas.

Se da turbina extrai-se uma energia eficiente é que essas aberturas não são aparentes e a força de impulso é extremamente larga.

O termo  $1/2 A_1 u_0^2$  da equação (3.5.3.8) mostra que cresce rapidamente com o crescimento da velocidade do vento e na prática normal o vento nas turbinas é incapaz de receber as forças de impulso para velocidade de vento acima de 15 a 20 m/s.

As soluções para contornar estas situações são:

- 1 - Virar a turbina fora do alcance do vento.
- 2 - Para diminuir a extracção da energia e por essa razão o impulso pela rotação das lâminas ou pela ampliação das asas.
- 3 - Para esboço de lâminas fixas assim estes tornam-se extremamente ineficientes e sozinhos falham em altas velocidades do vento.
- 4 - para pararem a rotação por travagem. Método 3 é talvez o melhor, dá-nos segurança de operar em baixos custos sem vários stresses na maquinaria. Contudo, a falha sozinha das

$$c_p = c_T \lambda \quad (3.5.4.7)$$

Nota-se que na prática  $c_p$  e  $c_T$  poderão juntos serem funções de  $\lambda$  e não são constantes. Pelo critério de Betz o máximo valor de  $c_p=0.59$ , para o caso ideal, então tem-se que:

$$(c_T)_{\max} = 0.59/\lambda \quad (3.5.4.8)$$

A fig. 3.5.8 mostra as características práticas das turbinas, a grande solidez das turbinas opera a valores baixos do cume da taxa de velocidade e tem um grande arranque do torque. Reciprocamente a baixa solidez das máquinas ex: com duas lâminas de rotor "estritos" tem baixo arranque do torque pode defacto não servir para o auto arranque.

O alto valor de  $\lambda$  que influencia o coeficiente de torque por isso o torque tende a zero e as turbinas ficam com o movimento de rotação livre.

Desta maneira todas as turbinas atingem a máxima frequência de rotação em fortes ventos, não obstante serem largas e talvez criem danos ao eixo de impulso. Observe também que o máximo torque e máxima energia extraída não se espera que ocorra para certos valores de  $\lambda$ . A relação do coeficiente de energia ( $c_p$ ) para o cume da taxa de velocidade  $\lambda$  será descrito no ponto seguinte.

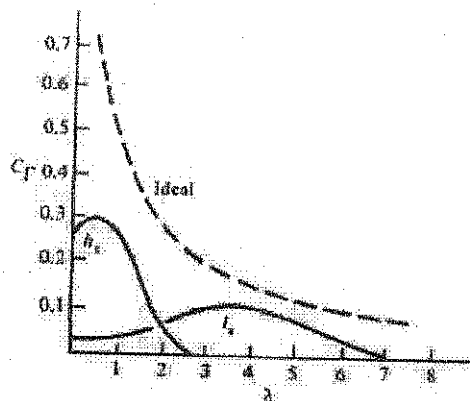


Fig.3.5.8 O coeficiente do torque  $c_T$  em função da taxa de velocidade  $\lambda$  alta solidez ( $h_s$ ) baixa solidez ( $l_s$ ) e para o ideal critério. (Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir,1986)

### 3.5.5 Harmonização dinâmica

#### 3.5.5.1 – Cume da taxa de velocidade

Os planos de energia de vento são realizados em vários fluxos de ar em movimento. O ar que passa através da turbina não poderá por conseguinte ser desviado dentro da região onde não haja ar presente, é diferente da turbina de água, e só aí são caracterizados os limites da eficiência das máquinas que funcionam com o vento.

Essencialmente o ar deve persistir com energia suficiente para mover o ar na direcção da secção maior da turbina. O modelo de Betz admite o valor de 59% como valor máximo de extracção de energia, mas naquela secção não nos diz nada sobre o estado de rotação dinâmica da turbina necessária para atingir o valor máximo da eficiência. Nesta secção explora-se a dinâmica necessária com a respectiva análise qualitativa.

A eficiência da energia extraída poderá ser descrita pela fig 3.5.9 se:

- 1- As lâminas estão próximas entre si, ou a rotação é rápida, as lâminas movem-se dentro da turbina pelo ar criado pelas lâminas precedente ou
- 2- As lâminas estão afastadas entre si ou a rotação é lenta que muitas vezes o ar passa através da secção plana sem interferir com a lâmina.

Portanto torna-se importante igualar a frequência rotacional da turbina com a velocidade do vento para a obtenção do valor eficiente.

A energia extraída é função do tempo  $t_b$  para uma lâmina se mover da sua posição para a previamente ocupada pela lâmina precedente, comparando com o tempo  $t_w$  entre o distúrbio do vento em movimento daquela posição e o fluxo normal que vem rentabilizar.  $t_w$  varia com o tamanho e a forma das lâminas e é inversamente proporcional a velocidade do vento.

Para qualquer (n) lâminas da turbina em movimento angular, a velocidade angular  $\Omega$  será:

$$t_b = 2\pi/n\Omega \quad (3.5.5.1.1)$$

O distúrbio no disco da turbina é criado pela lâmina a qual é seguida pelo movimento da última lâmina cujo tempo é  $t_w$  dado por:

$$T_w = d/u_o \quad (3.5.5.1.2)$$

Onde  $u_o$  é a velocidade do vento e a equação define a distância (d) e a mesma é medida com o comprimento pela forte perturbação do fluxo de ar que incide na secção menor para a maior das lâminas.

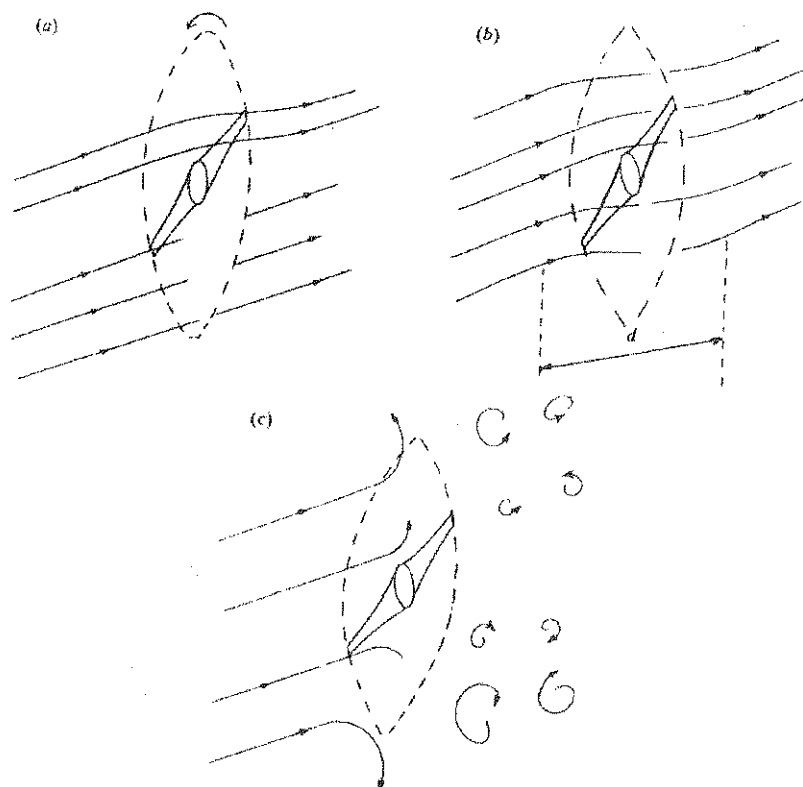


Fig.3.5.9 Mostra a frequência da turbina e a energia extraída. (a) frequência rotacional muito lenta, algum ar passa a secção menor através do disco actuator. (b) frequência rotacional óptima, todo o conjunto é afectado pelo fluxo de ar, onde d é o comprimento criado pela perturbação forte do vento pela rotação das lâminas. (c) frequência rotacional alta: A energia é dissipada na turbulência aparente e do decaimento do vórtice.  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir,1986)

A máxima extração de energia ocorre quando  $t_b=t_w$ , dependendo do tipo de lâminas onde o incremento máximo da área é descrito pelas lâminas. Tomando em conta (3.5.5.1.1) e (3.5.1.2) obtém-se:

$$n\Omega/u_o=2\pi/d \quad (3.5.5.1.3)$$

Se cada membro da equação (3.5.5.1.3) for multiplicado por R, a lâmina tipo raio de rotação teremos:  $R\Omega/u_o=2\pi/(nd)$ , também se a taxa de velocidade tipo  $\lambda$  é definido como na equação (3.5.4.4) então teremos:

$$\lambda=R\Omega/u_o \quad (3.5.5.1.4)$$

O valor óptimo de extração é:

$$\lambda_o=(2\pi/n)(R/d) \quad (3.5.5.1.5)$$

Considerando na análise que  $d=KR$  onde  $k \sim 1$ , tomando este valor em (3.5.5.1.5) teremos:

$$\lambda_o=2\pi/kn \quad (3.5.5.1.6)$$

Na prática foi comprovado que  $k \sim 1/2$  para  $n$  lâminas de turbina, daí:

$$\lambda_0 = 4\pi/n \quad (3.5.5.1.7)$$

Exemplo para duas lâminas de turbina o  $c_{p\text{máx}}$  ocorre para  $\lambda_0 = 4\pi/2 = 6$ , e para quatro lâminas de turbina  $c_{p\text{máx}}$  ocorre para  $\lambda_0 = 4\pi/4 = 3$ .

O procedimento do cálculo não é rigoroso mas não descreve um fenómeno muito importante. Com cuidado a projecção desse nas pás para uma boa taxa de velocidade o  $\lambda_0$  poderá ser aproximadamente 30% acima desse valor.

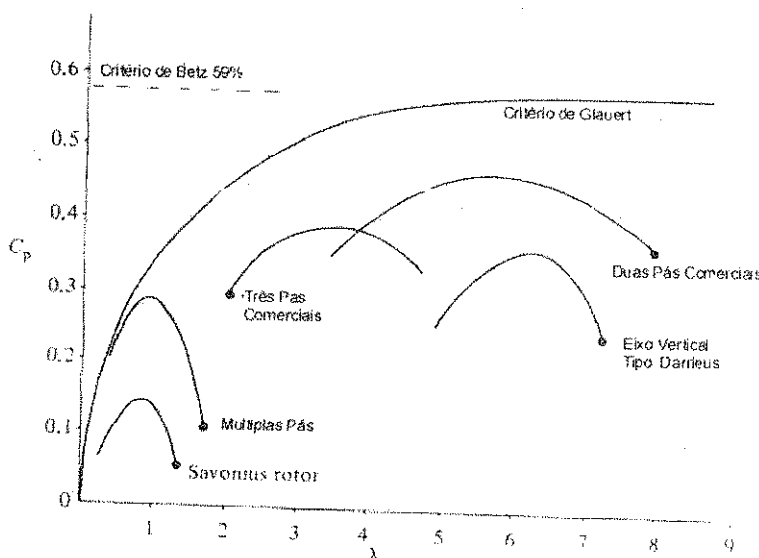


Fig.3.5.10 Coeficiente de energia  $c_p$  em função de  $\lambda$ .  
(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

A eficiência de Betz critério da secção anterior (3.5.2) não se toma em conta para o efeito dinâmico. São várias as aproximações para adaptar o cálculo dinâmico:

O critério de Glauert descreve a variação do coeficiente de energia  $c_p$  com a taxa de velocidade tipo  $\lambda$ . Ambos os critérios a relação  $c_p$  e  $\lambda$  para a variação do vento nas turbinas são mostrados na fig 3.5.10

A taxa de velocidade tipo é provavelmente o mais importante parâmetro de um aeromotor. Isto é, é função de três muito importantes parâmetros veja equação (3.5.5.1.4) chega a ser o factor principal num dado modelo em análise.

### 3.5.5.2 Extensão da teoria do momento linear.

O gráfico da fig 3.5.5 é o gráfico do coeficiente de energia  $c_p$  em função do factor ( $a$ ) no intervalo de  $0 < a < 0.5$ , que é dado pela teoria do momento linear simples. Veja equação (3.5.2.14).

$$C_p = 4a(1-a)^2 \quad (3.5.5.2.1)$$

Donde da equação (3.5.2.9)

$$a = (u_0 - u_1) / u_0 \quad (3.5.5.2.2)$$

A extração para a teoria simples a análise estende-se a outras regiões do factor de interferência ( $a$ ), e a conexão da turbina conduz ao desempenho com o motor do aparelho. Na fig. 3.5.11 as linhas do ar são desenhadas no gráfico para as específicas regiões que são associados com actual condição do fluxo de ar.

1 -  $a < 0$ ,  $c_p$  é negativo isto descreve a acção do ar no portador das lâminas onde a energia é acrescida para o fluxo na obtenção do impulso inicial. Desta maneira o hélice salta sozinho dentro das linhas do curso de ar e por essa razão move o portador das lâminas para frente.

2 -  $0 < a < 0.5$ ,  $c_p$  é positivo e no pico em  $a=0$ ,  $u_1 = u_0$  e  $c_p = 0$ ; a rotação da turbina é livre no vento e não está acoplado para o desempenho da função. Assim como a pressão é aplicada, a energia é subtraída assim  $c_p$  sobe quando a velocidade  $u_1$  decresce. A energia máxima é retirada para o curso natural do ar quando  $a=1/3$  e velocidade  $u_1 = 2u_0/3$  ver a fig 3.5.5 e a equação 3.5.2.10. Em  $a=1/2$ , a teoria linear básica momentânea prevê que o máximo impulso na turbina equação 3.5.2.9 com o coeficiente do torque  $\Gamma=1$ .

3 -  $0.5 < a < 1$ ,  $c_p$  decresce para zero, da equação 3.5.2.11, quando  $u_2=0$ ,  $a=1/2$  e o modelo simples decai, erroneamente, não há vento que se prevê para a saída. Na prática é possível considerar esta região como equivalente a zona de ataque da turbulência do ar aparente da secção maior. Isto equivale para a turbina que opera em altas velocidades do vento quando a energia eficiente extraída decresce, devido a má harmonização da frequência de rotação e da velocidade do vento.

4 -  $a=1$ ,  $c_p=0$ , a turbina gira e causa intensiva turbulência no curso natural do ar, mas nenhuma energia é extraída. A verdadeira turbina deverá ter esse alcance neste estado dentro dum lugar em condições.

5 -  $a > 1$  isto significa que a velocidade  $u_1$  é negativa e é encontrada quando um portador de lâminas é oposto ao impulso pela mudança do sentido de rotação das lâminas no estado do movimento terminal. A perda da intensidade do vórtice ocorre no curso natural do ar quando o mesmo passa do hélice. No portador das lâminas a energia adicional é acrescentada para o curso natural do ar e é aparente no vórtice. Não obstante, o efeito total é oposto ao impulso para o acréscimo da travagem.

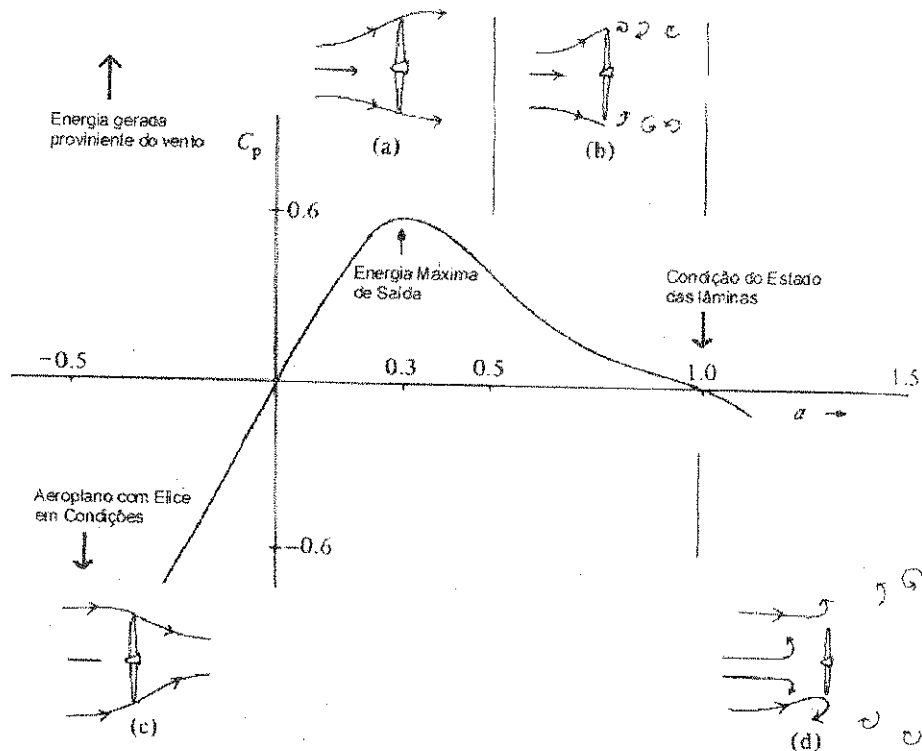


Fig.3.4.5.11 Coeficiente de energia  $c_p$  em função do factor de interferência  $a=1-u_1/u_0$ , mostra-nos o ar aparente e estado da turbina /hélice. Na região (a) a fig. 3.5.5 é energia ideal pelo WECS (sistema de conversão do vento em energia). (b) turbulência que desperta a redução da eficiência como se pode encontrar em altas velocidades do vento. (c) o fluxo normal de arranque do aeromotor. A energia é acrescentada para o curso natural do ar. (d) região de travagem, vento de travagem.

(Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir,1986)

### 3.5.6 Geração de electricidade

#### Noções Básicas

A electricidade é um excelente vector de energia pela transmissão de altas qualidades de energia mecânica na turbina. A frequência ou voltagem de transmissão não é necessária que seja padronizada, desde que o fim do uso requerido seja diversificado. O aquecimento poderá admitir uma extensa variação na frequência e na voltagem, mas a rede de conexão para outros geradores ou múltiplas utilizações poderá requerer cuidados padronizados. De tal sorte que o desenvolvimento futuro produzirá originalmente novos modelos de geradores e sistemas de controlo, com os geradores de energia do vento em engenharia electrónica especializada.

Os principais aspectos característicos do vento (sistema de geração de energia) são:

1 – A eficiência do vento na turbina é importante se a frequência rotacional variar para a manutenção constante da taxa de velocidade tipo, contudo a geração de electricidade é muito eficiente quando a frequência é aproximadamente constante.

2 – Controlo mecânico da turbina pelas pás etc. Para manter a complexidade e garantir a frequência constante. Qualquer modo alternativo do uso ordinário é muito eficiente, para variar o fornecimento de energia na turbina para o controle da frequência rotacional.

3 – A óptima frequência rotacional da turbina na velocidade do vento em particular decresce com o aumento do raio na ordem para a manutenção da taxa de velocidade tipo constante. Assim única turbina pequena de (~2m de raio) poderá ser acoplada directamente para os geradores. As grandes máquinas requerem caixas de comando para aumentar a capacidade de controlo da frequência do gerador. As caixas de comando são relativamente caras e pesadas. Elas requerem uma manutenção e poderão ser muito ruidosos “barulhentos”. Os novos tipos de geradores como o de grande n° de pás, são produzidos para operar em baixas frequências.

4 - A turbina poderá ser acoplado junto do gerador para fornecer qualquer condução indirecta através do acumulador mecânico (ex.: pesos suspensos pela pressão hidráulica) ou conservação química (ex.: bateria).

5 - A maior parte de energias locais de vento são em zonas rurais, ilhas ou em áreas marítimas.

6 - O Sistema de redes rurais são próprios para serem fracos, desde então eles conduzem uma baixa voltagem relativa de fornecimento (ex:33kw) relativamente acima para longas distâncias com complicações de perda de energia devido a problemas de indução e de resistência. A cobertura do sistema de conversão de vento em energia dentro da fragilidade de rede é difícil e a segurança da energia utilizada no trabalho nas linhas deverá ser assegurada.

7 - Lá existem sempre períodos sem vento, deste modo o (WECS) sistema de conversão de vento em energia deverá estar em conexão com a energia armazenada ou sistemas paralelos de geração se os fornecimentos são para serem mantidos.

Isto é obvio que o vento (sistema de electricidade) poderá estimular a inovação a improvisação em sistemas de energia eléctrica, e assim em aderência para convencionar a extensão do sistema de engenharia de energia podendo impor progressos.

### **3.5.6.1 Geradores**

A básica operação de todos os geradores é simples, mas muitas complicadas variáveis são usados para dar propriedades particulares, improvisação e eficiência.

O princípio comercial de geradores usados com os motores de vento é o que se segue. Campo magnético é orientado para cortar o arrame com relativa velocidade assim induzindo em corrente eléctrica pelo efeito de Faraday. Cada gerador tem “stator” e rotor; Um destes tem uma bobina (enrolamento) para produção de energia no gerador e o outro tem um magnete permanente ou outros rolamentos para a produção dos campos magnéticos. Se os campos magnéticos são criados pelos magnetes permanentes ou corrente alternada (AC), assim a corrente poderá ser induzida em frequência de (DC) corrente contínua ( $f_1$ ) em sincronização com a frequência do eixo de rotação ( $f_s$ ) do gerador.

Com (n) pares de pólos,  $nf_s=f_1$  exactamente. Tal gerador é em sintonia com (DC) do gerador com frequência de saída bloqueada para a frequência do eixo.



Geralmente a variação é a indução da corrente contínua (DC) do gerador. Aqui as correntes que produzem o campo magnético estão em circuito fechado girando continuamente, no rotor. Essas correntes são induzidas por si próprias em correntes no "stator" enrolamentos. A relação entre as fases é tal que a energia mecânica poderá ser transferida do rotor condutor do eixo para energia eléctrica no circuito de stator. Se lá existir (n) enrolamentos no rotor, cada acção como um ímã. Se a indução da corrente no rotor tem a frequência  $f_2$ , e se a frequência do eixo é ( $f_s$ ), assim a corrente contínua (DC) de energia de saída tem a frequência :

$$f_1 = f_2 + n f_s \quad (3.5.6.1.1)$$

A fuga:

$$S = (f_1 - n f_s) / f_1 \quad (3.5.6.1.2)$$

A fuga é definida como negativa para os geradores, mas é positivo em acção de alguns dispositivos como motores, salvo se a energia for dissipada pelos resistores no rotor dos enrolamentos. A fuga nos geradores é usualmente abaixo de 10%.

Qualquer indução no gerador poderá só gerar quando a indução bloqueada a volta da corrente tiver sido iniciada e mantida. Existem aqui geralmente dois métodos para isso:

1 -- Energia de reacção é extraída para alimentar a rede do gerador de saída onde estiver conectado ou

2 -- Autonomia de auto-excitação da geração é possível realizar-se pelos capacitores conectados entre a saída e a terra. No método 2 aqui existirá algum residual magnético nas formas ou no meio ambiente do gerador para provar a corrente inicial, com os capacitores a manter a fase correcta de relacionamento. Isto é também possível para a manutenção e controlo de geração da indução do gerador pelo correr ocioso do sincronismo do gerador em paralelo como no sincronismo compensador. Este sistema é atractivo para sistemas pequenos de autonomia desde que alguma sincronização de gerador possa ser usada para, gerador de diesel em tempo de vento inadequado.

Os benefícios deste método (1) (conexão das redes) são:

(a) A simplicidade e sistema ser barato.

(b) Segurança, desde que o gerador não possa gerar se a energia de rede está desligada, e se a rede não poder ser usada para exportar energia de aerogeradores nas condições ventosas e importar energia em tempo de vento moderado.

As correntes directas do gerador são essencialmente máquinas de sincronização, com comutador (ex: dividido em ciclos) para segurar a saída da corrente unidireccional. Esta corrente, embora a corrente alternada (DC), não seja necessariamente constante. A corrente directa pode obviamente também ser produzida pela rectificação da corrente alternada. Semelhantemente, a corrente contínua (AC), pode ser produzida pelo controlo da voltagem e frequência pela inversão da fonte da energia alternada (DC) tal como as baterias.

### **3.5.7 Energia mecânica**

Historicamente a energia mecânica do vento tem tido um serviço activo predominante para o transporte com os navios veleiros, para os moinhos de graus e para as bombas de água. Estes são usados sempre continuamente e pode-se esperar um crescimento de novo no futuro.

Nesta secção resumidamente discutem-se estes sistemas, o procedimento em mente que a electricidade pode ser um intermediário vector de energia para vários usos mecânicos.

#### **3.5.7.1 Transporte marítimo**

O velho quadrado Navio Veleiro aparelhado operava pelos instrumentos de forças onde não eram eficientes.

Os Iates modernos de corrida, com a quilha submersa em serviço das forças de locomoção, são mais eficientes e podem navegar mais rápidos com o vento. Os grandes cargueiros Veleiros requerem energia de vários Mw (mega watts) são agora esboçados com energia automática de operação que requer pouco trabalho manual.

#### **3.5.7.2 Moinho de grau**

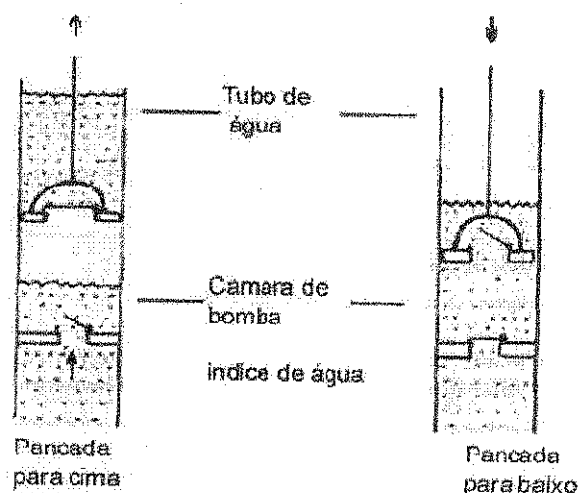
O tradicional moinho de vento (vulgarmente conhecido como o moinho de vento de Dutch) tem vindo a ser substituído pela máquina de condução eléctrica. Este é improvável que possa sempre ser outra vez adequada para a comercialização dos moinhos em sistemas mecânicos directos.

#### **3.5.7.3 Água bombeada**

A água bombeada pode ser armazenada em tanques e reservatórios, ou absorvida na terra.

Esta desejada habilidade dá-nos a calma para o recurso de vento intermitente, e faz com que a energia do vento para o bombeamento seja barata. A escala das bombas de farmas é de cerca de 10kw máxima energia e são comuns em muitas cidades.

A continuação do fornecimento é importante assim máxima solidez, para turbinas multilâminas são adequadas, tem alto valor inicial do torque em ponto de vista de ventos. A baixa velocidade rotacional não é nenhum impedimento para a acção mecânica directa. O tradicional cilindro da bomba com acção fixa fig 3.5.12 é simples e seguro.



início da água pulando para dentro da câmara da bomba e subida da água no tubo

água começa a ser forçada da câmara do tubo para dentro do tubo de água

Fig.3.5.12 Deslocamento positivo da água na bomba. O eixo poderá ser conectado para a rotação da manivela do eixo do vento na turbina (Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir, 1986)

#### 4. Metodologia

Para a realização do trabalho que se apresenta, foram recolhidos dados no Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) dados esses que foram compilados em tabelas que são ilustradas no capítulo que se segue.

Para a análise da variação horária e diária da energia do vento foram usados os dados dos anos 1999, os meses de janeiro a outubro, não foram inclusos os meses de novembro e dezembro por falta de dados e para a análise da variação mensal e anual da energia do vento foram tomados em consideração os dados dos anos 1970 a 1999.

Estes dados recolhidos são referentes apenas a uma estação a estação da rede (portanto a estação da própria sede do INAM), não foram incluídos os dados da outra estação disponível na cidade de Maputo a estação do aeroporto de Mavalane pelo facto de esta estação não possuir dados completos. Esta escolha do local do estudo da energia do vento (cidade do Maputo) se deve ao facto de ser a única estação que possui dados completos com a excepção dos meses de novembro e dezembro de 1999 conforme referimos inicialmente.

Para o cálculo da energia do vento foi usada a seguinte formula:

$$P_T = 1/2 c_p A \rho u_o^3 \quad \text{onde:}$$

$P_T$  - Energia do vento

$c_p$  - coeficiente de eficiência (coeficiente de energia)

$\rho$  - Densidade do ar

$A$  - Área circular da secção do aeromotor

$u_o$  - velocidade do vento

para o cálculo usou-se os seguintes valores:

$$c_p = 0.3$$

$$\rho = 1.2 \text{ kgm}^{-3}$$

$$D = 6.4 \text{ m}$$

Nota (D) é o diâmetro da secção circular do aeromotor.

## 5. Resultados

### Velocidade Horária da velocidade do Vento

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
Horas	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)
1	1.56	1.21	1.16	1.35	2.19	2.06	1.76	1.75	2.44	2.1	0	0	1.758
2	1.56	1.09	1.26	1.33	2.36	2.73	1.68	1.94	2.35	2.03	0	0	1.833
3	1.32	1.03	1.54	1.58	2.13	2.88	1.94	2.09	2.6	1.86	0	0	1.897
4	1.43	1.02	1.42	1.77	2.5	2.69	1.95	2.13	2.71	1.83	0	0	1.945
5	1.48	1.12	1.33	1.87	2.35	2.8	1.95	2.09	2.68	1.85	0	0	1.952
6	1.73	1.51	1.36	1.9	2.31	2.69	1.96	2.41	2.46	1.96	0	0	2.029
7	1.8	1.34	1.37	1.93	2.18	2.77	2.26	2.82	2.69	2.03	0	0	2.119
8	2	1.41	1.38	1.83	2.43	2.64	2.26	2.79	3.08	2.45	0	0	2.227
9	2.03	1.91	2.04	1.98	2.68	2.76	2.41	2.85	3.33	2.91	0	0	2.49
10	2.49	2.63	1.98	2.14	3	2.95	2.69	2.95	3.84	3	0	0	2.767
11	2.89	2.87	2.31	2.38	3.15	3.17	2.63	2.98	3.73	3.2	0	0	2.931
12	3.33	2.97	2.47	2.42	3.19	2.91	2.82	2.89	3.48	3.76	0	0	3.034
13	3.48	3.01	2.81	3.01	3.18	2.88	3	3.66	3.78	4.09	0	0	3.3
14	3.47	3.43	3.24	2.96	3.25	2.72	3.17	3.78	4	4.2	0	0	3.442
15	3.69	3.64	3.35	2.77	3.34	2.7	3.11	3.84	4.14	4.41	0	0	3.499
16	3.81	3.36	3.44	2.45	3.06	2.49	3.23	3.64	4.3	4.42	0	0	3.42
17	3.85	3.28	3.66	2.6	2.63	1.96	2.89	3.23	4.22	4.54	0	0	3.286
18	3.49	3.14	3.61	2.44	2.29	2.15	2.49	3.15	3.76	4.51	0	0	3.103
19	3.35	2.89	3.49	2.34	2.38	2.29	2.32	2.98	3.46	4.25	0	0	2.985
20	3.2	2.41	3.23	2.4	2.32	2.36	2.61	2.84	3.38	4.1	0	0	2.885
21	2.84	2.2	2.93	2.03	2.45	2.63	2.37	2.6	3.42	3.83	0	0	2.74
22	2.55	1.98	2.5	1.71	2.41	2.52	2.39	2.16	3.35	3.47	0	0	2.514
23	2.24	1.6	1.64	1.6	2.37	2.24	2.07	1.81	2.81	3.06	0	0	2.144
24	1.86	1.47	1.38	1.11	2.35	1.99	1.81	1.59	2.34	2.48	0	0	1.838
<b>MÉDIA</b>	<b>2.57</b>	<b>2.19</b>	<b>2.29</b>	<b>2.08</b>	<b>2.60</b>	<b>2.58</b>	<b>2.41</b>	<b>2.71</b>	<b>3.28</b>	<b>3.19</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>2.590</b>

Tab.5.11 variação da velocidade horária do vento  
(resumo das tabelas em anexo e convertidas em m/s. INAM -1999 )

Horas	V(m/s)
1	1.758
2	1.833
3	1.897
4	1.945
5	1.952
6	2.029
7	2.119
8	2.227
9	2.49
10	2.767
11	2.931
12	3.034
13	3.3
14	3.442
15	3.499
16	3.42
17	3.286
18	3.103
19	2.985
20	2.885
21	2.74
22	2.514
23	2.144
24	1.838
<b>MÉDIA</b>	<b>2.590</b>

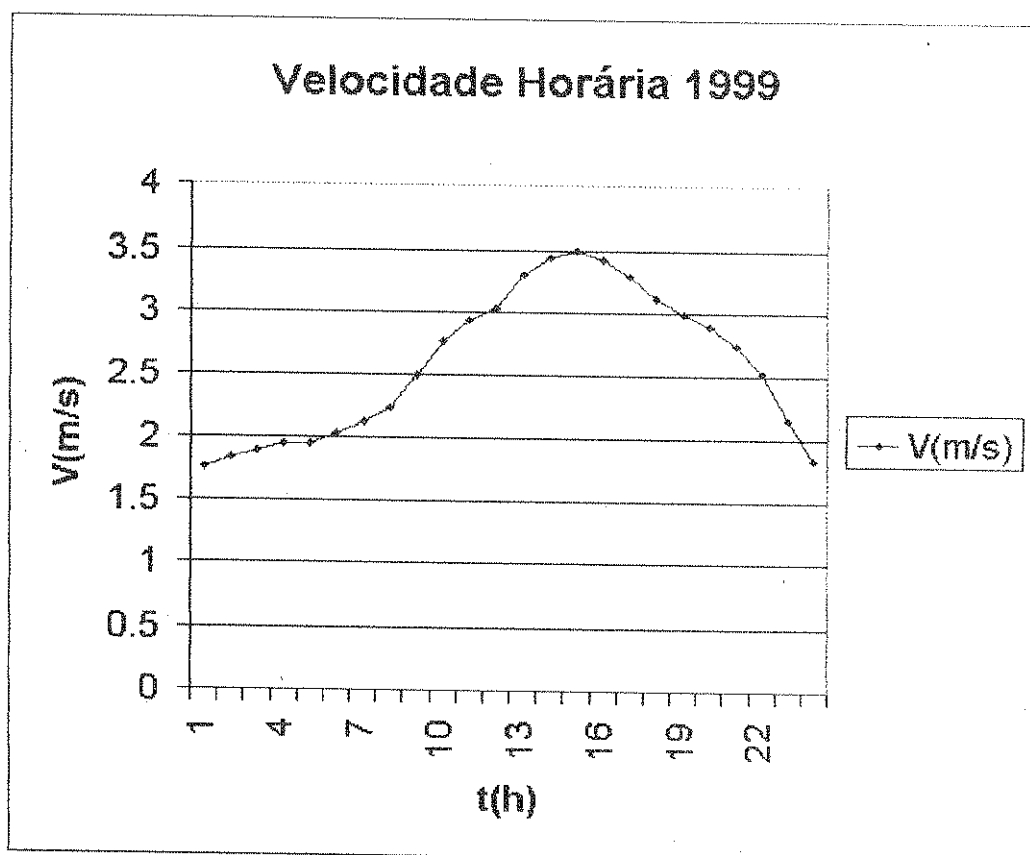


Fig.5.1 Variação da velocidade do vento em função do tempo t(h). ( Médias das tab.5.11. INAM-1999)

Tab.5.12 Variação horária da velocidade.

( Médias das tab.5.11. INAM-1999)

Na fig 5.11 e na Tab. 5.12, temos uma informação sobre a variação da velocidade do vento em função do tempo  $t(h)$  no ano de 1999 na região da cidade de Maputo, os resultados mostram claramente que existe uma variação média relativamente regular da velocidade do vento, com um máximo no princípio da tarde e um mínimo de madrugada.

Com efeito, é vulgar verificar-se a diminuição da velocidade do vento para o fim da tarde e o seu aumento de manhã, principalmente se o céu está limpo ou pouco nebolado.

Para se explicar o facto deve-se ter presente que o vento aumenta, em geral, com a altitude. Durante o período diurno as correntes convectivas causadas pelo aquecimento da superfície do globo provocam uma troca de ar entre os níveis mais baixo e os mais altos, de que resulta uma distribuição mais uniforme da velocidade na vertical e, conseqüentemente, aumento da velocidade á superfície. Durante a noite o ar na vizinhança do solo é arrefecido, tornando-se mais denso, e tende, portanto, permanecer aos níveis baixos, exercendo-se mais acentuadamente o efeito de atrito, e o vento, então diminui de velocidade.

Nas regiões montanhosa, especialmente se são isoladas, o esquema referido pode ser inverso. Durante o dia o efeito de atrito é mais acentuado nos níveis altos da montanha, onde pode, assim, verificar-se o mínimo de velocidade cerca do meio do dia. De noite, o ar frio tende a acumular-se nas depressões do terreno ficando as regiões mais altas submetidas ao fluxo de altitude, assim, a velocidade máxima pode ser atingida cerca da meia noite.

Na região da cidade de Maputo, a velocidade do vento está acima da média apartir das 9 horas até as 22 horas, um vasto intervalo para o qual a velocidade do vento possui uma dimensão significativa para as actividades que requerem o uso da energia do vento. Fora deste intervalo, a velocidade do vento está abaixo da média, período que se pode considerar de vento muito fraco a calmo.

Portanto um máximo as 15 horas e um mínimo a 1 hora de madrugada.

Variação diária da velocidade do vento

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
Dia	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)	V(m/s)
1	0.92	1.25	1.75	1.39	1.89	2.64	2.61	2.44	2.17	2.72	0	0	1.978
2	2.52	1.82	2.34	1.37	1.31	1.53	3.39	4.69	2.94	1.98	0	0	2.389
3	3.7	1.48	3.28	1.3	2.06	1.62	1.63	3.28	1.73	2.44	0	0	2.252
4	3.89	3.31	2.44	1.45	2.97	2.56	1.29	1.92	2.09	3.03	0	0	2.495
5	3.42	0.78	2.61	2.31	4.22	0.76	2.26	3.03	2.03	1.51	0	0	2.293
6	3.19	1.3	4.44	1.6	2.05	3.39	1.41	1.62	3.28	2.54	0	0	2.482
7	3.97	3.39	3.25	2.73	1.36	2.81	0.69	2.5	1.62	4.25	0	0	2.657
8	2.31	3.39	2.81	1.91	3.64	3.46	1.47	2.81	3.14	3.72	0	0	2.876
9	1.96	2.04	2.33	2.33	2.71	2.56	1.66	2.15	3.94	3.42	0	0	2.51
10	2.11	2.49	2.62		1.54	2.56	2.2	1.73	5.03	4.28	0	0	2.456
11	2.86	1.77	2.71	3.08	1.11	3.03	4.14	1.6	4	3.75	0	0	2.805
12	3.69	2.15	1.63	2.74	3.03	2.43	2.09	2.09	3.19	4.47	0	0	2.751
13	3.17	1.77	2.23	2.01	3.11	3.31	1.86	2.64	2.47	3.46	0	0	2.613
14	2.97	3.28	3.25	2.37	1.81	3.44	3.48	3.17	2.86	2.55	0	0	2.928
15	3.03	2.45	2.01	3.17	2.92	3.11	4.64	1.73	3.17	3.83	0	0	3.006
16	2.43	1.71	0.22	1.6	3.92	1.27	3.17	1.74	3.11	3.67	0	0	2.284
17	2.43	2.86	1.29	2.01	2.48	3	3.11	1.44	5.92	3.94	0	0	2.848
18	1.96	1.77	2.48	2.97	0.97	5.19	4.36	2.64	4.36	3.89	0	0	3.059
19	2.92	3.28	1.34	2.37	3.03	2.76	3.69	2.92	2.83	4.19	0	0	2.933
20	2.81	1.68	2.54	2.78	3.33	2.36	2.86	2.61	4.11	3.14	0	0	2.822
21	2.61	1.53	2.05	1.25	2.28	1.83	1.84	2.51	3.14	1.96	0	0	2.1
22	2.86	1.78	1.36	2.14	3.86	2.24	2.57	4.25	2.2	3.08	0	0	2.634
23	1.39	1.4	1.31	3.03	2.66	2.19	2.62	4.75	2.36	3.75	0	0	2.546
24	1.85	1.53	3.22	2.04	1.25	3.61	1.37	5.69	2.23	3.19	0	0	2.598
25	2.97	3.03	2.63	1.51	2.76	2.78	1.63	2.97	2.81	1.71	0	0	2.48
26	2.97	3.19	2.24	2.38	4.33	2.31	2.42	2.12	4.08	2.92	0	0	2.896
27	2.13	2.92	2.14	3.42	3.94	1.62	0.82	2.48	3.41	3.22	0	0	2.61
28	2.11	1.6	2.18	1.97	2.71	2.04	1.82	1.92	5.44	3.42	0	0	2.521
29	1.45		2.2	1.58	1.98	3	2.38	2.28	4.97	3.64	0	0	2.348
30	1.32		2.48	1.62	3.42	2.06	3.03	3.92	4	2.48	0	0	2.433
31	1.73		1.61		2.08		2.23	2.62		2.54	0	0	1.281
<b>Média</b>	<b>2.57</b>	<b>2.19</b>	<b>2.29</b>	<b>2.08</b>	<b>2.6</b>	<b>2.58</b>	<b>2.41</b>	<b>2.72</b>	<b>3.29</b>	<b>3.19</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2.590</b>

Tab.5.13 variação da velocidade diária do vento  
(resumo das tabelas em anexo e convertidas em m/s. INAM -1999 )



Dia	V(m/s)
1	1.98
2	2.39
3	2.25
4	2.5
5	2.29
6	2.48
7	2.66
8	2.88
9	2.51
10	2.46
11	2.8
12	2.75
13	2.61
14	2.93
15	3.01
16	2.28
17	2.85
18	3.06
19	2.93
20	2.82
21	2.1
22	2.63
23	2.55
24	2.6
25	2.48
26	2.9
27	2.61
28	2.52
29	2.35
30	2.43
31	1.28
<b>MÉDIA</b>	<b>2.590</b>

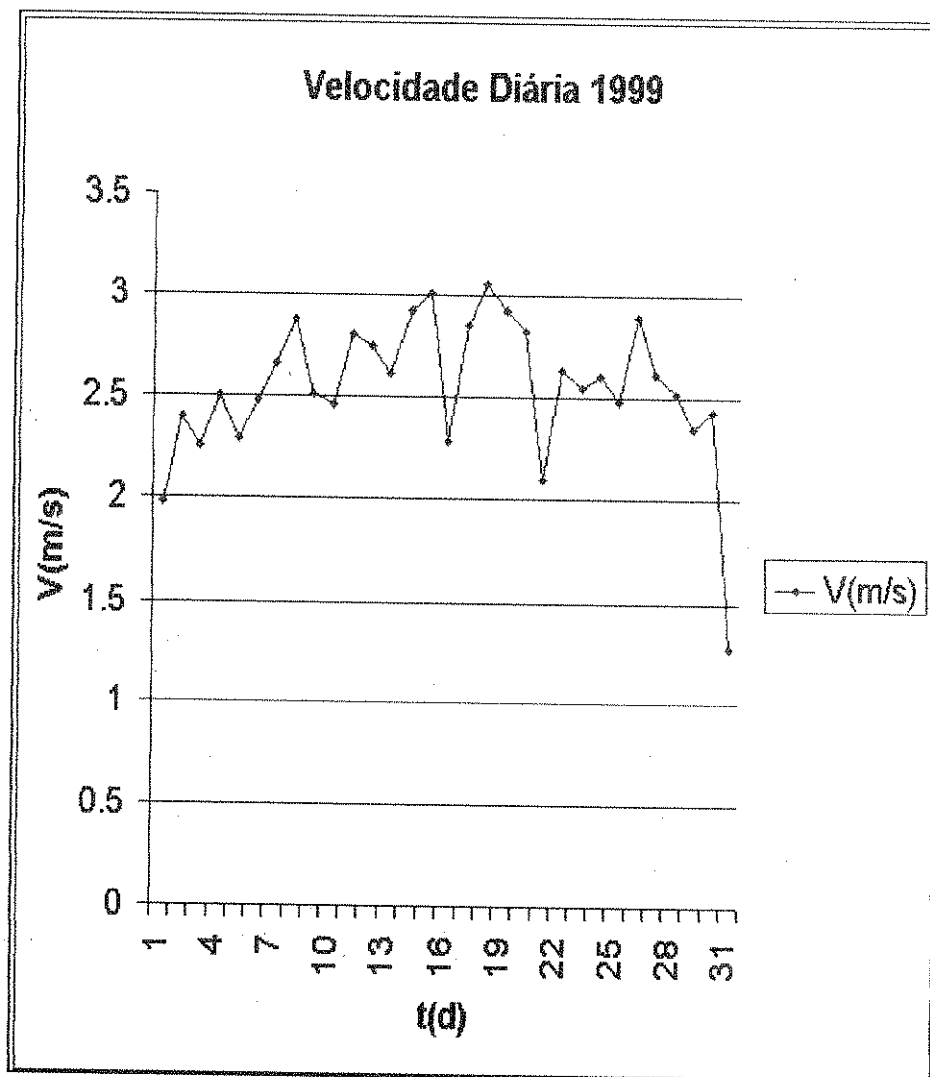


Fig.5.2 Variação da velocidade diária do vento em função do tempo t(dia)  
(Médias das tab. 5.15 INAM-1999)

Tab.5.14: Variação diária da  
Velocidade.  
(Médias das tab. 5.15 INAM-1999)

A Tab. 5.14 e Fig 5.2 ilustram a variação da velocidade do vento em função do tempo  $t$ (dia) no ano de 1999. Os resultados revelam que a velocidade é máxima no meio do mês, podendo-se admitir que o intervalo compreendido entre os dias 6 a 28 de cada mês a velocidade do vento está acima da média. Este facto pode estar na origem da influência dos efeitos da força gravitacional entre a Terra e a Lua, como se sabe esta força é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a Terra e a Lua, sabe-se por outro lado que esta distância varia em relação a um ponto da superfície da Terra devido ao movimento que a Lua faz em torno da Terra. Esta força tem influência na circulação geral da atmosfera e o gráfico aqui ilustrado confirma esta influência.

Fora do intervalo supra citado, a velocidade do vento está a baixo da média e atingindo valores mínimos nos últimos dias do mês.

Temos um máximo de velocidade no dia 18 e um mínimo no dia 31

MÊS	V(m/s)
1	2.58
2	2.47
3	2.2
4	2.07
5	2.16
6	2.14
7	2.24
8	2.57
9	2.66
10	2.82
11	2.72
12	2.76
<b>MÉDI A</b>	<b>2.45</b>

Tab.5.16 :Variação da velocidade mensal do vento (médias das tab.5.15 INAM 1970-1999)

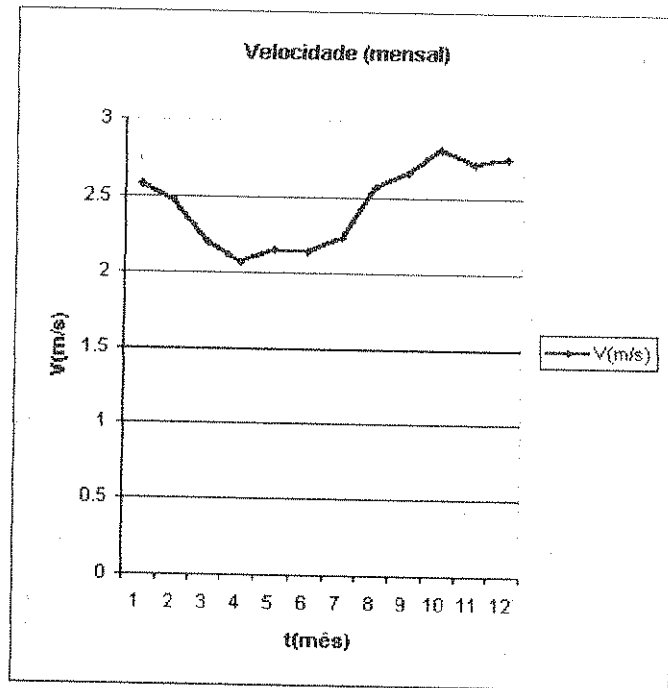


Fig.5.3 Variação da velocidade do vento em função do tempo t(mês). (médias das tab.5.15 INAM 1970-1999)

De igual modo a Tb 5.16 e a Fig. 5.3 mostram a variação da velocidade do vento em função do tempo t(mês) portanto uma variação mensal da velocidade do vento no intervalo de 1970 a 1999 na região da cidade de Maputo os resultados mostram que a variação da velocidade do vento é regular com valores acima da média nos primeiros dois meses e nos últimos cinco meses de cada ano e os valores abaixo da média se registam no meio do ano. Como se sabe este facto se deve a causa primária do vento que é a desigual distribuição horizontal da pressão atmosférica no espaço e no tempo. Genericamente podemos dizer da diferença de pressão entre a superfície da Terrestre e a superfície das águas mar.

Como se sabe a densidade da Terra é menor em relação a densidade da água do mar, tal facto origina diferença de aquecimento destas superfícies quando recebem a mesma quantidade de radiação solar.

A diferença no aquecimento resulta em diferença nas temperaturas, a acentuada diferença de temperaturas entre as superfícies devido a intensificação da radiação solar resulta na acentuada diferença de pressão entre essas superfícies e como consequência maior velocidade do vento.

A variação da temperatura da superfície do globo Terrestre é devida a radiação solar e esta é directamente proporcional ao factor de correlação para a distância entre a Terra e o Sol  $(d_1/d_2)^2$ , sendo  $d_1$  a distância média em um ano e  $d_2$  a distância entre eles num dia considerado como se

pode ver a radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a Terra e o Sol num dado dia, e esta distância vai variando aquando do movimento da Terra em torno do sol, sendo menor exactamente nos intervalos de tempo que o nosso gráfico regista maior velocidade do vento.

Verifica-se que a velocidade máxima tem lugar no mês de outubro e um mínimo no mês de abril. Os meses de março, abril, maio, junho e julho a velocidade do vento regista valores abaixo da média.

ANO	V(m/s)
1970	2.95
1971	2.68
1972	2.42
1973	2.42
1974	2.56
1975	2.43
1976	2.87
1977	2.16
1978	2.61
1979	2.82
1980	2.2
1981	2.93
1982	3.12
1983	2.54
1984	2.53
1985	2.35
1986	2.47
1987	2.23
1988	2.3
1989	2.05
1990	1.68
1991	1.56
1992	2.9
1993	2.47
1994	2.28
1995	2.2
1996	2.13
1997	2.38
1998	2.57
1999	2.53
<b>MÉDIA</b>	<b>2.45</b>

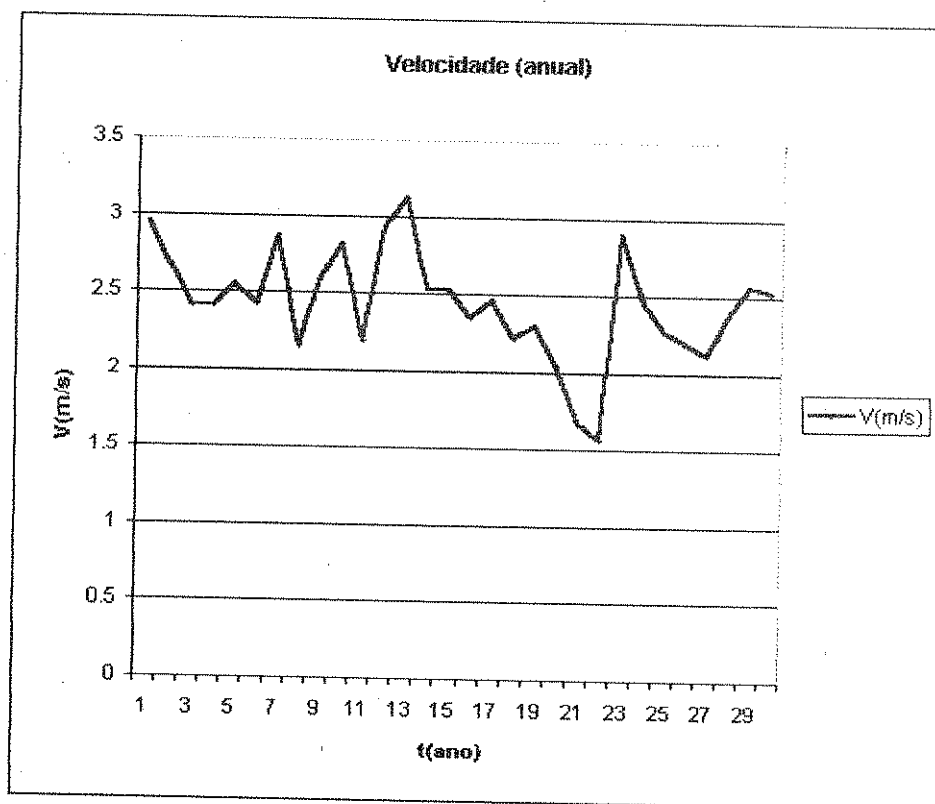


Fig.5.4 Variação anual da velocidade do vento em função do tempo t(ano).  
Ao longo do período de 1970 a 1999, representados pelos anos 1 a 30 respectivamente.  
(resumo da tab.5.15 INAM 1970-1999).

Tab.5.17 : Variação anual da velocidade  
(resumo da tab 5.15 INAM 1970-1999)

A Tb 5.17 e Fig. 5.4 mostram a variação da velocidade do vento em função do tempo t(ano) no período de 1970 a 1999, portanto uma variação anual da velocidade do vento.

Os resultados apontam para uma regularidade na flutuação da variação da velocidade do vento, podendo se dizer que de 1970 a 1984 a velocidade do vento foi acima da média e de 1985 a 1999 abaixo da média, este facto mostra que nos últimos 15 anos a velocidade do vento sofreu um decaimento significativo, as causas disso carecem de uma investigação particular, mas um facto é real o fenómeno da poluição que tem contribuído para o aumento do aquecimento global da Terra “efeito estufa” e isto pode estar a contribuir para o aumento da temperatura média das águas do mar. O possível aumento da temperatura média das águas do mar provoca uma alteração nos padrões de circulação atmosférica.

Podemos dizer que a velocidade média do vento na região da cidade de Maputo é de (2.45m/s) cerca de (8.82km/h).

Este valor médio que se regista neste intervalo considerado situa-se abaixo da média registada no período de 1964 e 1972 por F. Reis Cunha, citado no livro de meteorologia geral e agrícola 1ª parte de 1972, que era de (10km/h) cerca de (2.77m/s), uma diferença de cerca de (0.34m/s), que corresponde um decaimento na ordem de 12%.

Horas	v(m/s)	P <sub>r</sub> (kw/m <sup>2</sup> )
1	1.76	0.032
2	1.83	0.035
3	1.9	0.040
4	1.95	0.043
5	1.96	0.044
6	2.03	0.048
7	2.12	0.055
8	2.23	0.064
9	2.49	0.089
10	2.77	0.123
11	2.93	0.146
12	3.03	0.161
13	3.3	0.208
14	3.44	0.236
15	3.4	0.248
16	3.42	0.232
17	3.29	0.206
18	3.1	0.172
19	2.99	0.155
20	2.89	0.140
21	2.74	0.119
22	2.51	0.092
23	2.14	0.057
24	1.84	0.036
<b>Média</b>	<b>2.59</b>	<b>0.100</b>

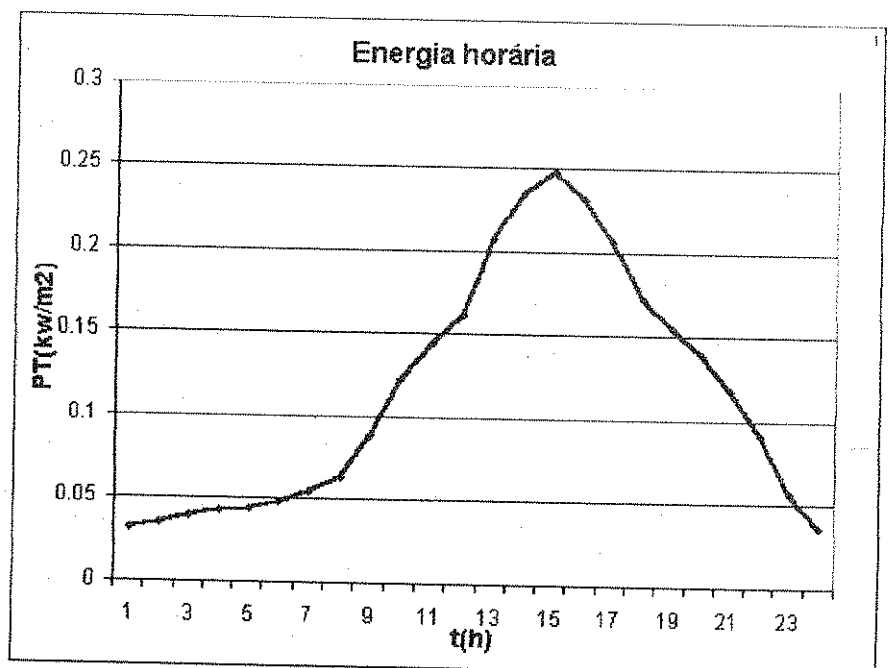


Fig.5.5  
 Variação horária da energia do vento PT(kw/m<sup>2</sup>).  
 (Calculada com base nas médias da tab5.11 INAM - 1999).

Tab.5.18 variação horária da energia  
 (Calculada com base nas médias  
 da tab 5.11 INAM - 1999)

A Tb 5.18 e Fig. 5.5, mostram a variação da energia eólica  $P_T(\text{kw/m}^2)$  em função do tempo  $t(\text{h})$ , isto é uma variação horária da energia eólica ao longo do ano de 1999 na região da cidade de Maputo, os resultados mostram claramente que o comportamento da energia é semelhante ao da velocidade do vento pois a energia eólica é proporcional ao cubo da velocidade do vento.

Portanto a energia está acima da média no intervalo das 9 horas às 22 horas nas restantes horas do dia, a energia está a baixo da média.

A energia máximo é atingida as 15 horas e com um mínimo a 1 hora da madrugada.

Como se pode observar esta cifra energética só têm significado para iluminação e fornecimento de energia para aparelho de recepção e outros de baixa potência.

dia	v(m/s)	$P_T(\text{kw/m}^2)$
1	1.98	0.045
2	2.39	0.079
3	2.25	0.066
4	2.5	0.090
5	2.29	0.070
6	2.48	0.088
7	2.66	0.109
8	2.88	0.138
9	2.51	0.092
10	2.46	0.086
11	2.8	0.127
12	2.75	0.120
13	2.61	0.103
14	2.93	0.146
15	3.01	0.158
16	2.28	0.069
17	2.85	0.134
18	3.06	0.166
19	2.93	0.146
20	2.82	0.130
21	2.1	0.054
22	2.63	0.105
23	2.55	0.096
24	2.6	0.102
25	2.48	0.088
26	2.9	0.141
27	2.61	0.103
28	2.52	0.093
29	2.35	0.075
30	2.43	0.083
31	1.28	0.012
<b>Média</b>	<b>2.59</b>	<b>0.100</b>

Tab. 5.19

Variação diária da energia do vento  
(calculadas com base nas médias da tab 5.11 INAM - 1999)

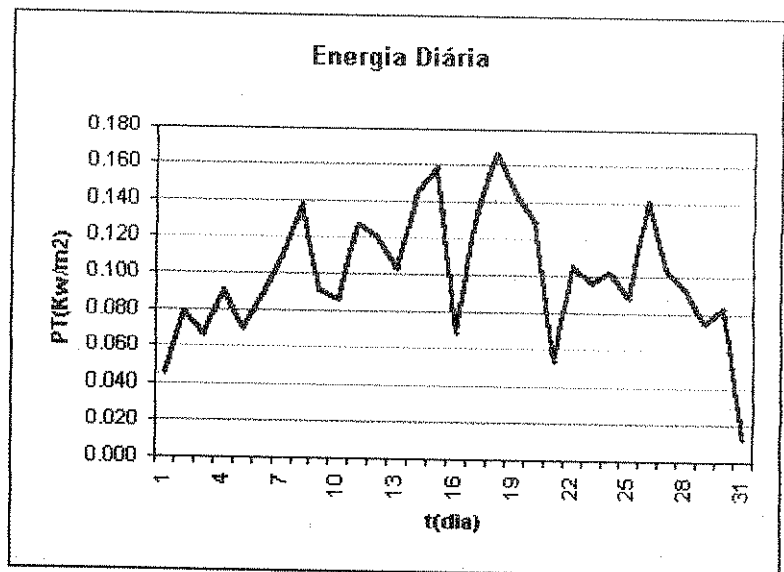
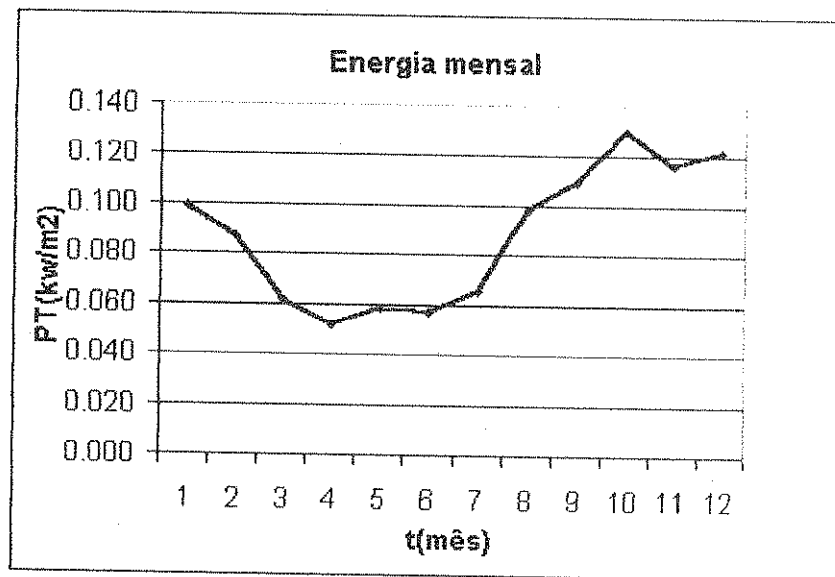


Fig.5.6 : Variação diária da energia do vento  $P_T$  ( $\text{Kw/m}^2$ )  
(calculadas com base nas médias da tab 5.11 INAM - 1999)

A Tb 5.19 e a Fig. 5.6 mostram a variação da energia eólica  $P_T(\text{kw/m}^2)$  em função do tempo  $t(\text{dia})$  ao longo do ano de 1999 na região da cidade de Maputo. Os resultados mostram que o comportamento é análogo ao da velocidade do vento, estando a energia acima da média no intervalado do dia 6 a 28 de cada mês e nos restantes dias a energia está abaixo da média.

Mês	v(m/s)	$P_T(\text{kw/m}^2)$
1	2.58	0.099
2	2.47	0.087
3	2.2	0.062
4	2.07	0.051
5	2.16	0.058
6	2.14	0.057
7	2.24	0.065
8	2.57	0.098
9	2.66	0.109
10	2.82	0.130
11	2.72	0.116
12	2.76	0.122
<b>Média</b>	<b>2.45</b>	<b>0.085</b>



Tab.5.20 Variação mensal da energia do vento (calculadas com base na tab 5.15 INAM 1970 - 1999).

Fig. 5.7 Variação mensal da energia do vento  $P_T(\text{kw/m}^2)$  (calculadas com base na tab 5.15 INAM 1970 - 1999).

A Tb 5.20 e a Fig. 5.7 mostram a variação da energia eólica  $P_T(\text{kw/m}^2)$  em função do tempo  $t(\text{mês})$ , portanto uma variação mensal da energia no período de 1970 a 1999 na região da cidade de Maputo. A variação da energia mensal é análoga a variação mensal da velocidade do vento na mesma região de estudo.

Os resultados revelam que a energia está acima da média nos meses de janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro e com um máximo no mês de outubro, nos meses de março, abril, maio, junho e julho a energia regista valores abaixo da média e com um mínimo no mês de abril.

Ano	v(m/s)	P <sub>T</sub> (kw/m <sup>2</sup> )
1970	2.95	0.149
1971	2.68	0.111
1972	2.42	0.082
1973	2.42	0.082
1974	2.56	0.097
1975	2.43	0.083
1976	2.87	0.137
1977	2.16	0.058
1978	2.61	0.103
1979	2.82	0.130
1980	2.2	0.062
1981	2.93	0.146
1982	3.12	0.176
1983	2.54	0.095
1984	2.53	0.094
1985	2.35	0.075
1986	2.47	0.087
1987	2.23	0.064
1988	2.3	0.070
1989	2.05	0.050
1990	1.68	0.027
1991	1.56	0.022
1992	2.9	0.141
1993	2.47	0.087
1994	2.28	0.069
1995	2.2	0.062
1996	2.13	0.056
1997	2.38	0.078
1998	2.57	0.098
1999	2.53	0.094
<b>Média</b>	<b>2.45</b>	<b>0.085</b>

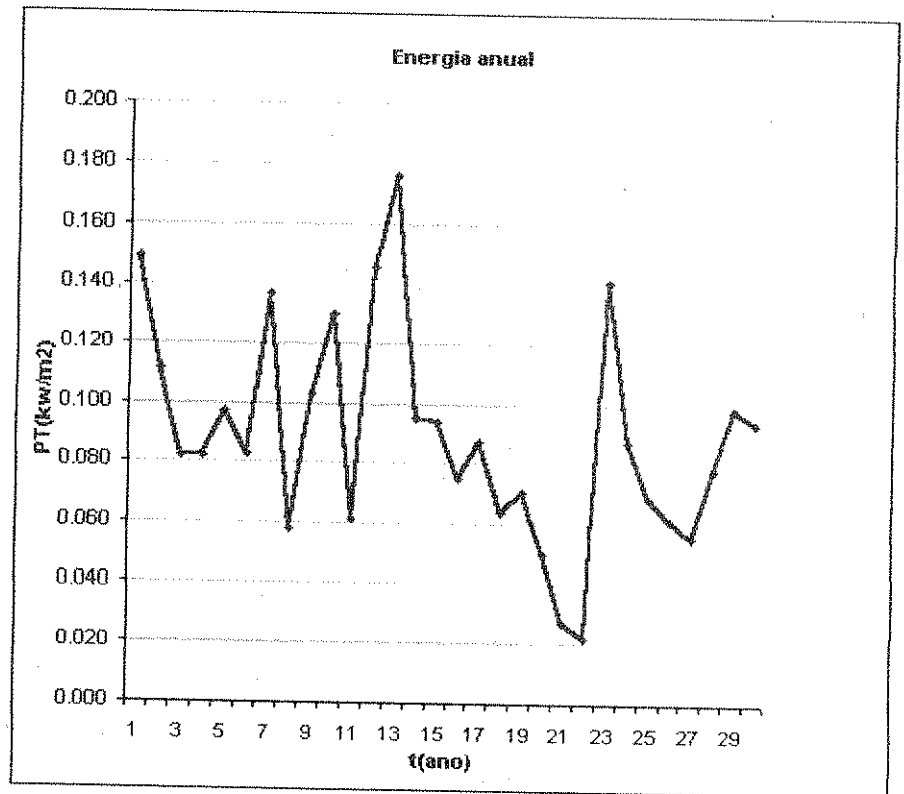


Fig.5.8 variação anual da energia do vento P<sub>T</sub>(kw/m<sup>2</sup>)  
 ( para o eixo horizontal o ano 1=1970 e o ano 30=1999 respectivamente).  
 (calculadas com base nas médias tab 5.15 INAM 1970 – 1999)

Tab.5.21 Variação anual da energia do vento.  
 (calculadas com base nas médias tab 5.15 INAM 1970 – 1999)

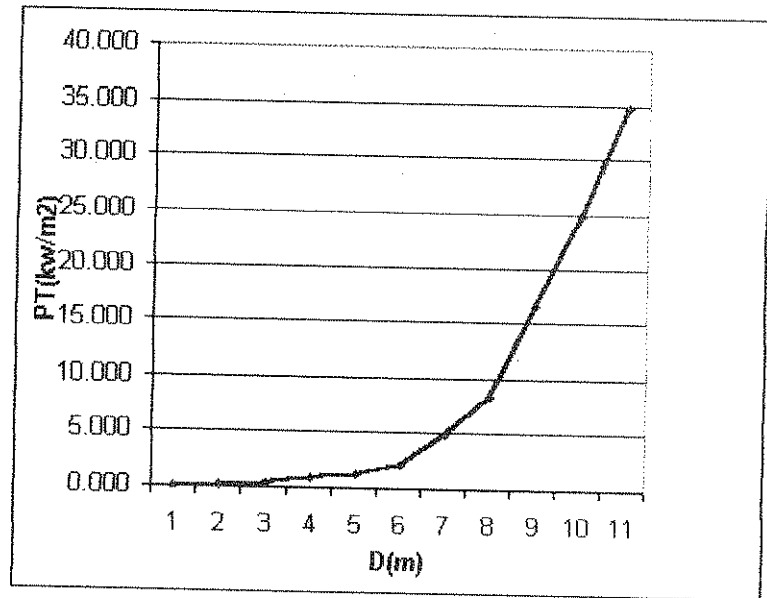
A Tb 5.21 e a Fig. 5.8 mostram a variação da energia eólica P<sub>T</sub>(kw/m<sup>2</sup>) em função do tempo t(ano), portanto uma variação anual da energia ao longo do período de 1970 a 1999 na região da cidade de Maputo. Os resultados mostram que de 1970 a 1984, a energia eólica neste intervalo está acima da média e com um máximo no ano de 1982, de 1985 a 1999 a energia está abaixo da média e com um mínimo no ano de 1991.



Podemos observar que com o uso de aeromotor de classe mais baixa que no nosso caso foi com um diâmetro de 6.4m a energia média obtida é de cerca de 0.085kw/m<sup>2</sup>,

Pode se avaliar a energia do vento  $P_T$ (kw/m<sup>2</sup>) em função da variação do diâmetro da secção do Aeromotor, tomando em conta que a velocidade média do vento na cidade de Maputo é de (2.45m/s)

Classe	D(m)	$P_T$ (kw/m <sup>2</sup> )
Pequena	6.4	0.084
	10	0.205
Intermédia	14	0.402
	20	0.821
	25	1.283
Larga	32	2.102
	49	4.928
	64	8.408
Muito Larga	90	16.626
	110	24.837
	130	34.690



Tab.5.22 Variação da energia do vento em função do tamanho do Aeromotor. (calculada com base no diâmetro avaliado no R.E.R por John Twidell and Tony Weir, 1986)

Fig.5.9 Mostra a variação da energia  $P_T$ (kw/m<sup>2</sup>) em função do tamanho do aeromotor: (deve-se ter em conta que no eixo horizontal 1=6.4 e 11=130). (calculada com base no diâmetro avaliado no R.E.R por John Twidell and Tony Weir, 1986)

A Tb 5.22 e Fig. 5.9 mostram a variação da energia eólica  $P_T$ (kw/m<sup>2</sup>) em função do tamanho do aeromotor D(m) e tomando em conta que a velocidade média na região da cidade de Maputo é de (2.45m/s), os resultados mostram que a região da cidade de Maputo não possui energia eólica que possa alimentar qualquer espécie de industria.

## 5.1 Cálculo de erros

O instrumento usado para a medição da velocidade do vento instalado e em uso no INAM oferece uma precisão de  $\Delta V = 0.1 \text{ m/s}$ , segundo os cálculos realizados.

De acordo com a teoria de cálculo de erros, o erro relativo nesta medição pode ser determinado com o uso da equação.

$$E_r = \Delta v / v_{\text{med}} = 4.1\%$$

## 6. Conclusões

Dos resultados obtidos permite-nos observar e tirar as seguintes conclusões:

A velocidade média do vento na região da cidade de Maputo é de  $(2.45 \pm 0.04) \text{ m/s}$   
A energia eólica média na região da cidade de Maputo é de  $0.085 \text{ kw/m}^2$ .

Quanto a variação da energia no tempo podemos concluir que:

1 - Na variação da energia eólica em função do tempo  $t(\text{h})$ , verifica-se que a energia é mínima cerca da 1 hora de madrugada e máxima as 15 horas.

2 - Na variação da energia em função do tempo  $t(\text{dia})$ , a energia cresce nos primeiros dias atingindo o máximo no dia 18, e decresce atingindo o mínimo no dia 31. A energia acima da média atinge-se no intervalo de 6 a 28 de cada mês, no princípio e no fim de cada mês a energia é baixa.

3 - Na variação da energia em função do tempo  $t(\text{mês})$ , verifica-se que a mínima energia tem lugar no mês de abril e a máxima no mês de outubro. Os meses com energia abaixo da média são: Março, abril, maio, junho, julho, acima da média são: janeiro, fevereiro, agosto, setembro, outubro novembro e dezembro. Os meses de energia ótima são: setembro, outubro, novembro e dezembro.

4 - Na variação da energia em função do tempo  $t(\text{ano})$ , a energia mínima nos últimos 30 anos foi no ano de 1991 e a máxima no ano de 1982.

Verifica-se de modo geral que a energia eólica tem vindo a diminuir nos últimos anos situação que nos parece que tem a ver com a subida gradual da temperatura média das águas do mar.

Os níveis de energia eólica na região da cidade de Maputo não são da ordem que permitem alimentar qualquer indústria, todavia com a montagem de geradores de classe pequena e intermédia é possível obter a energia para as necessidades básicas da população.

## **7. Recomendações**

1- Pela grande importância, que a energia eólica representa como energia de recurso renovável, torna-se necessário realizar-se vários estudos similares ao realizado neste trabalho em todas as províncias, bem como em outras regiões específicas de difícil acesso à rede eléctrica convencional. Isto significa que deve ser feita a prospecção dos lugares mais adequados para esse aproveitamento, onde o vento atinge as maiores velocidades.

2 - O estudo realizado neste trabalho, poderá servir de base para posteriores pesquisas a diversos níveis nesta área.

## **8. Bibliografia**

- [1]. Renewable Energy Resources por John Twidell and Tony weir.
- [2]. Meteorologia geral e agrícola 1ª parte por F. Reis Cunha 1972.
- [3]. Ciências da terra por B.J.Retallack 1º volume Instituto Nacional de Meteorologia e geofísica . Lisboa -Portugal.
- [4]. Compendium of lecture notes, for training class IV, meteorological personnel -Vol.I - Earth science, 1970, word meteorological organization.
- [5]. Blair, T.A. e Fite, R.C - Meteorologia. Ao livro técnico ( Rio de Janeiro ), 406p,1964.
- [6]. Byers, H.R - General meteorology. Mc.Graw Hill Book (N.York) 53 ap ,1959.
- [7]. Ferreira, H. Amorim - observações e instrumentos meteorológicos Tomo -I das lições da cadeira de meteorologia da Univ. de Lisboa, 53p,1948
- [8]. Ferreira, H. Amorim - Meteorologia Física. Univ. de Lisboa 1948.
- [9]. Climatologia Dinâmica da África Meridional - trabalho elaborado sobre direção do prof. H.Amorim Ferreira. Serviço meteorológico nacional (Lisboa) 1965.
- [10]. Guide to meteorological instrument and observing practices. World meteorological organization (Geneve),1961.
- [11]. Wind and solar energy. UNESCO (Paris), arid zone research, VII, 235P,1958.
- [12]. Wind breaks and shelterbelts.Technicalnote nº 59, Word meteorological organization (Geneve), 188p,1964.

## **9. Anexo**

Dias		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18			
Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
10	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
11	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
12	3	4	8	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5
13	3	4	8	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5	17	5
14	3	13	8	17	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5	18	5
15	3	13	8	19	5	11	5	13	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2	17	5	10	2
16	3	11	8	17	4	15	3	18	4	10	2	18	4	18	4	18	3	10	3	17	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2	11	2
17	3	11	8	13	4	18	3	22	4	20	2	17	3	18	3	18	3	11	3	17	2	9	2	7	5	18	5	6	3	18	8	13	3	11	2	18	3	10	
18	0	0	8	10	4	11	3	20	4	7	2	18	3	18	3	10	3	10	3	13	2	11	2	17	5	17	5	6	3	18	8	11	3	11	2	18	3	17	
19	0	0	8	13	4	11	4	15	4	10	2	15	3	17	3	10	3	10	3	13	2	15	2	17	5	17	5	6	3	18	8	11	3	11	2	18	3	10	
20	0	0	8	13	4	15	5	18	4	17	2	15	3	17	3	11	3	11	3	11	2	11	2	13	5	15	5	6	3	10	8	7	3	10	2	13	3	10	
21	0	0	5	13	4	13	5	11	5	15	2	13	3	18	3	10	3	10	3	10	2	9	2	6	5	17	5	6	3	10	8	7	3	11	3	13	3	10	
22	0	0	5	13	5	15	5	9	5	11	2	15	4	18	3	11	2	10	2	7	2	7	2	7	5	17	5	6	3	10	8	7	3	10	3	9	3	10	
23	0	0	5	13	5	10	5	9	5	10	2	15	5	10	3	11	1	4	1	9	2	15	5	17	5	6	3	10	5	6	3	6	3	11	3	11	3	10	
24	0	0	5	13	5	10	5	9	5	10	2	15	5	4	3	10	1	4	8	11	1	5	5	15	5	7	3	4	2	6	3	4	2	6	3	10	3	10	
Soma	80	218	318	337	296	275	342	200	169	182	247	318	273	257	261	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	210	
Méd	3.333	9.1	13	14	12	11	14	8.3	7	7.6	10.3	13.3	11.4	10.7	10.9	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	8.75	
V.Pre	3	8	5	5	5	5	5	3	3	8	8	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Tab 5.1 A tabela mostra a variação horária, diária e a média mensal da velocidade e direção do vento ao longo do mês de janeiro de 1999.

Mes Fevereiro Ano 199 Parametro Vento(Km/h)

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	
1	9	0	0	0	4	13	2	11	0	0	0	0	0	5	6	5	11	0	0
2	9	0	0	0	5	7	2	15	0	0	0	5	6	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	4	0	0	5	6	2	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	4	0	0	5	6	6	4	7	4	5	11	4	18	5	10	5
7	0	0	1	4	0	0	5	6	6	4	7	6	5	10	4	18	5	4	5
8	0	0	8	4	0	0	5	7	6	6	7	7	5	15	4	18	5	6	0
9	2	4	8	4	5	4	4	11	0	0	7	4	1	13	4	10	5	7	5
10	3	6	2	8	2	13	4	11	6	3	8	7	5	15	4	13	5	10	5
11	3	6	2	13	2	15	4	13	4	3	8	6	5	18	5	13	5	10	5
12	3	11	2	13	1	13	5	6	0	0	8	10	4	20	4	7	4	4	3
13	3	10	2	13	0	0	4	4	0	0	8	10	4	18	4	10	4	10	3
14	3	10	2	14	2	18	3	15	0	0	2	11	4	18	4	10	3	13	2
15	3	10	2	15	2	15	3	15	2	3	2	7	4	20	4	10	3	15	2
16	3	10	2	13	2	13	3	15	0	0	2	10	4	18	4	7	3	10	2
17	2	6	2	11	2	6	3	22	0	0	2	11	5	20	5	10	3	10	2
18	2	4	2	11	0	0	2	22	0	0	2	4	5	20	4	7	3	10	2
19	2	4	1	6	2	6	2	22	0	0	2	3	5	20	4	10	4	7	2
20	0	0	7	4	0	0	2	22	0	0	2	3	5	18	4	7	4	4	2
21	0	0	7	4	0	0	2	19	0	0	2	3	4	20	4	6	5	4	2
22	0	0	1	4	5	6	2	17	0	0	0	5	18	5	6	5	4	0	0
23	1	4	1	4	5	6	2	13	0	0	2	3	5	18	5	6	5	6	0
24	2	4	0	0	4	13	2	13	0	0	2	3	5	17	5	6	5	6	0
Soma	107	157	128	285	67	112	337	292	176	215	153	186	153	284	212	148	247	153	7
Med	4.458	6.5	5.3	12	2.8	4.7	14	12	7.3	9	6.4	7.75	6.38	11.8	8.83	6.17	10.3	6.38	2
V.P	3	2	2	2	2	2	5	4	5	5	2	2	3	5	3	3	2	2	2

Tab 5.2 A tabela mostra a variação horária, diária e a média mensal da velocidade e direcção do vento ao longo do mês de fevereiro de 1999.

Mes Março Ano 1999 Parametro Vento(Km/h)

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	
1	0	0	0	5	6	0	0	2	8	2	15	2	7	2	6	0	0	0	
2	0	0	0	5	6	2	6	2	18	0	0	0	5	7	0	0	0	0	
3	2	4	5	4	5	7	2	9	2	17	0	0	5	7	0	0	0	0	
4	0	0	5	7	5	10	6	4	5	6	4	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	5	4	5	10	8	4	5	6	2	11	6	6	0	0	0	0	
6			0	5	10	6	4	5	7	2	14	2	11	6	4	0	0	0	
7			5	7	5	10	6	4	5	7	2	20	3	6	6	4	0	0	
8			5	4	5	10	0	0	5	7	2	20	0	0	6	4	0	0	
9	5	7	4	6	4	10	0	0	4	7	2	20	2	6	5	9	0	0	
10	4	10	3	6	4	7	0	0	4	10	4	11	7	4	3	11	4	22	
11	3	10	3	6	3	10	3	4	11	2	18	2	10	3	13	3	13	4	18
12	3	10	3	10	3	10	3	9	4	11	2	18	2	15	2	17	3	15	4
13	3	10	3	10	3	11	2	11	4	9	2	17	2	15	2	16	3	8	4
14	3	10	3	10	3	13	2	13	3	13	2	15	2	18	3	17	3	19	2
15	3	11	2	10	3	18	2	17	3	13	2	15	2	13	2	17	2	12	3
16	3	10	2	15	3	18	2	18	2	13	2	13	2	17	2	12	3	18	4
17	3	13	2	17	3	18	2	13	2	11	3	15	3	17	2	15	2	12	2
18	3	15	2	17	3	17	2	22	3	14	2	15	2	13	2	18	3	15	3
19	3	13	2	17	3	17	2	22	3	13	2	13	2	13	2	16	5	11	2
20	3	11	3	17	3	15	2	24	3	11	2	13	2	18	2	11	3	10	5
21	3	7	3	17	3	13	3	18	3	11	2	11	2	13	2	8	5	9	2
22	3	7	3	10	3	13	3	11	3	11	2	11	2	11	2	11	2	17	0
23	3	4	5	4	3	10	0	0	3	11	2	13	5	11	0	0	0	13	0
24	0	0	5	4	3	10	5	4	3	11	2	10	2	3	5	11	0	0	0
Soma	152	202	282	211	225	383	280	243	201	226	234	141	193	281	174	19	111	111	
Med	6.333	8.4	12	8.8	9.4	16	12	10	8.4	9.4	9.8	5.88	8.04	11.7	7.25	3	0.79	4.63	
V.P	3	3	3	2	5	2	2	2	3	3	2	2	3	5	2	2	3	3	

Tab 5.3 A tabela mostra a variaçao horaria, diaria e média mensal da velocidade e direção do vento ao longo do mês de março de 1999.

Mes Abril Ano 1999 Parametro Vento(Km/h)

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	
1	0	0	0	0	4	0	9	6	5	9	0	0	0	0	1	4	8	9	8
2	0	0	0	0	0	0	9	6	5	7	6	6	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	6	4	0	0	9	6	6	7	7	9	0	0	4	8	11	1	7
4	0	0	6	0	0	0	9	6	6	7	7	9	0	0	2	10	8	9	1
5	0	0	6	0	0	0	7	6	6	9	7	7	0	0	2	10	8	9	1
6	0	0	6	0	0	0	7	6	7	7	7	0	0	0	7	8	13	1	6
7	0	0	6	0	0	0	7	6	7	6	7	0	0	0	7	8	15	1	6
8	0	0	6	0	0	0	7	5	7	7	7	0	0	0	7	8	15	1	6
9	5	4	4	10	0	6	4	6	7	6	7	6	7	6	7	10	8	13	0
10	5	4	4	11	0	0	0	6	8	10	0	0	0	0	8	9	8	10	4
11	3	6	3	11	2	13	0	0	6	8	7	0	0	0	11	8	12	7	4
12	3	10	0	2	17	2	7	3	9	3	6	3	4	8	9	8	15	4	7
13	3	11	2	10	2	15	2	10	3	13	2	7	0	0	13	8	15	3	7
14	2	19	2	6	2	17	2	10	2	15	2	9	2	6	1	11	8	15	3
15	2	19	2	6	2	13	2	10	2	12	2	18	2	15	2	6	1	11	8
16	2	11	2	4	0	2	13	2	12	2	4	2	18	2	10	3	7	2	13
17	2	10	2	4	0	2	13	2	18	2	4	2	9	2	10	3	7	2	14
18	2	4	2	4	3	6	2	10	2	18	2	6	2	10	1	11	10	3	7
19	2	4	2	4	3	4	2	10	2	18	2	3	9	2	10	3	10	2	13
20	2	7	2	6	3	9	2	11	2	15	2	2	13	2	7	1	7	3	10
21	2	4	2	6	3	11	2	10	3	15	2	11	2	6	2	9	1	11	3
22	2	7	2	4	3	7	2	7	3	12	0	7	2	6	1	7	1	13	0
23	0	0	1	4	0	2	6	3	9	2	6	6	2	4	1	9	1	10	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	120	118	112	125	200	198	236	165	201	0	266	237	174	205	273	138	174	256	0
Med	5	4.9	4.7	5.2	8.3	5.8	9.8	6.9	8.4	0	11	9.88	7.25	8.54	11.4	5.75	7.25	10.7	0
V.P	2	2	2	2	2	2	6	2	2	2	4	2	2	1	8	3	2	8	0

Tab 5.4 A tabela mostra a variaçao horaria, diaria e media mensal da velocidade e direçao do vento ao longo do mes de abril de 1999.



Dias	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18			
	Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd		
1	7	9	8	4	0	0	8	7	5	11	5	14	0	0	1	13	8	9	5	11	0	0	0	0	0	0	8	15	1	11	0	0	5	11	5	11	0	0
2	7	9	8	11	0	0	7	9	6	9	5	17	0	0	1	15	7	15	5	9	0	0	0	0	0	0	8	13	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	7	8	9	8	4	1	7	5	9	5	10	0	0	8	11	7	9	6	13	6	4	0	0	0	1	11	5	9	7	4	5	20	5	10	0	0	
4	7	7	8	11	8	11	1	9	4	9	5	10	0	0	7	6	7	13	6	9	5	9	7	7	4	1	11	5	9	4	11	5	20	4	10	0	0	
5	7	7	8	8	8	10	8	11	4	9	5	10	0	0	7	6	7	9	6	9	5	13	7	7	4	1	11	5	11	7	11	5	17	4	7	0	0	
6	7	7	8	11	7	10	8	13	4	11	5	15	0	0	8	11	5	9	6	9	5	11	7	7	4	7	4	5	9	7	9	5	10	4	7	0	0	
7	7	9	8	11	7	10	8	9	4	8	5	10	0	0	8	13	5	7	6	9	5	6	7	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	8	9	8	6	7	4	8	11	4	17	5	10	0	0	4	8	17	6	9	6	4	4	7	13	6	6	5	9	7	13	5	11	4	10	0	0		
9	0	0	0	0	1	4	8	13	4	19	5	10	1	4	8	17	6	9	6	4	6	4	7	15	6	15	5	11	7	15	5	11	5	10	0	0		
10	8	17	0	0	8	7	8	9	4	19	5	10	1	5	8	17	5	18	0	0	5	4	7	15	5	15	5	11	8	13	5	17	5	10	0	0		
11	8	18	0	0	7	9	8	9	4	19	5	7	8	7	8	18	5	17	0	0	3	3	8	13	3	13	3	9	8	17	5	18	5	7	7	4		
12	8	13	3	6	7	7	8	13	4	19	4	4	8	7	8	17	4	11	0	0	3	4	8	17	3	9	2	15	8	17	5	18	3	11	7	4		
13	8	9	3	7	8	9	8	7	4	16	4	4	8	7	8	18	4	9	3	4	3	3	8	17	3	9	2	9	8	17	5	17	3	13	3	4		
14	8	9	3	7	8	9	8	7	4	19	3	6	1	7	8	18	4	9	3	13	3	6	8	15	3	11	2	7	8	10	5	17	3	11	3	4		
15	8	6	3	6	8	7	1	9	4	19	3	4	1	8	8	17	4	9	2	15	3	6	8	13	3	15	2	6	2	10	5	18	3	11	3	4		
16	1	6	3	4	8	11	1	11	4	17	3	4	1	8	1	15	0	0	2	13	3	6	1	15	3	15	2	4	2	10	4	17	3	11	2	4		
17	1	6	3	4	8	9	1	7	4	17	3	7	1	7	1	11	3	9	2	6	3	3	2	6	3	15	2	4	2	7	4	17	3	11	2	6		
18	0	0	3	4	8	9	2	7	4	17	3	7	1	7	1	11	3	11	0	0	3	4	2	13	3	11	0	0	2	7	4	13	3	10	2	4		
19	0	0	3	3	8	11	1	18	4	15	3	11	1	8	1	15	3	9	0	0	3	4	1	15	4	9	0	0	2	7	5	10	3	6	1	4		
20	0	0	0	0	1	11	1	18	4	15	3	4	1	8	1	9	4	7	0	0	0	0	1	18	4	9	0	0	4	10	5	10	5	10	3	1	4	
21	0	0	0	0	1	9	1	11	4	15	3	3	1	8	1	11	4	7	0	0	0	0	1	18	4	9	0	0	4	10	5	10	5	10	3	1	6	
22	1	4	0	0	1	4	1	9	4	19	0	0	1	7	1	11	5	7	0	0	0	0	1	18	4	11	0	0	5	17	5	10	3	11	1	6		
23	1	6	0	0	1	4	7	15	5	17	0	0	1	8	8	13	5	13	0	0	0	0	1	13	4	11	0	0	5	13	5	10	3	10	1	4		
24	1	6	0	0	8	9	7	18	5	19	0	0	1	11	7	9	5	9	0	0	0	0	8	13	4	15	0	0	5	10	5	10	3	3	1	4		
Soma	164	113	178	257	364	177	117	315	234	133	96	261	269	156	253	338	214	84	3.5	10.5	7	5	3	3	11.2	6.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5		
Med	6.833	4.7	7.4	11	15	7.4	4.9	13	9.8	5.5	4	10.9	11.2	6.5	10.5	14.1	8.92	3.5	10.5	7	5	3	3	11.2	6.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
V.P	8	8	8	8	4	5	1	8	5	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Tab 5.5 A tabela mostra a variação horária, diária e média mensal da velocidade e direcção do vento ao longo do mês de maio de 1999.



Mes Julho Ano 1999 Parametro Vento(Km/h)

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Horas	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff	dd	ff
1	0	7	11	5	10	0	0	0	0	0	1	4	5	11	5	13	0	0
2	0	7	11	5	10	0	0	0	0	6	11	0	5	10	5	13	0	0
3	0	7	19	5	10	0	0	6	6	11	7	9	6	10	5	13	0	0
4	0	7	18	5	10	0	0	6	4	6	11	7	9	6	11	5	10	0
5	8	7	13	6	10	0	0	0	0	6	11	7	9	6	11	5	11	0
6	8	10	7	11	6	7	0	0	0	6	11	7	4	6	20	5	10	7
7	8	10	7	10	5	10	0	0	6	11	7	8	6	20	5	10	7	3
8	8	10	7	7	5	11	0	0	6	11	6	10	0	6	11	6	22	6
9	7	11	5	13	6	10	0	0	6	4	6	13	7	11	6	19	5	10
10	7	11	5	13	5	7	7	6	4	6	6	7	15	6	19	5	10	7
11	7	11	5	15	5	7	7	0	0	3	7	6	4	7	11	5	19	5
12	8	13	5	13	3	7	3	6	3	7	6	4	3	5	20	3	13	7
13	8	15	5	11	3	7	3	10	3	10	0	0	3	6	2	10	3	8
14	8	15	5	10	3	7	3	11	2	10	0	0	3	7	2	13	2	11
15	8	11	5	10	3	7	3	11	2	11	2	6	3	7	2	13	2	13
16	8	10	5	7	3	7	2	10	2	11	2	6	3	7	2	13	2	7
17	1	10	4	13	0	0	2	10	2	11	0	0	3	6	2	11	2	11
18	1	13	4	13	0	0	2	7	3	7	0	0	3	6	2	10	0	0
19	1	13	4	13	0	0	2	7	3	10	2	9	3	7	2	7	0	0
20	8	11	5	15	2	4	2	7	3	7	2	4	3	7	2	7	0	0
21	8	13	5	13	0	0	2	11	3	7	2	4	0	0	0	0	0	0
22	8	11	5	11	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	7	11	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	7	10	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	226	293	141	111	195	122	60	127	143	190	357	181	161	309	400	274	269	377
Med	9.417	12	5.9	4.6	8.1	5.1	2.5	5.3	6	7.9	15	7.54	6.71	12.9	16.7	11.4	11.2	15.7
V.P	8	5	5	2	6	6	3	2	6	7	5	5	2	8	8	4	8	5

Tab 5.7 A tabela mostra a variação horária, diária e média mensal da velocidade e direção do vento ao longo do mês de julho de 1999.



Mes Setembro Ano 1999 Parametro Vento(Km/h)

Dias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Horas	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd	dd
1	0	3	7	2	4	8	6	4	10	0	0	0	0	0	7	7	6	7	7
2	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	8	7	8
3	0	3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	8
4	0	3	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	8
5	0	3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	0	8
6	0	3	10	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	10	1	6
7	0	0	0	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	10	7	10	1
8	0	0	7	7	7	7	10	0	0	0	0	0	0	0	7	10	7	10	1
9	0	0	5	10	7	7	8	15	4	10	7	7	0	0	7	11	0	7	10
10	0	0	6	10	7	10	8	18	2	10	1	10	8	22	6	20	7	13	4
11	3	7	2	7	10	8	12	2	10	1	9	8	6	8	15	8	13	8	13
12	3	10	2	11	1	7	8	10	2	7	2	11	8	6	8	13	8	11	8
13	3	11	2	7	2	11	8	10	2	10	2	7	1	8	1	13	8	17	8
14	2	13	2	15	2	11	8	10	2	10	2	6	1	10	2	20	8	13	8
15	2	13	2	15	2	11	1	10	2	7	2	26	1	16	2	19	8	13	2
16	2	13	2	15	2	11	1	16	2	10	2	28	1	16	2	19	2	10	2
17	2	19	2	13	2	11	1	14	2	10	2	24	1	14	2	19	2	10	2
18	2	17	2	15	2	10	1	12	2	7	2	18	1	10	2	17	1	10	2
19	2	17	2	15	2	7	1	12	2	7	2	17	1	10	2	17	1	10	2
20	2	17	2	13	2	7	1	10	2	6	2	17	1	10	2	17	1	10	2
21	2	15	2	15	2	7	1	8	0	0	2	15	1	10	2	17	1	10	2
22	2	15	2	13	2	7	1	8	0	0	2	15	1	8	0	0	2	15	1
23	2	11	2	13	0	0	0	0	0	0	2	13	1	8	2	15	2	19	5
24	2	10	2	7	0	0	0	0	0	0	2	11	0	0	1	11	2	20	6
Soma	188	255	149	181	175	282	140	271	340	435	345	276	213	247	273	268	510	377	15.7
Med	7.833	11	6.2	7.5	7.3	12	5.8	11	14	18	14	11.5	8.88	10.3	11.4	11.2	21.3	15.7	5
V.P	2	2	2	1	2	2	1	2	2	8	5	2	2	2	2	2	5	5	5

Tab 5.9 A tabela mostra a variação horária, diária e média mensal da velocidade e direção do vento ao logo do mês de setembro de 1999.