



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA TURBINA EÓLICA DO EIXO VERTICAL HÍBRIDA
ACOPLADA A UM GERADOR DE BAIXA ROTAÇÃO DE ESTATOR PERMANENTE PARA
GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉCTRICA



Joaquim Venâncio Manguengue



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA TURBINA EÓLICA DO EIXO VERTICAL HÍBRIDA
ACOPLADA A UM GERADOR DE BAIXA ROTAÇÃO DE ESTATOR PERMANENTE PARA
GERAÇÃO DE CORRENTE ELÉCTRICA

Autor:

Joaquim Venâncio Manguengue

Supervisor:

Ferraz Teófilo (MSc)

Quelimane, Outubro 2017

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao grande poderoso soberano Jeová Deus pela vida.

Aos meus Pais pela confiança, bondade, atenção, presença em todos momentos na academia, coragem, boa educação e pelo apoio que sempre deram para o meu sucesso

Aos meus irmãos Ginoca, Lúcia, Almiro, Inocência, José Self, Caló, Lulú, Justino, pelo acompanhamento que sempre deram. E a toda família Manguengue Machava, em particular ao tio Octávio pela companhia e sustento educacional durante os quatro anos da minha formação. O meu muito obrigado ao meu cunhado Nunes A. Neves pelos conselhos que tem dado na minha vida.

Deixo ficar o meu Obrigado muito especial ao meu supervisor Ferraz Teófilo (Msc) e ao Noca B. Furaca (Msc), pela paciência e vontade que tiveram em me ajudar para a realização deste trabalho.

Aos meus grandes companheiros da vida Fernando Neves, Dércio Mutuque, Emídio Gume, Nordino Nhamazane e Moisés Nhacutoe, agradeço bastante por todo incentivo que para mim deram e a pela força que sempre endereçaram para mim.

Um obrigado bem grande para Nalia Manhice pelo acompanhamento conjugal que me concede.

Endereço o meu agradecimento aos meus colegas Manuel Alfredo J. Jr., Nilton Nhantumbo, Jermínio Massango que se tornaram irmãos e grandes amigos durante a minha formação. Muito Obrigado

Vai o meu obrigado aos colegas da academia Adolfo Auneta e Anselmo Júnior Chaúque pela ajuda que prestaram na construção da turbina, aos colegas em geral que comigo ingressaram à oceanografia em 2014, a instituição (Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras) em nome do laboratório de oceanografia pela disponibilidade de material que deram sucesso ao trabalho e aos docentes pela sua disponibilidade em conhecimento científico e ético que com ele a minha vida se guiará.

"Quem não valoriza o bom que acontece na vida não tem nenhum sentimento de gratidão"

Graças a Deus, em tudo e em toda parte reconhecemos estes benefícios com profunda gratidão (Atos 24:3).

"Kanimambo"

Declaração de honra

Declaro por minha honra que este trabalho é de minha inteira autoria, e que todo conteúdo que nele consta foi produzido e apresentado com base no material aqui referenciado, na sua contextualização as referências bibliográficas. Pôr em destaque que todas as ideias originais contidas no trabalho, o autor responsabiliza se pelas mesmas.

(Joaquim Venâncio Manguengue)

Dedicatória

Ao meu pai Venâncio Luís Manguengue,

A minha mãe Alda Camucamo Banze

E aos meus irmãos!

Resumo

A electrificação no País não é uniforme, isto é a distribuição da rede eléctrica não é decorrente em todos os cantos do território, sendo que alguns distritos ainda não estão ligados a rede nacional de energia eléctrica.

Este trabalho apresenta a análise do desempenho de uma turbina eólica do eixo vertical acoplada a um gerador de baixa rotação de estator permanente, que opera em velocidades de vento variáveis. Para isto foi construída uma turbina e um gerador com o material local e instalado na Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras.

Para monitorar e avaliar o funcionamento do sistema, foi instalado um anemómetro a montante para a aquisição de dados de vento registados instantaneamente durante o período do estudo e um multímetro utilizado para a medição da corrente eléctrica e da tensão produzida pelo gerador. Com os dados de vento medidos no local, foi possível calcular a energia que pode ser aproveitada pela turbina e com os dados de tensão e corrente produzidas foi obtida a potência eléctrica que o gerador produziu durante um período. E para a determinação do rendimento do todo o sistema fez-se a relação entre a energia disponível no vento capaz de ser aproveitada e a energia produzida pelo gerador.

Com os dados de vento processados em pacote *Microsoft Office Excel* foi calculada a energia convertida pela turbina e o seu coeficiente de potência, o qual relaciona a energia convertida pelo gerador e a energia contida no vento em um dado intervalo de tempo. Entretanto, os resultados relativos a potência eléctrica os máximos foram 12 w e uma tensão de 1.2 V, a intensidade de vento de 4 m/s, o rendimento neste caso avaliou-se em 8%, a uma intensidade da corrente eléctrica de 3 A. Por sua vez a energia mecânica disponível extraída pela turbina foi de 68.59 watts e 1.07 watts em velocidades de 4 m/s e 1 m/s respectivamente. Com os resultados obtidos, pode-se concluir que o desempenho foi tido como aceitável, com uma previsão precisa de 100% na produção da potência pela turbina.

Palavras-chave: *Turbina, energia eólica, corrente eléctrica*

Abstract

The electrification in the country is not uniform, that is the distribution of the electricity network is not present in all corners of the territory, and some districts are not yet connected to the national electricity network. This work presents the performance analysis of a vertical axis wind turbine coupled to a low speed permanent stator generator, which operates at variable wind speeds. For this was built a turbine and a generator with local material and installed in the School of Marine and Coastal Sciences. To monitor and evaluate the operation of the system, an upstream anemometer was installed to acquire wind data recorded instantly during the study period and a multimeter used to measure the current and voltage generated by the generator. With wind data measured locally, it was possible to calculate the energy that can be harnessed by the turbine and with the data of voltage and current produced was obtained the electrical power that the generator produced during a period. And for determination of the yield of the whole system was made the relation between the available energy in the wind capable of being harnessed and the energy produced by the generator. With wind data processed in a Microsoft Office Excel package, the energy converted by the turbine and its power coefficient, which relates the energy converted by the generator and the energy contained in the wind in a given time interval, was calculated. However, the results regarding electric power maxima were 12 we and a voltage of 1.2 V, the wind intensity of 4 m/s, the yield in this case evaluated if at 8%, at an electric current intensity of 3 A. the available mechanical energy extracted by the turbine was 68.59 watts and 1.07 watts at speeds of 4 m/s and 1 m/s respectively. With the results obtained, it can be concluded that the performance was considered as acceptable, with an accurate prediction of 100% power output by the turbine.

Keywords: *Turbine, wind energy, electric current*

Índice

Agradecimentos	i
Declaração de honra	ii
Dedicatória.....	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Capítulo I	1
1. Introdução e objectivos.....	1
1.1. Introdução	1
1.1.1. Problematização	2
1.1.2. Justificativa	2
1.2. Objectivos	3
1.2.1. Geral.....	3
1.2.2. Específicos.....	3
Capítulo II.....	4
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1. <i>Energias renováveis</i>	4
2.2. <i>Energia eólica</i>	4
2.3. <i>Turbinas eólicas</i>	6
2.3.1. <i>Turbinas do eixo horizontal (TEEH)</i>	6
2.3.2. <i>Turbinas de eixo vertical (TEEV)</i>	7
2.3.2.1. <i>Tipo Darrius</i>	8
2.3.2.2. <i>Tipo Savonius</i>	8
2.3.3. <i>Turbinas Híbridas</i>	9
2.4. <i>Aproveitamento/ Funcionamento</i>	10
2.5. <i>Potência eólica</i>	12
2.6. <i>Desempenho das turbinas eólicas</i>	13
2.6.1. <i>Curva de potência para turbinas eólicas</i>	15
2.6.2. <i>Eficiência na extracção de energia eólica</i>	15
Capítulo III	17
3. Metodologia	17
3.1. <i>Material</i>	17
3.1.1. <i>Caracterização da turbina em estudo</i>	17
3.1.2. <i>Princípio de funcionamento de uma TEEV (Savonius)</i>	18
3.2. <i>Métodos</i>	19
3.2.1. <i>Determinação da potência da turbina e o rendimento da turbina em função do vento. ..</i>	19

3.2.2. <i>Rendimento</i>	21
3.2.3. <i>Previsão do desempenho</i>	22
Capítulo IV	23
4. Resultados e Discussão	23
4.1. <i>Vento</i>	23
4.2. <i>Potência do vento no local de estudo e a potência extraída pela turbina</i>	23
4.2.1. <i>Potencia extraída pela turbina</i>	24
4.3. <i>Potência eléctrica (W) em função da velocidade do vento</i>	24
4.4. <i>Rendimento da turbina</i>	26
4.5. <i>Discussão</i>	27
5. Conclusão e Recomendações	29
5.1. <i>Conclusões</i>	29
5.2. <i>Recomendações</i>	29
6. Referencias Bibliográficas	30

Lista de figuras

Figura 1. Apresentação dum sistema eólico simples (Dutra, 2008).....	5
Figura 2. Demonstração de uma TEEH. Fonte: (Epalanga, 2013).....	7
Figura 3. TEEV Savonius (a), Darrius (b) Savonius/Darrius (c) (Rodrigues et al, 2011)	8
Figura 4. Turbina Híbrida. Fonte: (Hoguane, 2013)	9
Figura 5. Fluxo de ar através de uma área transversal 'A' (Dutra, 2008).	13
Figura 6. Curva de desempenho de uma turbina. Fonte: (Rodrigues, 2014).....	14
Figura 7 Demonstração da turbina em estudo. Fonte: Autor	18
Figura 8. Esquema de funcionamento da TEEV (Savonius). Fonte:	18
Figura 9 Anemómetro usado para medição de vento. Fonte: Autor	19
Figura 11. Multímetro	21
Figura 12. Potência eólica do local no período da experiência.....	23
Figura 13. Curva da potência obtida por dados de vento medidos	24
Figura 14. Potencia eléctrica gerada em função de vento.	25
Figure 15. Relação da potência eléctrica, potência da turbina vs vento.....	25
Figura 16. Rendimento do sistema em função da corrente produzida.	26
Figura 17. Intensidade da corrente em função de vento.....	27

Lista de Tabelas

Tabela 1. Apresentação do material usado no trabalho.....	17
---	----

Capítulo I

1. Introdução e objectivos

1.1. Introdução

A energia do vento é a energia cinética contida na massa de ar que se movimenta e pode ser aproveitada através das turbinas eólicas. Esta é uma fonte de energia renovável e limpa, por não contribuir para a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa. Além disso, tal fonte pode ser uma alternativa de geração de energia eléctrica em regiões onde não existe conexão com a rede eléctrica convencional, normalmente, através da utilização do gerador de indução.

No seu princípio de funcionalidade, os sistemas de conversão à energia eólica aproveitam a energia contida no movimento das massas de ar causado pelo aquecimento da terra pelo sol proporcionando o movimento de turbinas eólicas que por sua vez movimentarão os geradores de energia. Após sua instalação, apresentam um grande benefício no sector económico além de diminuir impactos na flora e na fauna que são causados devido a utilização de recursos fósseis.

A conversão desse tipo de energia para a geração de corrente eléctrica, tem a sua base as turbinas, designadas turbinas eólicas. Neste caso uma turbina eólica é definida com um dispositivo de conversão de energia disponível nos ventos em energia eléctrica por intermédio de gerador. Por sua vez as turbinas são compreendidas em horizontais e verticais de acordo com o seu eixo de rotação.

No grau de aproveitamento desta energia, as turbinas do eixo vertical podem ser de tipo Savonius e Darrius, tendo por se considerar Híbrida quando ambos estiverem em um único sistema.

De acordo com Hogueane, (2013) pode-se ter turbina híbrida que resultado da combinação das turbinas do Savonius e Darrius com vista a ultrapassar a fraqueza no início do movimento das turbinas do tipo Darrius e proporcionar maior potência as turbinas do tipo Savonius.

O presente Trabalho tem o seu grande foco a análise do desempenho de uma turbina eólica do eixo vertical instalada na Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras (ESCMC) para aproveitamento da energia cinética do vento.

1.1.1. Problematização

A crescente demanda por electricidade vem sendo suprida, em grande parte, por fontes fósseis de energia. Essas fontes de energia têm causado uma grande preocupação ao mundo, por serem altamente prejudiciais ao meio ambiente, visto que durante a sua queima são liberados gases poluentes, que contribuem com o aumento do efeito estufa, e são esgotáveis, implicando deste modo a dependência energética a partir delas seja um problema quando essas fontes se esgotarem.

Sendo a energia um bem estratégico de excelência e indispensável para o funcionamento das nossas comunidades. O grande problema das fontes convencionais (petróleo, carvão, etc.) esta no impacto que elas causam ao ambiente. Estes proporcionam o calor e gases libertados pelo consumo de energia, que podem causar profundas modificações no clima mundial (Gogoia, 2015).

Segundo Emilio (2013) na sua abordagem sobre avaliacao da eficiência da turbina, constatou que nas condições em que a mesma foi sujeita a eficiência máxima foi de 4.5%, o que desperta a atencao, o que desperta a atenção de se ter em conta o aumento da intensidade da corrente produzida, desenvolvendo um gerador baixa rotação com intuito de produção de altas potências electricas, que consequentemente condicionam uma eficiência elevada.

Essa actual preocupação energética tem aumentado o interesse por outras formas de aproveitamento de energia, principalmente, pelas fontes renováveis. São consideradas fontes renováveis, aquelas fontes cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética, como as águas dos rios, ventos, sol, marés e ondas, logo, são consideradas fontes inesgotáveis (Menezes, 2012).

1.1.2. Justificativa

Apesar da abundância dos recursos energéticos naturais, o acesso aos serviços de energia moderna em Moçambique é tida como cerca de 80% da população a depender integralmente de biomassa tradicional, como lenha e carvão vegetal, para satisfação das suas necessidades energéticas. Numa visão futura, o crescimento populacional, pode induzir um aumento gradual no consumo de biomassa como energia alternativa. Isto implica que apesar de se prever um aumento de consumo de energia moderna como é o caso de electricidade e gás, os combustíveis lenhosos e o carvão vegetal continuarão sendo a maior fonte de energia em Moçambique (DEP, 2012).

Nos últimos anos, a energia eólica tem verificado como uma das principais fontes alternativas de energia e é vista hoje como umas das fontes alternativas com perspectivas de gerar quantidades substanciais de energia, sem causar os impactos ambientais provocados por grande parte das fontes convencionais.

Tendo se constatado em diversos estudos sobre a eficiência das turbinas, este trabalho vem como continuação sob necessidade de se avaliar o desempenho de uma turbina usando um gerador de estator permanente, na produção de electricidade.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

Avaliar o desempenho da turbina acoplado a um gerador de baixa rotação de estator permanente

1.2.2. Específicos

- Determinar a potência eléctrica da turbina em função de velocidade de vento;
- Avaliar o rendimento de todo sistema em função da corrente produzida;
- Prever o desempenho deste equipamento em outros locais que o mesmo pode ser instalado.

Capítulo II

2. Revisão Bibliográfica

2.1. *Energias renováveis*

As energias renováveis são tidas como formas de energia que reconstituem se por forma de um ciclo em uma escala de tempo determinado ou mesmo reduzido. Por sua vez essas fontes podem derivar forma directa ou indirectamente do sol, sendo directamente (solar térmico, foto voltaico e passivo), indirectamente (eólica, híbrida e energia de biomassa), enquadrando se ainda em outras energias naturais como as geotérmicas e varias do mar (João, 2010). Em sua virtude, essas fontes são consideradas inesgotáveis por serem naturalmente renovadas, consideradas ainda fonte alternativa de energia não simplesmente por derivarem duma alternativa eficiente, mas por derem uma energia limpa, pura, não poluentes e que podem ser aproveitadas em qualquer lugar.

As energias renováveis são repostas imediatamente pela natureza; é o caso dos potenciais hidráulicos (quedas de água), eólicos (ventos), a energia das marés e das ondas, a radiação solar e o calor do fundo da Terra (geotermal). A biomassa também é uma fonte renovável de energia e engloba diversas subcategorias, desde as mais tradicionais (como a lenha e os resíduos animais e vegetais) até as mais modernas (como o etanol para automóveis, biodiesel, bagaço de cana para co-geração energética e gás de aterros sanitários utilizados para a geração de electricidade) (Goldermberg & Lucon, 2006, pp. 6-15).

2.2. *Energia eólica*

Denomina-se energia eólica a energia contida nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento ocorre por meio de conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. Contudo, a energia eólica vem sendo utilizada pela humanidade e tem ajudado o homem em diversas actividades como a moagem de grãos e bombeamento de água, e com o passar dos anos, passou a ser utilizada para gerar energia eléctrica.

A utilização da energia eólica para produção de electricidade ganhou força durante a Segunda Guerra Mundial, sendo uma forma de os países economizarem os combustíveis fósseis. Porém, após o fim da

Segunda Guerra os combustíveis fósseis voltaram a abundar em todo o cenário mundial e a energia eólica acabou ficando em segundo plano (Menezes, 2012).

A energia eólica é definida como aquela que é produzida a partir da força dos ventos, sendo abundante, renovável, limpa e está disponível em diversas regiões ao redor do mundo. Esta energia é produzida através de geradores, de modo que a força do vento é captada por hélices conectadas a uma turbina, que por sua vez acciona um gerador eléctrico. A quantidade de energia gerada é função de factores como a densidade do ar, a área varrida pela rotação das pás e da velocidade do vento (Müller, 2005). A energia eólica consiste na energia cinética contida nos movimentos das massas de ar na atmosfera, os ventos, que são produzidos através do aquecimento diferenciado da atmosfera. Como a radiação do Sol não é uniforme, alguns locais são mais aquecidos do que outros. Essa diferença de temperatura cria zonas de pressões diferentes, que por sua vez, causam o deslocamento das massas de ar.

Em geral, a energia eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos. Os ventos que sopram em escala global e aqueles que se manifestam em pequena escala são influenciados por diferentes aspectos, entre os quais destacam-se a altura, a rugosidade, os obstáculos e o relevo (Dutra, 2008).

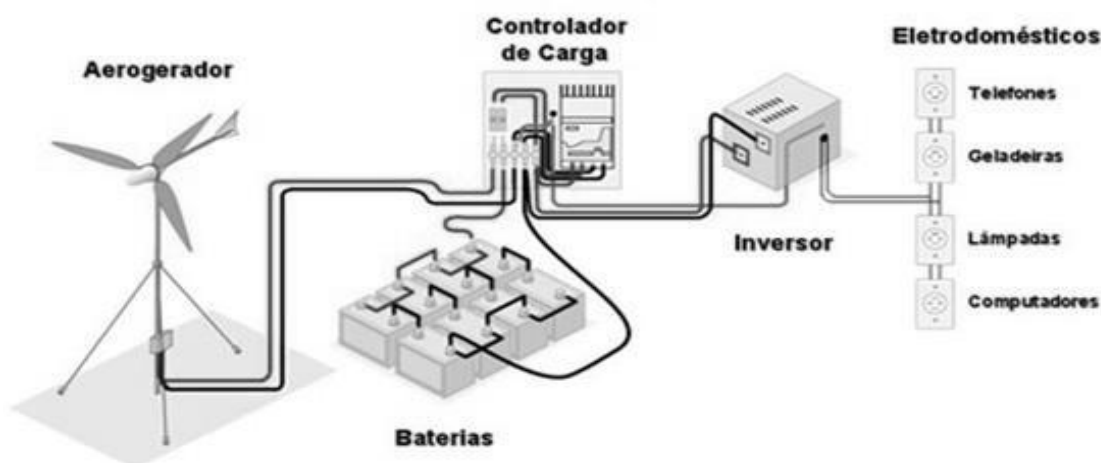


Figura 1. Apresentação dum sistema eólico simples (Dutra, 2008).

O vento sendo por sua origem uma fonte natural, o seu regime de formação ou aproveitamento para a geração de electricidade pode ser influenciado por certos factores ao longo do tempo.

Segundo Dutra, (2008) as características topográficas de uma região influenciam o comportamento dos ventos uma vez que, em uma determinada área, podem ocorrer diferenças de velocidade, ocasionando a redução ou aceleração na velocidade do vento. Além das variações topográficas e de rugosidade do solo, a velocidade também varia seu comportamento com a altura. Entre os principais factores de influência no regime dos ventos destacam-se:

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

2.3. Turbinas eólicas

A extracção da energia cinética do vento é realizada por máquinas devidamente projectadas que transformam a potência do vento em energia mecânica, ou em energia eléctrica por intermédio de geradores (Epalanga, 2013). Esta máquina de transformação de energia cinética do vento em energia eléctrica aproveitável para vários fins é designada de Turbina eólica.

Por sua vez as turbinas estão divididas em dois tipos segundo o eixo da sua projecção: Turbina do eixo horizontal e de eixo vertical.

2.3.1. Turbinas do eixo horizontal (TEEH)

As turbinas de eixo horizontal (TEEH) são as mais comuns e são caracterizadas por possuírem pás que giram em um plano perpendicular à direcção do vento. Por captarem o vento em apenas uma direcção, necessitam de mecanismos de controlo para direccionar a secção recta varrida pelas pás. Esse tipo de turbina pode possuir uma, duas ou mais pás, dependendo do seu tipo de aplicação.

As turbinas de múltiplas pás normalmente são utilizadas para bombeamento de água. Para geração de electricidade as turbinas mais utilizadas são as de três pás, pois possuem um melhor desempenho em relação aos demais modelos e possuem uma melhor aceitação do ponto de vista do impacto visual e

menor emissão de ruído em relação às turbinas de uma e duas pás. Estas turbinas são pouco utilizadas por serem mais instáveis e propensas a turbulências, o que pode trazer riscos a sua estrutura (Menezes, 2012).

Ao contrário das turbinas de eixo vertical, as turbinas de eixo horizontal necessitam do mecanismo de orientação usado para girar o rotor e mantê-lo de frente para o vento, extraíndo o máximo de energia eólica. Este tipo de turbina contém uma torre para alçar os componentes da turbina a uma altura ideal para a velocidade do vento (80-100 metros), ocupando muito pouco espaço no solo.

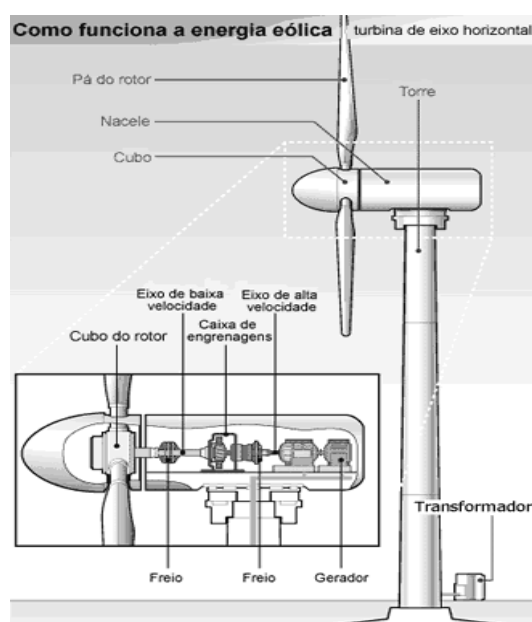


Figura 2. Demonstração de uma TEEH¹. Fonte: (Epalanga, 2013)

2.3.2. Turbinas de eixo vertical (TEEV)

Na sua conceptualização as turbinas de eixo vertical (TEEV), tem uma vantagem de não necessitarem de mecanismo para extra para a sua orientação à direcção do vento quando este varia. Essas por sua vez podem ser movidas por sustentação (lift) e arrasto (drag) (Júnior, 2009). Nas TEEV o eixo de rotação é projectado na forma vertical em perpendicular com a superfície do solo e geralmente sem necessitar de nenhum orientação de ajuste quando a direcção do vento sofre mudanças, em geral os seus equipamentos são montados ao nível do solo (Figura 3).

¹ Turbina eólica de eixo horizontal

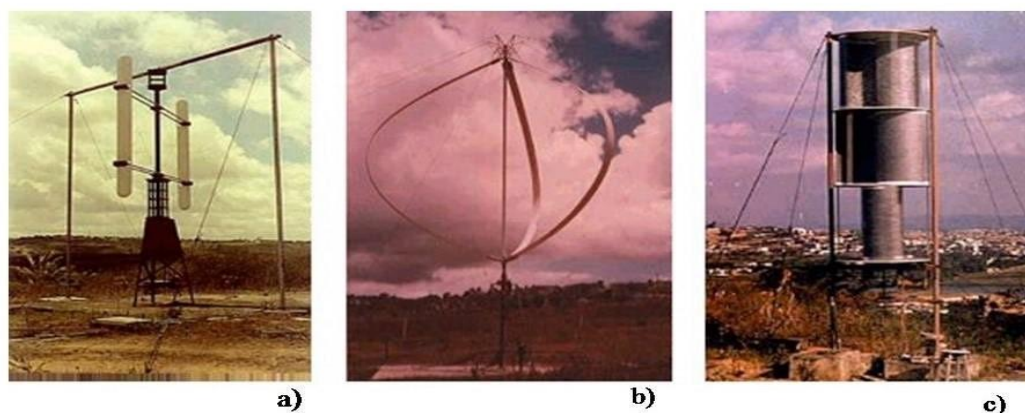


Figura 3. TEEV² Savonius (a), Darrius (b) Savonius/Darrius (c) (Rodrigues *et al*, 2011)

Esse tipo de turbina em função de rotação de suas pás, altera constantemente os ângulos de ataque e o deslocamento em relação à direcção do vento, em consequência disso, o rendimento é limitado, causa ainda a vibração em toda a sua estrutura. Quanto à sua estrutura podem ser divididas em dois grupos nomeadamente: Darrius ou Savonius.

2.3.2.1. Tipo Darrius

As turbinas Darrius, são montadas num eixo vertical, têm a vantagem de se localizarem ao nível do solo, facilitando a sua manutenção. São utilizadas locais com velocidades de vento elevadas e, em alguns casos, é necessário um accionamento adicional para arrancar a mesma. Relativamente às turbinas Savonius, as turbinas Darrius são mais eficientes.

Tem curva de rendimento característica próxima à dos rotores de três pás de eixo vertical, sendo mais compatíveis com o uso em aerogeradores (Júnior, 2009).

2.3.2.2. Tipo Savonius

Já as turbinas Savonius são usadas quando se pretende gerar pouca energia, grande robustez, custo reduzido e manutenção reduzida. Porém, são empregues em locais com velocidades de vento reduzidas.

Entretanto as TEEV de tipo Savonius apresentam baixa rotação e alto torque a qual podem funcionar a baixas velocidades de vento. Têm as suas pás formadas em semi-círculo apresentando se como

² Turbina eólica de eixo vertical

conchas. Sua eficiência é baixa, seu rendimento mecânico máximo pode atingir 31%. Apresentam uma curva de eficiência característica próxima à do rotor de pás múltiplas, de eixo horizontal, mas em uma faixa mais estreita, e de menor amplitude (Fernandes, 2011).

2.3.3. Turbinas Híbridas

São sistemas de geração de electricidade por duas ou mais fontes de produção operando em conjunto, com o objectivo de produzir o máximo de energia disponível em fontes renováveis (Conceição, 2013). Segundo este autor, a turbina apresenta um bom desempenho na exploração de energia, devido a presença de dois tipos de turbinas no mesmo sistema: Savonius/Darrius.

Segundo Alam e Iqbal (2010) citado por Hogueane (2013), uma turbina híbrida explora bons factores de ambas turbinas. No entanto, após uma determinada velocidade, esta ira gerar potências menores em relação a do tipo Darrius, resultado do acréscimo de arrasto por turbina do eixo Savonius.



Figura 4. Turbina Híbrida. Fonte: (Hogueane, 2013)

2.4. *Aproveitamento/ Funcionamento*

O aproveitamento da força dos ventos é feito pela conversão da energia cinética, através do giro das pás de uma turbina eólica, em um sistema constituído por vários componentes. A mensuração das condições climáticas, localização e destinação, propiciam um melhor rendimento final (Júnior, 2009).

Segundo Reis, *et al*, (2008), a conversão é feita pelos geradores eléctricos, que nada mais são do que motores eléctricos que ao girarem em torno de seus eixos induzem (pela lei de Faraday) uma corrente eléctrica em seus pólos. Os geradores podem ser basicamente dos tipos corrente alternada "AC" ou corrente contínua "DC", se converterem a energia para a forma de corrente alternada ou contínua. Nos tipos de geradores de corrente contínua, a energia é convertida, para a forma directa ou contínua de corrente eléctrica e carrega uma bateria que acumula esta energia para uso posterior. De acordo com o mesmo autor a para conversão da energia dos ventos em electricidade deve ser considerados os seguintes componentes: Turbina, Gerador, Caixa de Multiplicação, Sistema de controlo e Torre.

Gerador

O gerador naturalmente é um dispositivo de transformação da energia cinética em energia eléctrica é efectuada através de equipamentos de conversão electromecânica, sendo a integração de geradores para a conversão eólica um grande problema, envolvendo, principalmente:

- Variações na velocidade do vento (grande faixa de rotações por minuto, para a geração);
- Variações do torque de entrada (já que as variações na velocidade do vento induzem a variações de potência);
- Exigência de frequências e tensões constantes, na produção final de energia.

Neste contexto, os geradores são distintos em síncronos (estator permanente), assíncronos.

Gerador síncrono (Magnetos Permanentes)

O gerador síncrono de ímanes permanentes é composta por um estator fixo ou permanente, neste estão presentes enrolamentos de boninas que podem ser trifásicos ou monofásicos e onde é induzida tensão pelo movimento do rotor.

O rotor ou eixo de rotação é constituído por ímanes permanentes nele que geram um campo magnético principal na máquina.

Segundo Gaspar, (2013) estes geradores, apresentam melhor relação potência/volume, o que favorece o seu uso em sistema de conversão eólica. E por sua vez possui uma significativa redução de perdas no núcleo, proporcionando um valor de eficiência alto. Contudo, em grande parte dos sistemas de energia eólica usam-se este tipo de geradores em casos de conversão electromecânica, apostando-se na sua vantagem que centra em produção de altas potências e que pode ser ligada directamente à rede eléctrica.

Mecanismos de funcionamento do gerador síncrono

Normalmente, estes geradores, para a produção de electricidade necessitam de uma fonte primária que proporciona o movimento em seu eixo. Esta fonte primária, fornece a energia mecânica pela aplicação de um torque e por rotação do eixo do gerador, uma vez ligada à fonte externa, a tensão aos seus terminais é ditada pela frequência de rotação. Neste caso para converter a energia mecânica aplicada pela fonte externa em eléctrica, há uma necessidade de o campo do eixo, seja proporcionado por fonte de movimento contínuo de forma a girar o campo magnético que é gerado pelos pólos do rotor em movimento relativo aos condutores dos enrolamentos existentes no estator.

Porém, por conta desse movimento relativo ao campo magnético dos ímãs do rotor, a intensidade do campo que por sua vez atravessa os enrolamentos do estator, varia com o tempo, resultando em indução de tensões aos terminais dos condutores de estator. (Lei de Faraday)

Caixa Multiplicadora

Como a velocidade angular das turbinas, em regra, varia entre 20 e 150 RPM, e os geradores têm velocidade de trabalho entre 1200 e 1800 RPM, é necessário, comumente, um sistema de engrenagens para a multiplicação da velocidade entre a turbina e o gerador. Esta é a razão da existência da caixa de multiplicação no sistema para o alcance dum rendimento sustentável.

Sistemas de Controlo

Como a turbina eólica converte a energia cinética do vento em energia mecânica rotacional (através do rotor), as forças aerodinâmicas, geradas nas pás da turbina, necessita de configurações especificamente projectadas. Um aumento na velocidade do ar, modificando as forças de sustentação aerodinâmica, requer o controlo de potência do rotor, rápido e efectivo, a fim de se evitar sobrecarga eléctrica e mecânica no sistema.

Os sistemas de controlo servem para o equilíbrio do sistema eólico, impedindo o colapso decorrente das forças envolvidas, e actuam na velocidade, passo, freio, posicionamento do rotor e controle da carga.

Torre

Item necessário para sustentar e posicionar o rotor em sua correcta posição (altura), capaz de sustentar o grande peso das partes componentes do sistema de geração de energia (rotor, pás, etc.). É responsável por grande parte do custo final da instalação do sistema eólico.

2.5. Potência eólica

A energia utilizada pelas turbinas eólicas no seu todo é a energia cinética do vento, que é convertida em energia mecânica pelas pás da turbina, que por sua vez é recebida pelo gerador e a converte em energia eléctrica (Dutra, 2008). A equação 1 apresenta a energia cinética contida no vento.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad [1]$$

Tendo m a massa de ar em movimento a uma certa velocidade v que actua no sistema em uma determinada área, conclui se que a Potência disponível no vento que passa pela área pode ser dada por equação 2.

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad [2]$$

A potencia extraída num determinado tempo em que o vento actua na turbina em uma certa velocidade pode ser dada por:

$$P = \left(\frac{1}{2}\right)\rho AV^3 \Delta t \quad [3]$$

$$A = \pi r^2 \quad [4]$$

P = potência do vento [W]

ρ = Massa específica do ar [kg/m^3]

A = área da secção transversal [m^2]

V = velocidade do vento [m/s]

r = raio da turbina [m]

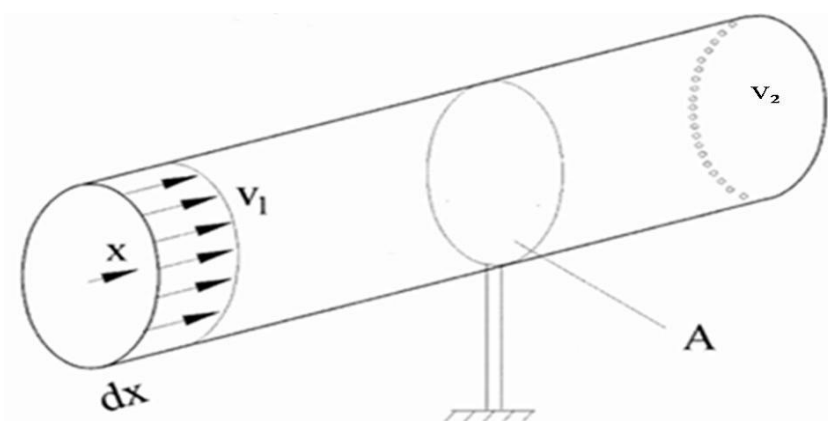


Figura 5. Fluxo de ar através de uma área transversal 'A' (Dutra, 2008).

2.6. Desempenho das turbinas eólicas

O desempenho de uma turbina é geralmente conceptualizado como a capacidade operacional que uma turbina pode apresentar, consoante o seu aproveitamento de energia do vento convertendo em eléctrica. Ao longo dos anos vem se definindo recomendações e normas para a determinação do desempenho em potencia de turbinas eólicas (Moura, 2014). A comissão Electrotécnica Internacional (IEC) é um órgão que tem vindo a desenvolver vários padrões com intuito de definir as características principais para a determinação do desempenho de potência das turbinas eólicas.

O desempenho de uma turbina eólica pode ser determinado pela uma maneira com que a potência, torque podem variar com a velocidade do vento. E por sua vez pode depende da razão da velocidade λ e do ângulo de inclinação das pás. Esta razão de velocidades, que é representada pelo símbolo λ ,

equação [5], é a relação entre velocidade rotacional da turbina e a velocidade do vento incidente (Rodrigues, 2014).

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad [5]$$

Onde:

ω é a velocidade rotacional da turbina em rpm

R é o raio da turbina

V é a velocidade incidente

A potência de uma turbina determina a quantidade de energia do vento capturada pelo rotor. O método usual de apresentar o desempenho de potência de saída de um aerogerador é pela curva da potência (Figura 5). O primeiro aspecto notável é que o coeficiente de potência (C_p) raramente alcança o valor limite de Betz de 0,592. As pás estão geralmente sujeitas a perdas por arrasto e nas pontas de sua extensão, além disso o projecto aerodinâmico das pás quase nunca é perfeito para alcançar o valor limite de desempenho de potência (Rodrigues, 2014).

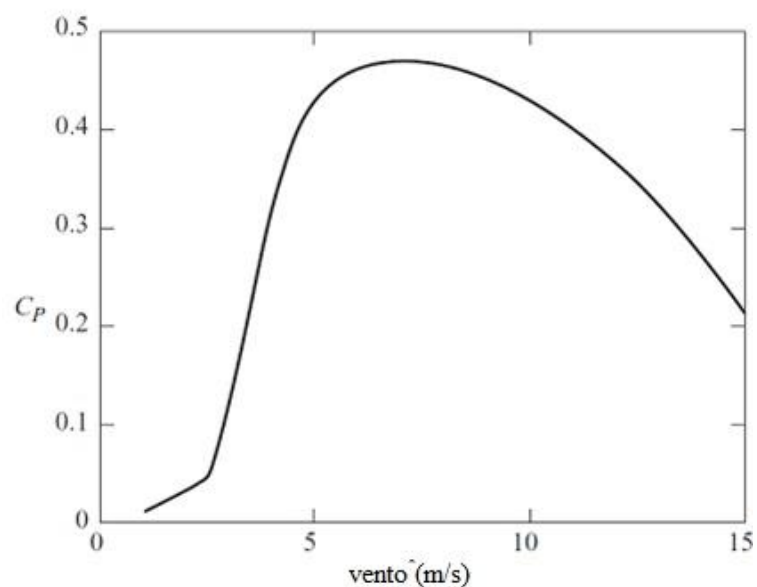


Figura 6. Curva de desempenho de uma turbina. Fonte: (Rodrigues, 2014)

No que diz respeito ao desempenho na produção de potência eléctrica de uma turbina eólica, a curva de potência é um instrumento fortíssimo e importante para estimar a potência extraída (Acunha Jr & Almeida, 2006). Segundo estes autores, a estimação da potência extraída para determinar o desempenho da turbina, é realizada através da quantificação da relação entre o vento (entrada) e a potência eléctrica (saída) produzida na turbina. A curva de desempenho de potência de um aerogerador é um gráfico que indica a quantidade de potência [W ou kW] que um aerogerador irá produzir em um dado valor de velocidade do vento [m/s]. A potência é representada no eixo vertical e a velocidade do vento no eixo horizontal.

2.6.1. *Curva de potência para turbinas eólicas*

A quantificação desta energia é necessária, para a verificação prática do real funcionamento da turbina, por exemplo ao nível dos desempenhos mecânicos e eléctrico da mesma e na verificação da qualidade da potência produzida durante o seu tempo de funcionamento. O vento é uma entrada livre e impossível de controlar, sendo então de importância primordial controlar a estabilidade da potência de saída das turbinas eólicas (Moura, 2014).

A curva de potência de um aerogerador tem como objectivo definir a potência gerada para cada velocidade de vento a que o aerogerador é submetido, permitindo, através de dados de vento tratados estatisticamente prever o desempenho de deste equipamento em outros locais em que o mesmo possa ser instalado. Para isso são realizadas medições de velocidade de vento e da potência extraída da turbina e é a partir desses dados que pode se obter a curva da potência tendo um gráfico bidimensional que relaciona a velocidade e a potência extraída pela turbina eólica.

2.6.2. *Eficiência na extracção de energia eólica*

A potência do movimento converte em potência na turbina pela redução da velocidade do vento. Todavia, a o sistema não pode extrair a energia disponível no vento. Isso devendo se ao facto de que a velocidade do vento, antes da área de varredura (A), seria zero. Entretanto isto não é possível, originando perdas de energia e a eficiência não é 100 %. Nos seus estudos, Betz em 1926, descobriu a eficiência máxima que pode ser extraída por uma turbina eólica (Marques, 2004) .

A eficiência é a fracção da energia eólica, a montante, que é extraída pelas pás da turbina. A energia remanescente é perdida com o vento a jusante. O factor C_p é denominado de coeficiente de potência da turbina ou de eficiência da turbina e segundo Betz, 1926 tem o valor máximo de 0,59. E quando relacionado com as velocidades (V_2/V_1), tem o valor de $\frac{1}{3}$ (Lima *et al.*, 2011).

Desta, analisando o conceito dado por experiencias de Betz pode se dizer que a eficiencia é a razão da potencia extraída do vento pela turbina e a potencia do vento antes do sistema.

$$C_p = \frac{\text{Potência transformada do vento}}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad [6]$$

Onde:

ρ é densidade do ar no local;

A é a área de varredura da turbina eólica

V é a velocidade do vento incidente pela qual a turbina é proporcionada ao seu movimento

Lei de Betz diz que só se pode converter menos de 16/27 (59%) da energia cinética em energia mecânica ao utilizar um aerogerador.

Capítulo III

3. Metodologia

3.1. Material

A tabela a seguir, apresenta o material básico que constituiu a realização do trabalho

Tabela 1. Apresentação do material usado no trabalho

Nº	Material	Qtd.	Utilidade Final
1	Turbina híbrida	1	Objecto do estudo
2	Anemómetro manual de copo	2	Para medição de velocidades de vento
3	Multímetro analógico de ponteiro		Aparelho usado para a medição da tensão e intensidade da corrente eléctrica
5	Gerador de magneto permanente	1	Dispositivo de transformação da energia mecânica em energia eléctrica

3.1.1. Caracterização da turbina em estudo

A turbina em estudo, possui uma altura de pás de 2 m, um comprimento dos braços correspondente a 1.2 m, com 8 cm de diâmetro do eixo de rotação. A fixação dos braços de suporte de pás ao eixo foi concebida em diferença de 120° de ângulo entre eles. O ângulo de ataque foi definido segundo a disponibilidade de vento no local, para isso foi tido o ângulo em que a turbina poderia começar o seu movimento rotativo em velocidade reduzida de 54°. No entanto o ângulo de ataque, foi definido a partir do centro da pá projectado pela parte côncava da mesma.



Figura 7 Demonstração da turbina em estudo. Fonte: Autor

3.1.2. Princípio de funcionamento de uma TEEV (Savonius)

A Turbina eólica do eixo vertical do tipo savonius é um dos mais simples no seu manuseio no seu princípio de funcionamento, pois o seu movimento é governado pela força de arrasto do ar e o maior rendimento da mesma, poder ser verificado em ventos relativamente fracos.

Este tipo de turbina baseia - se no princípio de accionamento diferencial, sendo que os esforços exercidos pelo vento em cada uma das áreas das pás têm sido de diferentes intensidades, resultando um binário responsável pelo movimento rotativo e contínuo sistema (Da Silva, 2013).

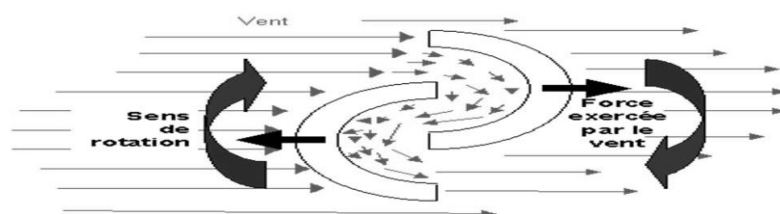


Figura 8. Esquema de funcionamento da TEEV (Savonius). Fonte:³

³ (<https://evolucaoenergiaeolica.files.wordpress.com/2012/06/generalites>)

3.2. Métodos

Para aquisição de dados de vento utilizados no presente trabalho foi usado um anemómetro de copos instalado a altura da turbina, a montante tendo sido considerados dados de intervalos de 10 em 10 minuto por um período de 3 horas por 8 dias. O anemómetro usado é um manual de copos com precisão de 1 m/s.



Figura 9 Anemómetro usado para medição de vento. Fonte: Autor

Para uma maior precisão no âmbito de aquisição de dados de velocidade da turbina, o número de rotações por minuto nesse caso, foi usada uma câmara de telefone a qual dava um registo electrónico que posteriormente facultava a leitura dos mesmos

3.2.1. *Determinação da potência da turbina e o rendimento da turbina em função do vento.*

Para qualquer estudo relativo a energia eólica, o calculo ou a determinação do potencial no local em estudo é recomendado. Para o calculo do potencial recorreu se a equação [2].

A potência disponível no vento que pode ser extraída por turbinas do eixo vertical, Albert Betz é dada a partir da equação [7] (Ferreira, 2011).

$$P = \frac{16}{27} \rho r h V^3 \quad [7]$$

Onde:

r- raio da turbina;

h- altura da pá;

ρ - Densidade do ar.

Para a turbina em estudo a potência, foi obtida a partir da equação [8]

$$P = \frac{1}{7} \rho r h V^3 t \quad [8]$$

Esta potência foi tida a partir de relação estabelecida pela energia máxima extraída pela turbina. Esta relação é designada coeficiente de potência da turbina ($\frac{2}{14}$), correspondente a 14%. O coeficiente de potência para o cálculo desta potência foi calculado a partir da relação a velocidade do vento incidente na turbina e a velocidade na qual a turbina se move. Na resposta disso distinguiu se uma velocidade que foi constante durante um tempo e extraiu se a velocidade de rotação da turbina.

A potência disponível no vento foi determinada instantaneamente em relação a velocidades de vento que actuava em determinado tempo definido em intervalos de 10 em 10 minutos por 3 horas do dia durante o mesmo período de 8 dias. Para tal, tendo em conta os limites estabelecidos por Betz, para a turbina em estudo esta potência foi obtida a partir da equação [9], período mínimo visto adequado para aquisição de dados precisos e confiáveis para a construção da curva da potência, que é a ferramenta chave para avaliação do desempenho da turbina. E por sua vez os dados de vento assim como os de potência foram processados em um pacote estatístico "*Microsoft Office Excel 2007*" e os resultados respectivos a potência máxima extraída são apresentados em gráficos.

Na física entende se Potencia como medida de energia eléctrica transferida da fonte da alimentação para a cara por unidade de tempo. Nota se que a potencia expressa o efeito combinado da força electromotriz disponível entre os terminais no ponto de medição e a corrente que circula através da carga por conta desta (tensão (U), intensidade da corrente (i)). A potência eléctrica no estudo, foi calculada a partir de dados de tensão e intensidade da corrente equação [10].

$$P_e = i \cdot U \quad [9]$$

Onde:

i é a corrente produzida expressa em Voltes(V)

U é a tensão medida expressa em Amperes (A)

Os dados correspondentes a tensão e a intensidade foram obtidas através das medições por um multímetro analógico de ponteiro, ligado às terminais de saída do gerador da turbina, fazendo a leitura instantânea dos dois parâmetros.



Figura 10. Multímetro

3.2.2. *Rendimento*

O factor C_p é denominado de coeficiente de potência da turbina ou de eficiência da turbina e segundo Betz, 1926 tem o valor máximo de 0,59. Desta, analisando o conceito dado por experiencias de Betz pode se dizer que a eficiencia é a razão da potencia extraída do vento pela turbina e a potencia do vento antes do sistema.

$$C_p = \frac{P_e}{P = \frac{1}{2} \rho r h V^3} \quad [10]$$

3.2.3. *Previsão do desempenho*

A previsão do desempenho da turbina em estudo no caso da mesma instalar-se em outros locais, baseou-se na curva da potencia. Neste caso a curva da potência é definida pelo gráfico da relação entre a potência disponível e possível de ser extraída pela turbina, com a velocidade de vento que actua. Para tal, a equação do cálculo desta potência foi tida como o modelo matemático para a previsão. Também foi analisada a partir do rendimento obtido do sistema.

Capítulo IV

4. Resultados e Discussão

4.1. Vento

No período de estudo, em análise registou-se velocidades de ventos com intensidades máximas a variar de 4 a 6 com predominância provenientes se Sudeste. O máximo valor verificado foi de 6 m/s tendo sido acompanhado pelo seu valor mínimo de 1 m/s em todo período. Os valores altos no período da hora 14 até nos minutos finais da hora 16, devido a insolação solar.

4.2. Potência do vento no local de estudo e a potência extraída pela turbina

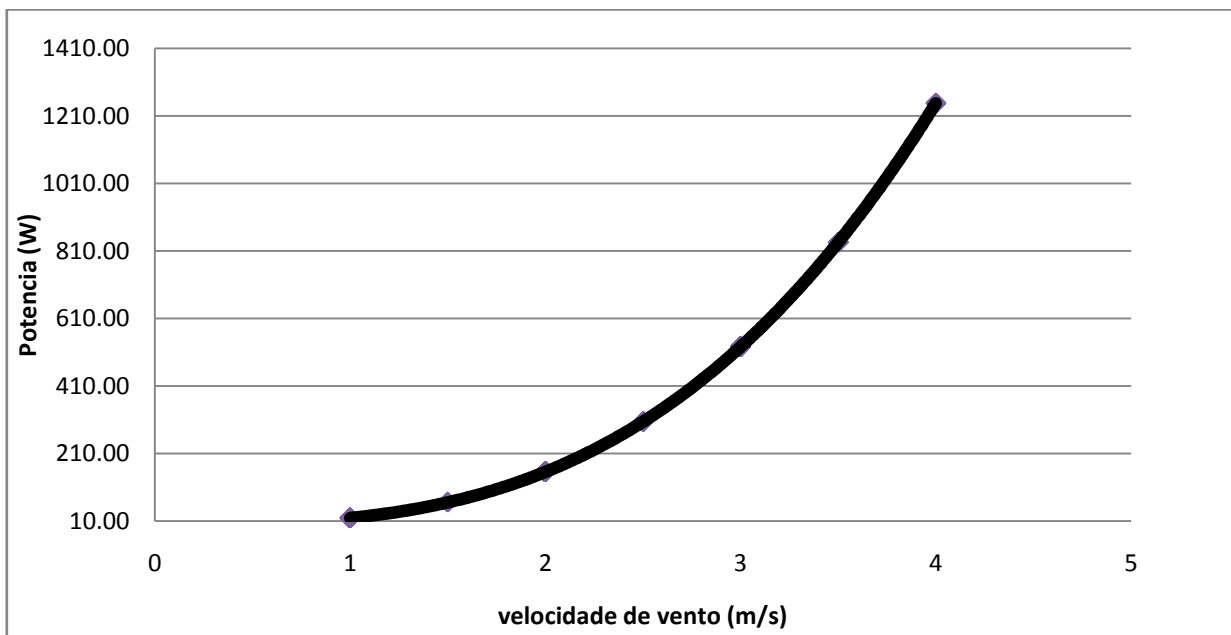


Figura 11. Potência eólica do local no período da experiência

A figura 12, apresenta o potencial eólico disponível no local durante a experiência, onde registou se uma potencia máxima de 1248 w em vento de 4 m/s e mínima de 19.50 w correspondente a velocidade mínima registada de 1 m/s.

4.2.1. Potencia extraída pela turbina

A potência de uma turbina determina a quantidade de energia do vento capturada pelo rotor. O método usual de apresentar o desempenho de potência de saída de um aerogerador é pela curva da potência. A estimação da potência extraída para determinar o desempenho da turbina é realizada através da quantificação da relação entre o vento (entrada) e a potência capaz de ser produzida pela turbina.

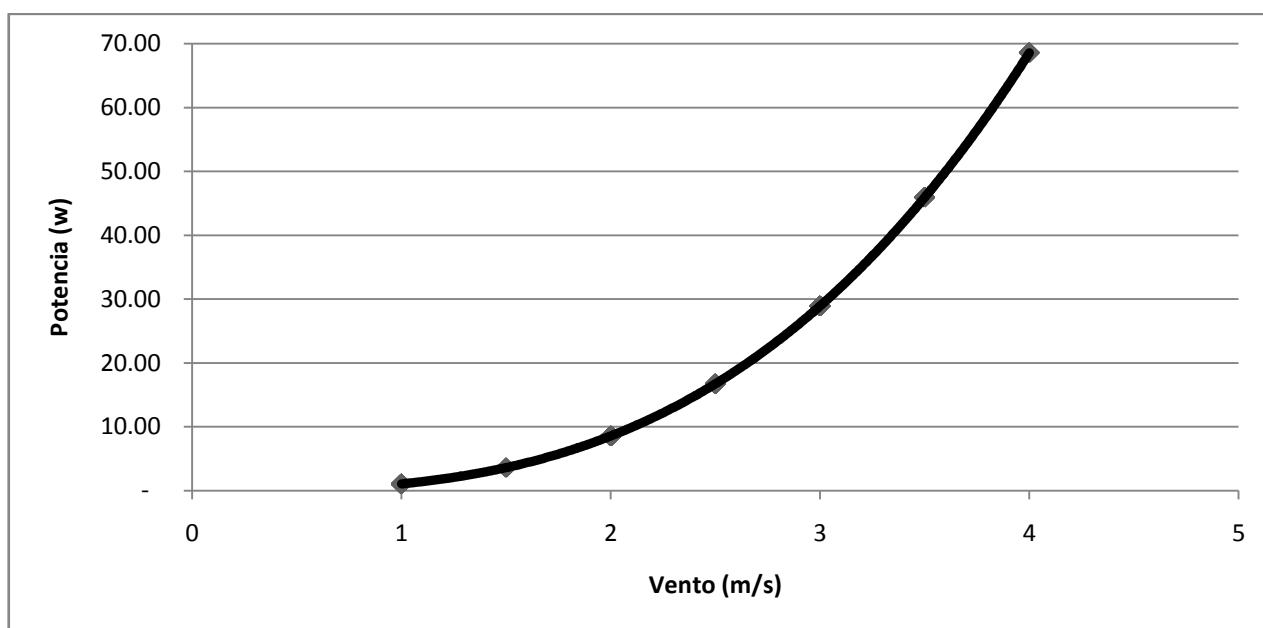


Figura 12. Curva da potência obtida por dados de vento medidos

Desta verifica se que seja a energia disponível no vento (figura 12), tida a partir da equação [2], descrita no capítulo II deste trabalho, assim como a energia capaz de ser aproveitada ou extraída pela turbina (figura 13) determinada pela equação [8], são directamente proporcionais à velocidade do vento.

4.3. Potência eléctrica (W) em função da velocidade do vento

A potência eléctrica produzida pelo gerador acoplado a turbina no período de estudo foi registada em variação da mesma consoante as velocidades que incidiam na turbina conforme a figura a seguir.

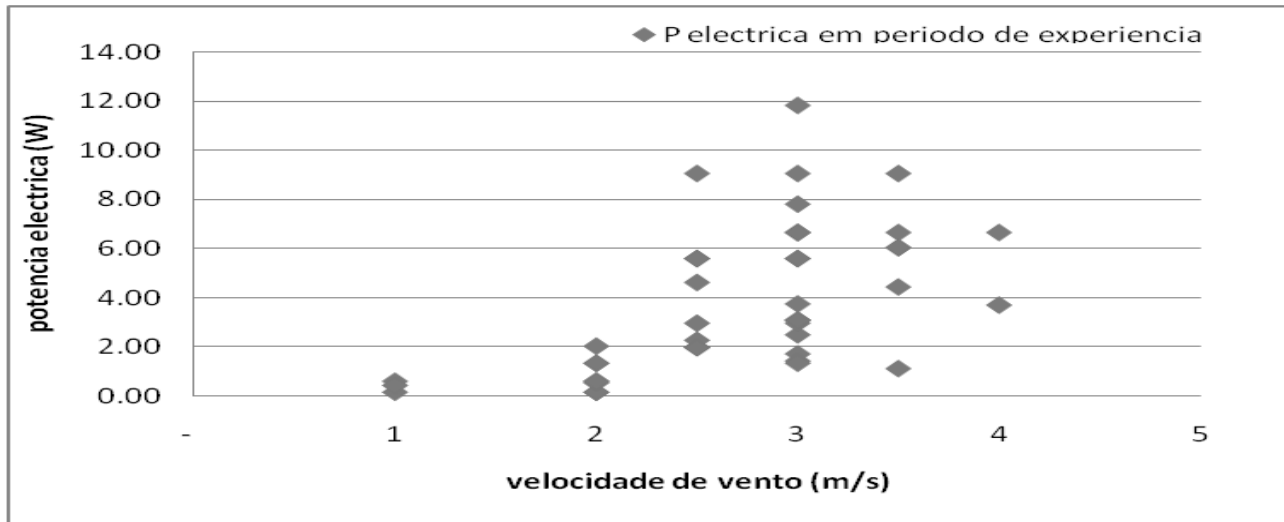


Figura 13. Potencia eléctrica gerada em função de vento.

A figuras 13, ilustra a potência eléctrica extraída, no gráfico verifica se que os valores da potencia tendem a aumentar até a velocidade 3.5 m/s, e tendo se verificado uma diminuição na velocidade de 4 m/s. Este fenómeno é resultante do desequilíbrio verificado no sistema de comunicação quando aumentava a velocidade. Tendo culminado na oscilação acentuada e na não uniformidade na produção da corrente pelo gerador. O que dita que a tensão não depende essencialmente do vento que incide na turbina, visto que a uma determinada velocidade do vento foi observado uma variação de valores.

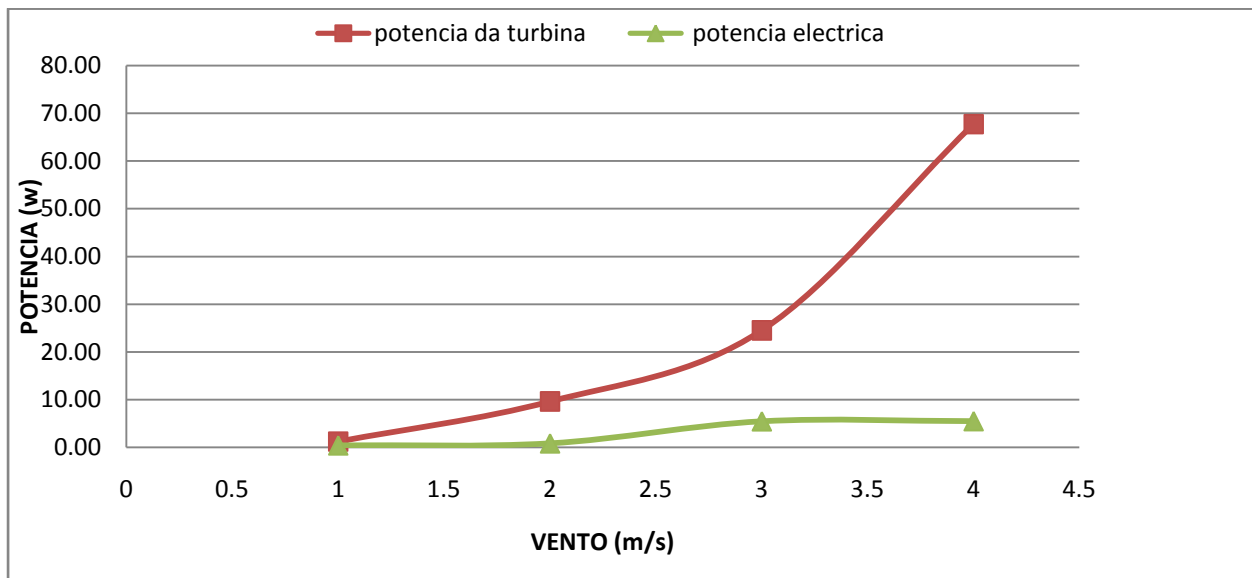


Figure 14. Relação da potência eléctrica, potência da turbina vs vento.

Na figura 14, é apresentada a relação existente entre a potência eléctrica que o gerador acoplado na turbina produz com a potência que pode ser extraída, tendo em conta as velocidades em que a turbina é submetida. Contudo, é notável que a potência da turbina tem se mantido constante com as velocidades de vento constante o que mostra a proporcionalidade dos dois parâmetros e a potência eléctrica apresenta uma variação mesmo a uma velocidade constante, devido a conservação da inércia pela turbina, dado que esta mesma potência eléctrica depende da turbina.

4.4. *Rendimento da turbina*

O coeficiente de potência ou rendimento da turbina ou ainda eficiência da turbina para este trabalho foi tido relacionando a potência eléctrica do gerador e a potência capaz de ser extraída pela turbina como descrito no capítulo III, no ponto 3.2.2 do mesmo trabalho, como mostra figura a seguir.

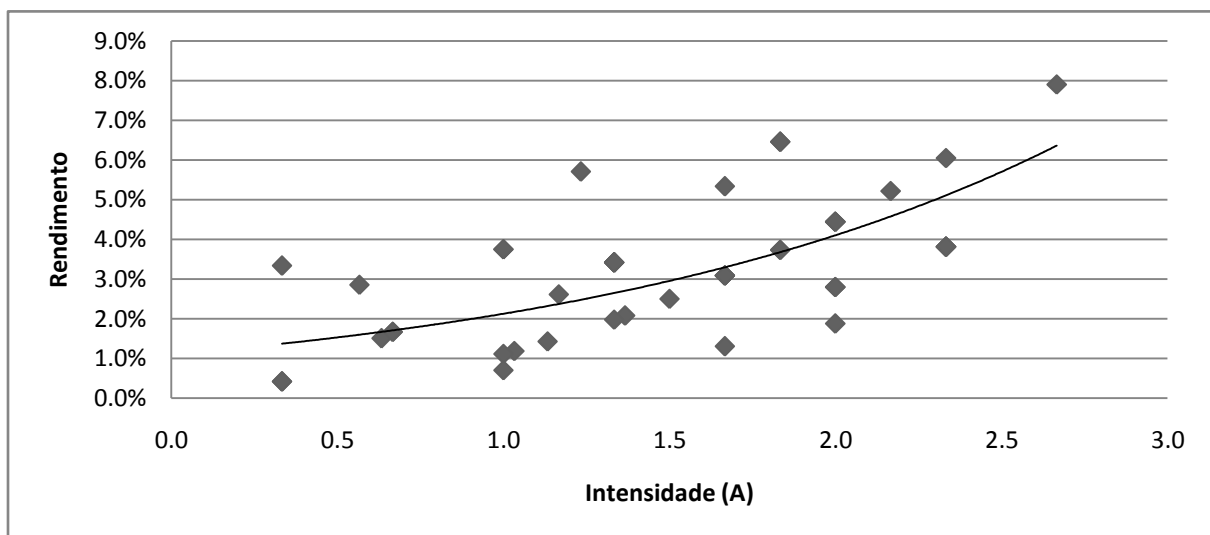


Figura 15. Rendimento do sistema em função da corrente produzida.

A figura 15, ilustra o rendimento do sistema eólico em estudo em função da intensidade da corrente eléctrica produzida instantaneamente durante o tempo da ocorrência de experiência. É verificado que os valores mínimos do rendimento em percentagem (0-1%) são observados em baixos valores da intensidade da corrente (0-1A) e o rendimento máximo (6-8%) é tida com o aumento da intensidade

que foi registado até 3 A. Relacionando o rendimento com o vento, é valido que os valores de intensidades registados pelo gerador têm a sua variação com a velocidade de vento (figura 16).

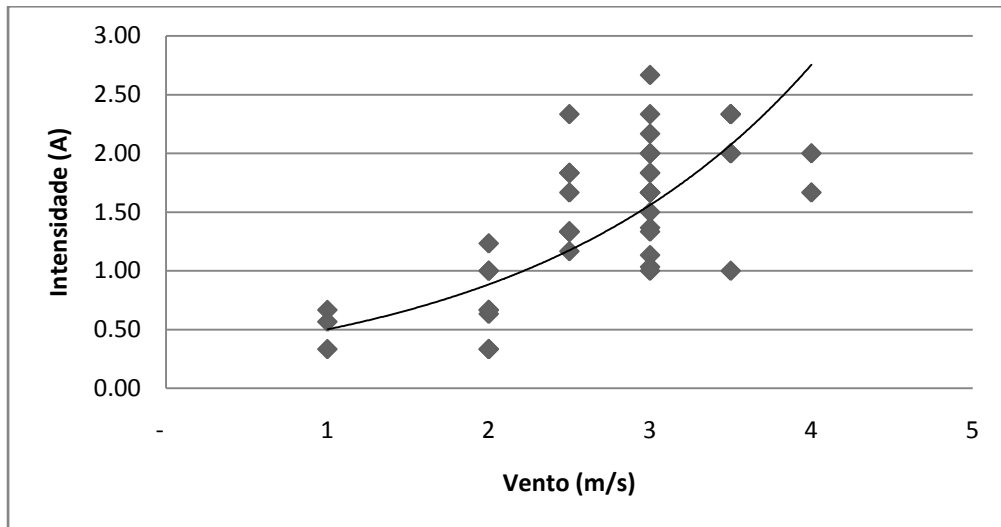


Figura 16. Intensidade da corrente em função de vento.

4.5. Discussão

Durante a experiencia registou se variações em velocidade, a potência máxima disponível nas massas de ar extraída pela turbina, verificou se na velocidade de vento de 4 m/s um valor de 68.59 w (figura 15). Este facto condiciona a potência da turbina, de tal modo que valores elevados do vento proporcionam valores altos de potência. Destes resultados, e as oscilações estão relacionadas com a vegetação (paisagem) existente ao redor do local de implantação da turbina eólica. (Silva, 2012)

Com a fórmula matemática usada para prever o desempenho da turbina, foi possível verificar que em locais onde os ventos atingem uma media de 9 m/s, a potência deste mecanismo pode se avaliar em 729 watts. Com o seu coeficiente de potencia de 0.14, o desempenho deste sistema pode se com estas bases considerar se aceitável.

E relativo a potência eléctrica produzida pela turbina no período de 3 horas definidas para cada dia de estudo (figura 14), pode se ver que a máxima produzida foi de 12 w, correspondente a 3.5 m/s de velocidade de vento e mínima de 0.15 a velocidade de 1 m/s. Embora tenha se verificado velocidades de vento de 4 m/s, a potencia mostrou se constante e também com tendência de decrescer, devido ao

desequilíbrio constatado no gerador. Esses valores são relativamente baixos comparando com os de Emílio, (2013) que foram 1.2-38.4w.

De acordo com os resultados obtidos, referentes a intensidade da corrente eléctrica produzida (figura 17), apresenta oscilações devido as variações da velocidade e o atrito, factores estes que comprometeram a produção da corrente que de uma forma directa condicionou a eficiência eléctrica do sistema cujo o maximo valor foi de 8 %. Consoante a figura 16, a intensidade da corrente tem uma implicancia directa para a eficiência eléctrica.

Em número total de horas que a experiência decorreu, o sistema produziu uma potência de 192 watts, todavia, com este valor pode se ligar cerca de 3 lâmpadas de 30.8 watts de consumo, raciocínio trazido por Valia, (2011) ao avaliar a eficiência de uma turbina. Segundo Acunha Jr & Almeida, (2006) na análise de desempenho de uma turbina, o desempenho é tido como bom quando pelo menos for capaz de extrair uma energia de 50w em uma velocidade de 3 m/s e que possa atingir 100 a 150w em velocidades variadas em 4 a 6 m/s.

Capítulo V

5. Conclusão e Recomendações

5.1. Conclusões

As principais conclusões obtidas foram:

- ✓ O potencial eólico no local durante o período da experiência mostrou variável com um aumento gradual, permitindo um aproveitamento adequado para a produção da electricidade.
- ✓ Visto que a tensão de geração máxima foi de 1,2 V medido, a energia convertida não depende só da corrente a qual varia com a velocidade do vento mas também das condições técnicas operacionais constatadas no gerador.
- ✓ Na faixa de velocidades em que a turbina foi submetida em operação, o seu desempenho foi tido como razoável uma vez que ate aos 3 m/s de velocidade foi capaz de extrair uma energia de 35 w.
- ✓ Contudo, tendo uma relação de vento pode se afirmar que em locais que se registam velocidades de vento compreendidos em mínimos de 3 a 4, esta turbina pode registar mínimas potências compreendidas em 100 watts, tendo o seu desempenho como aceitável para suprir algumas necessidades quotidianas.
- ✓ Os resultados obtidos mostram que a energia eolica pode se encorajar ao seu uso em locais com boas condições de vento para que seja possível um aproveitamento competitivo da mesma.

5.2. Recomendações

Com o intuito de aprofundar os estudos para avaliar ou analisar o desempenho de um sistema de conversão de energia eólica em eléctrica e identificar condições de melhor aproveitamento deste recurso num dado local, depois de se ter concluído o trabalho recomenda se:

- ✓ Criar possibilidades de obtenção de dados em valores máximos e mínimos da velocidade de vento, substituir o anemómetro por um outro ou qualquer sensor de velocidade capaz de gravar os dados a uma determinada frequência optimizando os mesmos.

6. Referencias Bibliográficas

- ✓ Acunha Jr, I. C., & Almeida, J. A. (2006). *Análise do desempenho de um aerogerador de pequeno porte*. Rio de Janeiro: UF.
- ✓ Conceição, L. D. (2013). *Microgeração de energia eléctrica através de sistema híbrido eólico/solar para uso residencial*. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais-Brasil: UFL.
- ✓ Da Silva, A. B. (2013). *Projecto Aerodinâmico de Turbinas Eólicas*. Universidade Federal, Departamento de Engenharia Mecânica. Rio de Janeiro: Escola Politecnica.
- ✓ DEP, D. D. (2012). *O Plano Estratégico da Direcção de Energia*. Maputo, Moçambique.
- ✓ Dutra, R. (2008). *Energia eólica_Princípios e Tecnologias*. Salvo Brito, Brasil: CRESESB.
- ✓ Emílio, C. A. (2013). *Avaliação da eficiência eléctrica de uma turbina eólica híbrida savonius/darrieus de eixo vertical construída no centro de pescas de Madal*. Universidade Eduardo Mondlane,, Departamento de Ciências Marinhas. Nicoadala: Escmc.
- ✓ Epalanga, O. Â. (2013). *Energia eólica – Viabilidade técnica de Projeto eólico na região de Urubici*. Florianópolis: Universidade federal.
- ✓ Fernandes, V. B. (2011). *Projecção e Teste de uma Turbina Eólica de Eixo Vertical*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Engenharia Mecânica. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.
- ✓ Ferreira, A. A. (2011). *Sistema de produção de energia eólica*. Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Porto: Faculdade de Engenharia .
- ✓ Gaspar, J. F. (2013). *Gerador Síncrono de Imanes Permanentes para Microgeração Eólica Dimensionamento, Construção e Ensaio*. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Eletromecânica. Covilhã: UBI.
- ✓ Gogoia, F. J. (2015). *Construção e análise do desempenho de um fogão solar para cozimento de alimentos*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Ciências Marinhas. Quelimane: Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras.
- ✓ Goldermberg, J., & Lucon, O. (2006). Energias renováveis: um futuro sustentável. *Revista USP*, 6-15.
- ✓ Hoguane, C. A. (2013). *Estudo da Influência do ângulo das pás na eficiência mecânica de uma turbina eólica híbrida do eixo vertical do tipo savonius/darrieus*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Ciências Marinhas. Quelimane: Escola Superior Ciências Marinhas e Costeiras.
- ✓ João, N. R. (2010). *Tecnologia de Aproveitamento de Energia Eólica*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Física. Maputo: Faculdade de Ciências.

- ✓ Júnior, F. D. (2009). *Viabilidade Técnica/econômica para produção de energia eólica em grande escala*. Trabalho do fim do curso, Universidade Federal, Brasil.
- ✓ Lima, L. F., Júnior, S. C., & Paula, A. A. (2011). *Potência extraída de turbinas eólicas baseada na comparação de diferentes tipos de velocidades dos ventos. IX Conferência de estudos em engenharia eléctrica*. Uberlândia - Minas Gerais - Brasil: UFU.
- ✓ Marques, J. (2004). *Turbinas eólicas: Modelo, análise e controle do gerador de indução com dupla alimentação*. UFSM, Departamento de Engenharia. Santa Maria, RS - Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.
- ✓ Menezes, A. E. (2012). *Aproveitamento Eólico para uma vila de pescadores*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil: UFRJ.
- ✓ Moura, J. T. (2014). *Medição da Curva de Potência de um Aerogerador Segundo a Revisão da Norma IEC61400-12-1*. Universidade Porto, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto. Porto: Universidade Porto.
- ✓ Müller, M. d. (2005). *Projeto de uma Turbina Eólica de Eixo horizontal Rio de Janeiro*.
- ✓ Reis, D. P., Santos, G. S., Gums, L., & Oliveira, P. C. (2008). *Energia Eólica. Projecto de reconstrução de uma Turbina*.
- ✓ Rodrigues, P. R., & et al, .. (2011). *Energia Eólica em Energias Renováveis*. Editora Unisul.
- ✓ Rodrigues, V. R. (2014). *Simulação do desempenho de Aerogeradores de pequeno porte*. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, São Paulo: Unicamp.
- ✓ Silva, R. F. (2012). *Emulação de uma turbina eólica e controle vetorial do gerador de indução rotor gaiola de esquilo para um sistema eólico*.
- ✓ Valia, N. C. (2011). *Avaliação da Eficiência Eléctricada da Turbina Eólica de Eixo Vertical do tipo Savonius Construída nos Campus Universitários da UEM-ESCMC*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de ciencias marinhas. Quelimane: Escmc.