

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EÓLICO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM GERADOR EÓLICO DO TIPO EVANCER9000

EVALUATION OF THE WIND POTENTIAL FOR THE IMPLEMENTATION OF AN EVANCE R9000 WINDGENERATOR

161

SALOMÃO ARRONE DOMBOLE

Licenciado em Física Aplicada (Energias Renováveis) pela Universidade Eduardo Mondlane (UEM), mestrando do Curso de Engenharia e Gestão de Energias Renováveis (parceria Universidade Rovuma / Universidade Técnica de Moçambique) e docente da Universidade Rovuma, Nampula / Moçambique
miradombole@gmail.com

Resumo: Avaliar o potencial eólico disponível, para geração de energia eléctrica, em um ponto do distrito Urbano Kamavota, cidade de Maputo, foi o objectivo central do trabalho; para alcançá-lo, realizou-se a análise de dados do vento obtidos a partir de ogiment.com no windographer. Para a compreensão do fenómeno em estudo houve a descrição dos fundamentos teóricos da Energia Eólica, princípios de geração de energia eléctrica, que auxiliaram na interpretação e enquadramento dos resultados obtidos. Após a avaliação da velocidade, direcção e influência da rugosidade do lugar, obtiveram-se os seguintes resultados: durante o ano predominam ventos de 00 (N), 22.50 (NNE), 67.50 (ESE), 900 (E), 112.50(SSO), 1800 (S), 202.5(ONO) e 2250 (SO); observou-se ainda, que a velocidade do vento para a altura de 18m, considerando-se a rugosidade do terreno $Z_0=1.5m$ para extrapolação, atinge 4.26 m/s de mínima no mês de abril e 6.39 m/s de máxima anual no mês de Fevereiro, que geram um potencial eólico disponível de 2.17 kW média anual. Da potência eólica disponível, a turbina eólica Evance R9000, consegue converter apenas 0.66 kW de potência média anual, o equivalente a 30.4% da potência disponível, cuja energia anual gerada é de 5.7 MWh.

Palavras-chave: Energia eólica, Potencial eólico, Velocidade do vento.

Resumen: Evaluar el potencial eólico disponible, para generación de energía eléctrica, en un punto del distrito Urbano de Kamavota, ciudad de Maputo, fue el objetivo central del trabajo; Para lograrlo, se analizaron en windographer los datos de viento obtenidos de ogiment.com. Para comprender el fenómeno en estudio, se realizó una descripción de los fundamentos teóricos de la Energía Eólica, principios de la generación de energía eléctrica, lo que ayudó en la interpretación y encuadre de los resultados obtenidos. Luego de evaluar la velocidad, dirección e influencia de la rugosidad del lugar, se obtuvieron los siguientes resultados: durante el año vientos de 00 (N), 22.50 (NNE), 67.50 (ESE), 900 (E), 112.50 (SSO), 1800 (S), 202,5 (ONO) y 2250 (SO); También se observó que la velocidad del viento a una altura de 18 m, considerando la rugosidad del terreno $Z_0=1,5$ m para extrapolar, alcanza un mínimo de 4,26 m/s en el mes de abril y 6,39 m/s de máximo anual en mes de febrero, que generan un potencial eólico disponible de 2,17 kW en promedio anual. De la potencia eólica disponible, el aerogenerador Evance R9000 puede convertir sólo 0,66 kW de potencia media anual, equivalente al 30,4% de la potencia disponible, cuya energía generada anualmente es de 5,7 MWh.

Palabras clave: Energía eólica, Potencial eólico, Velocidad del viento.

Introdução

O presente artigo tem como objectivo Avaliar o potencial eólico disponível, para geração de energia eléctrica, em um ponto do distrito urbano Kamavota, cidade de Maputo, que foi motivado pelas constantes restrições de fornecimento de energia eléctrica que os moradores do mesmo distrito têm experimentado vezes sem conta, o que sugere a busca de novas fontes de geração de energia eléctrica que visam reduzir a dependência energética da rede pública de distribuição. No entanto o potencial eólico disponível neste ponto apresenta-se como solução imediata para geração de energia eléctrica, através da implementação de aerogerador EvanceR9000.

162

Referencial teórico

O aproveitamento da energia eólica é feito com o emprego de turbinas eólicas, também chamadas de aerogeradores. No entanto serão usadas as seguintes Obras Bibliográficas para a descrição teórica: (RIBEIRO, 2017), (FUNAE, 2014), (MENEZES, 2015), (PIRES, 2016), (VIEIRA, 2014) e (TELES FILHO, 2013).

Energia eólica

A energia eólica é a energia existente na movimentação dos ventos, ou seja, é a energia cinética contida nas massas de ar da atmosfera (RIBEIRO, 2017).

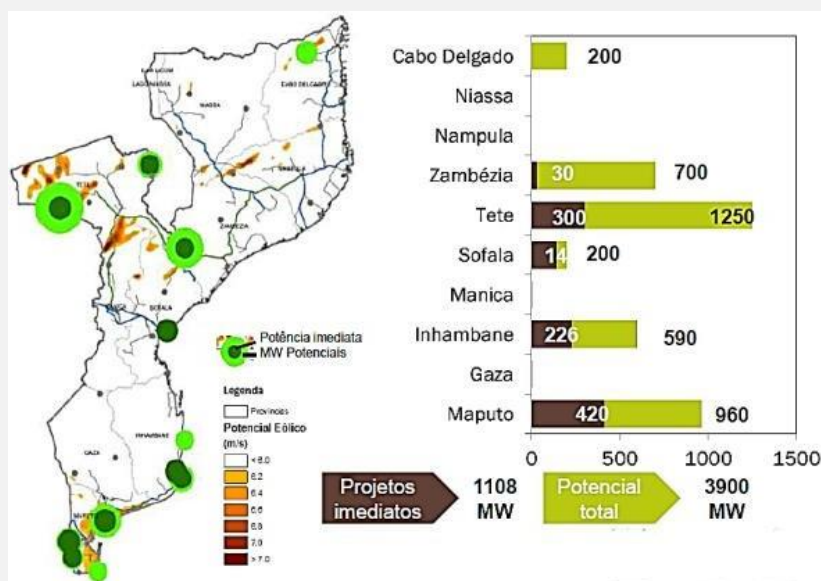
Energia eólica em Moçambique

Moçambique apresenta um regime de ventos de intensidade média-baixa com velocidades predominantemente entre os 4 e os 6 metros por segundo a 80 metros acima do nível do solo (a.n.s), com excepção da zona sul do país e das zonas altas no centro e norte do país onde os ventos atingem valores mais elevados (FUNAE, 2014).

Potencial eólico confirmado em Moçambique

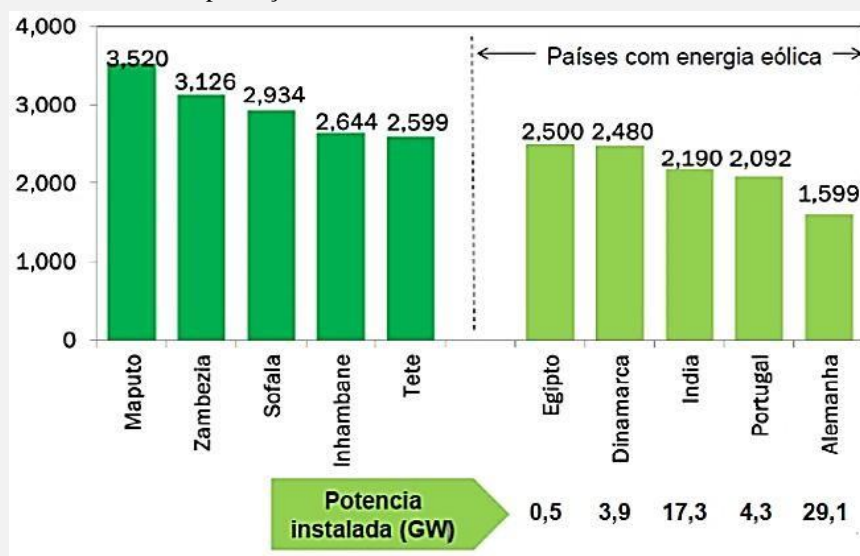
Moçambique possui 3,9 GW de potencial eólico no país dos quais 1,1 GW com potencial efetivo de ligação à rede, e com projetos confirmados em 12 locais e elevado número de horas médias de produção anual (MENEZES, 2015) (figuras 1 e 2):

Figura 1: Projetos confirmados em 12 locais no território moçambicano.



Fonte: MENEZES, 2015.

Figura 2: Horas médias de produção anual.



Fonte: MENEZES, 2015.

Tecnologia de aproveitamento de energia eólica: turbinas eólicas

Segundo Pires (2016) o aproveitamento pontencial eólico pode ser feito através da implementação de turbinas eólicas, do eixo vertical ou horizontal.

Potência de uma turbina eólica

Através das turbinas eólicas, a energia cinética contida no vento é convertida em energia mecânica pelo giro das pás do rotor e transformada em energia eléctrica pelo gerador (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008). Segundo Teles Filho (2013), a potência disponível contida no vento, numa da área de uma turbina eólica é dada por:

$$P_{\text{disponível}} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Onde: ρ representa a densidade do ar, A área da secção transversal de um tubo de corrente pelo qual o vento escoia a velocidade v .

Como a potência disponível não pode ser convertida completamente, introduz-se, o conceito de Coeficiente de Potência (C_p), que segundo (CORREIA, 2014), é definido como sendo a razão entre a potência produzida pelo rotor, e a potência disponível. Desta forma temos que a potência gerada pela turbina é dada por:

$$P = \frac{\rho \cdot C_p \cdot \eta \cdot A \cdot V^3}{2}$$

Onde: η é eficiência do conjunto gerador/transmissão e C_p o coeficiente aerodinâmico de potência do rotor.

Rugosidade do local (Z_0)

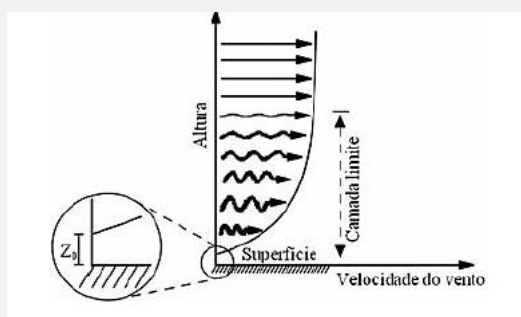
A rugosidade da superfície é a propriedade física que descreve a ação da superfície terrestre na redução do momento e na absorção do impacto dos ventos (REIS, 2015) (figura 3). Na ausência de medições realizadas na altura onde ficarão as turbinas, a medição feita a 10 m nas estações meteorológicas de superfície nos dá uma estimativa

da velocidade em outras alturas (LIRA et al., 2016):

$$V(z) = V(Z_R) \frac{\ln\left(\frac{z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_R}{Z_0}\right)}$$

Rugosidade (Z_0) é a altura onde a velocidade é nula.

Figura 3: Perfil vertical da velocidade do vento.



Fonte: LIRA et al., 2016.

Materiais e métodos

Para avaliação do potencial eólico, usou-se os dados quantitativos da velocidade e da direcção predominante do vento, que com recurso do Windographer foram processados para se obter os perfis horários, mensais e anuais da velocidade e direcção do vento, que auxiliaram na determinação da potência de saída na turbina eólica Evance R9000.

Descrição dos materiais

✓ Wind Power Program

O programa WindPower consiste em três painéis, nomeadamente, (i) o painel entrada de dados de turbina eólica e curva de potência onde os dados básicos da turbina e a curva de potência são introduzidos, (ii) o painel de saída potência média ou saída anual de energia versus resultados os resultados finais da potência de saída média são exibidos e (iii) o painel entrada de desvio padrão do vento, onde a magnitude do

componente instável da velocidade do vento (ou seja, seu desvio padrão) pode ser ajustada (PELAFLOW CONSULTING, 2010).

Software windographer

O Windographer é uma ferramenta para análise de dados de vento. Este software é utilizado para tratamento de dados colectados de estações meteorológicas da superfície. Através do Windographer é possível avaliar, a intensidade e a direcção predominante dos ventos num determinado período e obter o perfil diário, mensal ou anual da sequência de dados. O software pode exibir diversos gráficos e tabelas como do perfil logarítmico do vento, direcção dos ventos, médias mensais e diárias a partir desses dados (LINARD, 2010).

Local de estudo

O local de estudo proposto, pertence ao distrito municipal de Kamavota, no bairro de Laulane, onde cita o Seminário Nazareno em Moçambique (instituição religiosa vocacionada na formação de pastores), que dista cerca de 6 km do aeroporto Internacional de Maputo (Latitude 25-55S; Longitude 032-34E.), onde está localizada a estação de medição meteorológica. Para a iluminação noturna da residência, o SNM usa 30 lâmpadas da marca CATA, de 40 W cada que gastam 5.04MWh durante o ano (demanda energética).

Dados da turbina Evance R9000 (tabela 1)

Tabela 1: Especificações da turbina eólica Evance R9000.

Arquitectura	Upwind, rotor com 3 pás, regulação automática
Potência Nominal	5kW contínua de 12m/s a 60m/s
Produção Anual de Energia	8.780kWh (Rendimento anual com velocidade média do vento de 5m/s (Em conformidade com a norma IEC)
Velocidade de Arranque	3m/s
Sistema de Controlo	Pás de posicionamento reactivo (Reactive Pitch Control)
Diâmetro do Rotor	5,5m
Eficiência do gerador	0,96
Velocidade Nominal do Rotor	200rpm
Tipo de Pás	Perfil aerodinâmico, totalmente otimizado, garantindo o máximo rendimento e o mínimo ruído.
Altura da Torre	10m, 12m, 15m e 18m

Fonte: http://www.windup.pt/resources/EVANCE_Especificacoes_PT.pdf

Métodos

Nessa seção são apresentados os procedimentos experimentais, que procedem a colecta dos dados da velocidade do vento, que com auxílio da folha de Excel, WindPower e Windgrapher, contribuíram para a determinação da energia eléctrica produzida pelo modelo da turbinaeólica proposto na elaboração deste artigo (E Vance R9000).

167

Coleta de dados

Os dados da velocidade e direcção do vento, utilizados para a avaliação do Potencial eólico, foram colectados a partir <https://www.ogimet.com/home.phtml.en>, a uma altura de 10 m em relação ao solo, num intervalo de uma hora, num período compreendido entre 01 de janeiro à 31 de dezembro de 2010.

Procedimento experimental

Para a avaliação do potencial eólico, no local de estudo, converteu-se os Metars da velocidade do vento de Knots (kt) para metros por segundo (m/s), sendo que 1 knot = 0.514444444444 m/s, onde através Windographe, foram importados as médias horárias da velocidade do vento para todos meses do ano, as figuras do perfil da velocidade do vento, as funções de distribuição de probabilidade e rosas-dos-ventos que relacionam a velocidade e a direcção do vento. Em seguida através do Wind Power Program, estimou-se os valores do CP para Evance R9000 e determinou-se a potência disponível e a potência eléctrica gerada pela turbina eólica Evance R9000, fazendo-se a extrapolação da velocidade até a altura da turbina, considerando- se a influência da rugosidade do local de estudo $Z_0 = 1.5$ m, e com base na potência disponível e potência gerada por Evance R9000, determinou-se a potência média anual e a energia eléctrica gerada por ano.

Resultados e discussão

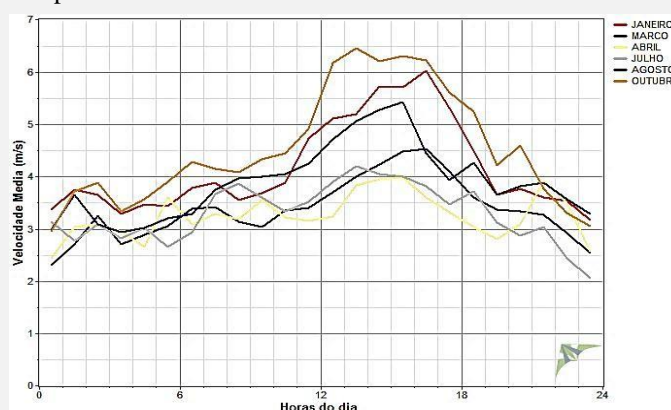
Neste parágrafo, são apresentados os resultados de Windographer de janeiro, março, abril, julho, agosto e outubro, dos perfis, da rosa-dos-ventos da direção do vento. A escolha desses meses vai possibilitar analisar o comportamento da velocidade do vento nos meses do inverno (março, abril, julho, agosto) e nos meses do verão (janeiro e outubro), e verificar os fatores que influenciam na elevação ou decréscimo da velocidade (tabela 2, figura 4).

Tabela 2: Médias horárias da velocidade do vento extraídas do windographer para h=10 m.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGOS	SET	OUT	NOV	DEZ
Horas do dia	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
00:00 - 01:00	3.36	4.46	2.3	2.44	2.66	3.02	3.13	2.98	3.09	2.96	4.63	4.12
01:00 - 02:00	3.75	4.17	2.7	3.04	3.01	2.78	2.78	3.65	3.02	3.72	3.73	3.09
02:00 - 03:00	3.65	4	3.26	3.09	2.54	2.63	3.09	3.09	3.67	3.88	3.3	2.06
03:00 - 04:00	3.29	4.7	2.7	2.96	2.82	2.87	2.81	2.93	3.25	3.33	3.41	2.06
04:00 - 05:00	3.46	3.78	2.88	2.66	2.85	2.68	3.02	3.01	3.41	3.57	4.12	2.57
05:00 - 06:00	3.44	3.92	3.06	3.6	2.9	2.7	2.66	3.2	3.55	3.9	4.08	2.83
06:00 - 07:00	3.78	4.58	3.38	3.09	3.43	3.11	2.94	3.29	4.22	4.28	3.89	
07:00 - 08:00	3.88	5.14	3.41	3.28	3.77	3.99	3.66	3.76	4.18	4.14	4.04	
08:00 - 09:00	3.55	4.58	3.14	3.19	3.68	4.19	3.87	3.97	4.57	4.09	4.43	
09:00 - 10:00	3.69	5.36	3.04	3.55	4.1	4.48	3.6	4.01	4.65	4.33	4.12	
10:00 - 11:00	3.88	5.19	3.34	3.22	4.09	4.42	3.33	4.05	4.77	4.44	4.58	
11:00 - 12:00	4.73	4.95	3.41	3.16	3.6	4.16	3.52	4.24	5.16	4.91	5.14	4.12
12:00 - 13:00	5.11	5.27	3.7	3.24	3.83	4.5	3.9	4.7	5.51	6.17	5.27	4.89
13:00 - 14:00	5.19	6.2	4	3.83	3.87	4.38	4.2	5.06	6.21	6.46	5.77	4.12
14:00 - 15:00	5.73	6.17	4.23	3.95	3.77	4.65	4.05	5.28	6.24	6.2	6.07	4.63
15:00 - 16:00	5.71	6.23	4.48	3.99	3.39	3.88	3.99	5.42	5.77	6.3	5.79	5.66
16:00 - 17:00	6.02	5.55	4.53	3.6	3	3.52	3.82	4.44	5.08	6.22	6.06	4.37
17:00 - 18:00	5.3	5.34	4.09	3.32	2.95	3.39	3.47	3.93	4.9	5.6	5.42	3.09
18:00 - 19:00	4.49	5.4	3.6	3.04	3.03	3.22	3.72	4.26	4.59	5.25	4.67	2.83
19:00 - 20:00	3.64	5.08	3.37	2.81	3.16	3.37	3.12	3.65	4.45	4.21	4.73	2.83
20:00 - 21:00	3.76	4.97	3.33	3.09	2.85	3.24	2.86	3.81	4.05	4.59	3.91	4.37
21:00 - 22:00	3.6	3.92	3.27	3.91	3.45	3.14	3.04	3.88	4.02	3.77	4.57	5.66
22:00 - 23:00	3.53	4	2.92	3.5	3.22	3.03	2.44	3.56	3.72	3.31	4.16	3.09
23:00 - 24:00	3.17	4.19	2.54	2.57	3.17	2.89	2.06	3.28	3.64	3.05	4.02	4.12

Organização: Salomão Arrone Dombole.

Figura 4. Comparação dos perfis das velocidades dos ventos.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Na figura 4 acima, observa-se que para os meses de janeiro, agosto e outubro apresentam valores elevados da velocidade do vento, quando comparados com os meses de março, abril, julho, que são descritos de maneira explícita abaixo.

✓ **Janeiro** - Os valores máximos da velocidade do vento, registam-se entre 16:00 e 17:00 horas com máxima de 6,02 m/s, os menores valores da velocidade são observados entre 23:00 e 24:00 horas, com mínima 3,17 m/s.

✓ **Março** – Os valores máximos da velocidade do vento, ocorrem no intervalo entre 16:00 e 17:00 horas com máxima de 4.53. Os menores valores da velocidade são observados entre 00:00 e 01:00 horas com mínima de 2.3 m/s.

✓ **Abril**: Os valores máximos da velocidade do vento, ocorrem entre 15:00 e 16:00 horas com máxima de 3.99 m/s, e menores valores da velocidade são observados entre 00:00 e 01:00 horas com uma mínima de 2.44 m/s.

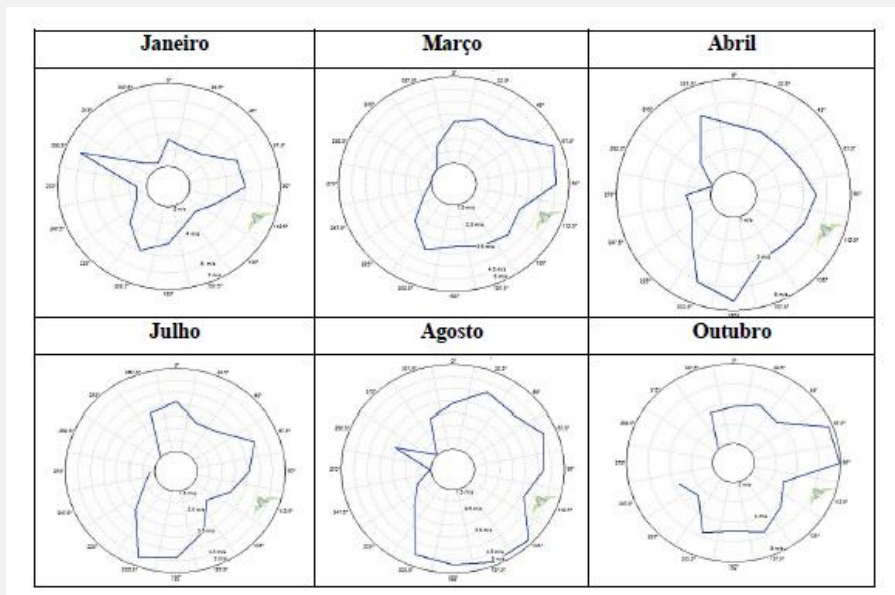
✓ **Julho** - Os valores máximos da velocidade ocorrem no intervalo entre 14:00 e 15:00 horas com máxima de 4.05m/s e menores valores são observados entre 2:00 e 3:00 horas com mínima de 2.63 m/s.

✓ **Agosto** - Os valores máximos da velocidade ocorrem no intervalo entre 15:00 e 16:00 horas com máxima de 5.28 m/s e menores valores são observados entre 00:00 e 01:00 horas com mínima de 2.98 m/s.

✓ **Outubro** - Os valores máximos da velocidade ocorrem no intervalo entre 13:00 e 14:00 horas com máxima de 6.46 m/s e menores valores são observados entre 00:00 e 01:00 horas com mínima de 2.96 m/s.

São apresentados a seguir os resultados que relacionam a velocidade do vento e a direção predominante, na perspectiva de contemplar as direções que predominam ventos favoráveis para a geração de energia elétrica na turbina eólica Evance R9000 (figura 5).

Figura 5. Velocidade e a direção predominante dos ventos.

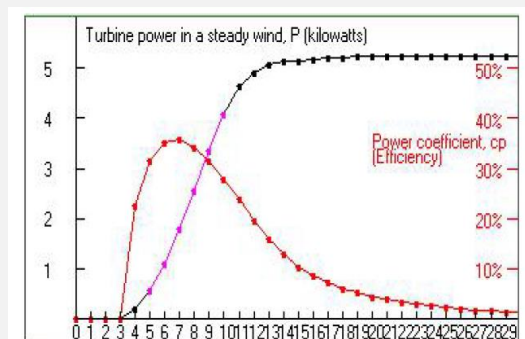


Organização: Salomão Arrone Dombole.

- ✓ **Janeiro:** Registram-se velocidade de vento com maior intensidade de 6.173 m/s para a direção 292.5⁰, 5.027 m/s para 90⁰ e 4.878 m/s para 67.5⁰.
- ✓ **Março:** Registram-se velocidades de vento com maior intensidade de 4.718 m/s para a direção 67.50, 4.496 m/s para 900 e 3.549 m/s para 135⁰.
- ✓ **Abril:** Registram-se velocidade de vento com maior intensidade de 4.573 m/s para a direção 1800, 3.542 m/s para 900 e 3.549 m/s para 202.5⁰.
- ✓ **Julho:** Registram-se velocidade de vento com maior intensidade de 4.351 m/s para a direção 1800, 4.035 m/s para 67.50 e 4.64 m/s para 202.50.
- ✓ **Agosto:** Registram-se velocidade de vento com maior intensidade de 4.859 m/s para a direção 157.5⁰, 4.53 m/s para 67.5⁰ e 4.844 m/s para 135⁰.
- ✓ **Outubro:** Registram-se velocidade de vento com maior intensidade de 5.817 m/s para a direção 67.50, 5.955 m/s para 90⁰ e 4.775 m/s para 157.5⁰.

A seguir são apresentados o coeficiente de potência de Evance R9000 no WindPower Program (figura 6, tabela 3)

Figura 6: Potência de saída e coeficiente de Potência para Evance R9000 no WindPower.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Tabela 3: Valores de CP no WindPower para Evance R9000

U(m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	...	30
P(kW)	0	0	0	0.2	0.6	1.1	1.8	2.5	3.5	4.1	4.7	4.9	5.1	5.1	5.1	5.2	5.3	5.	5.2	5	...	5
Cp(%)	0	0	0	23	32	35	36	34	32	28	33	20	16	13	11	9	7	6	5	5	...	3

Organização: Salomão Arrone Dombole.

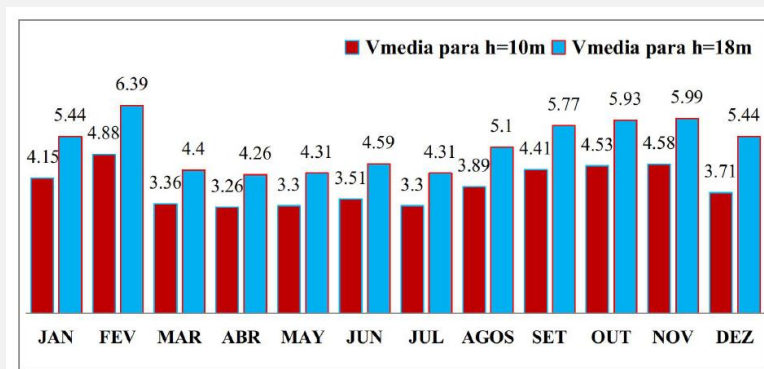
Aqui na tabela 4 verifica-se a velocidade média mensal extrapolada e potência disponível, ou seja, na figura 7, ao longo do ano, observa-se que as médias da velocidade do vento estão acima da velocidade de arranque ($v = 3\text{m/s}$) para o funcionamento da turbina eólica Evance R9000, isso oferece uma garantia que em média a turbina eólica vai gerar energia eólica. Destes valores da velocidade, observa-se uma média máxima de 6.39 m/s para o mês de fevereiro e uma mínima média de 4.26 m/s para o mês de abril, para altura de 18 m.

Tabela 4: Velocidade média mensal extrapolada e potência disponível do vento.

Mês	t (horas)	Velocidade média para h=10m	Velocidade média para h=18m	(kg/m ³)	Área (m ²)	Z0(m)	Potencia (kW) para h=10m	Potencia (kW) para h=18m
JAN	744	4.15	5.44	1.255	23.75	1.5	1.07	2.4
FEV	672	4.88	6.39	1.255	23.75	1.5	1.73	3.89
MAR	744	3.36	4.4	1.255	23.75	1.5	0.57	1.27
ABR	720	3.26	4.26	1.255	23.75	1.5	0.52	1.15
MAY	744	3.3	4.31	1.255	23.75	1.5	0.54	1.19
JUN	720	3.51	4.59	1.255	23.75	1.5	0.64	1.44
JUL	744	3.3	4.31	1.255	23.75	1.5	0.54	1.19
AGOS	744	3.89	5.1	1.255	23.75	1.5	0.88	1.98
SET	720	4.41	5.77	1.255	23.75	1.5	1.28	2.86
OUT	744	4.53	5.93	1.255	23.75	1.5	1.39	3.11
NOV	720	4.58	5.99	1.255	23.75	1.5	1.43	3.2
DEZ	744	3.71	5.44	1.255	23.75	1.5	0.76	2.4
Potencia Media disponivel (kW)							0.95	2.17

Organização: Salomão Arrone Dombole.

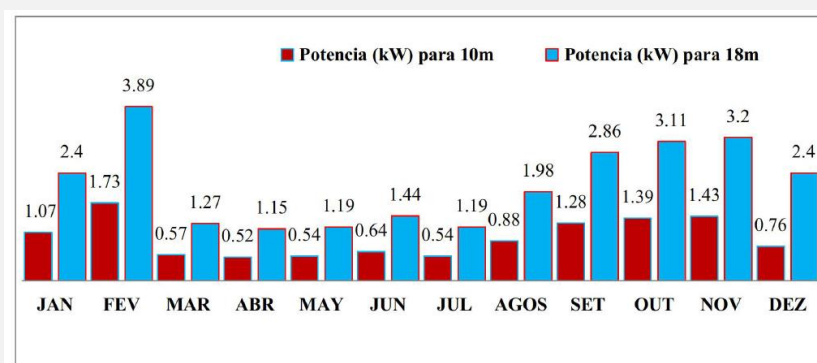
Figura 7: Velocidade mensal média disponível do vento.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Na figura 8, a potência média anual disponível, para o aproveitamento eólico na altura do cubo do rotor da turbina eólica é de 2.17 kW.

Figura 8: Potência disponível do vento para h=10 m e h=18 m.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Potência e energia eléctrica anual gerada por Evance R9000

Os valores das velocidades médias mensais do vento, na tabela 5 foram aproximados, para permitirem a determinação de CP no WindProgram, de acordo com a tabela 3 acima.

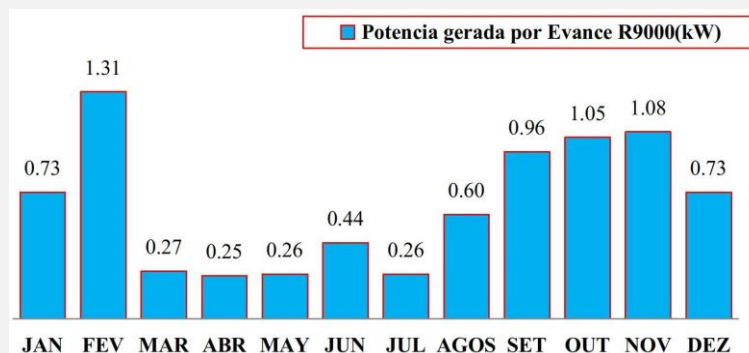
Tabela 5: Potência e energia eléctrica média anual gerada por Evance R9000.

Energia Gerada por Evance R9000								
Mês	t(h)	Vmédia (m/s)	(kg/m ³)	Área (m ²)	CP	Eficiência	Potencia gerada por Evance R9000(kW)	E (kWh)
JAN	744	5	1.255	23.75	0.317	0.96	0.73	543.22215
FEV	672	6	1.255	23.75	0.351	0.96	1.31	880.49631
MAR	744	4	1.255	23.75	0.225	0.96	0.27	204.01498
ABR	720	4	1.255	23.75	0.225	0.96	0.25	179.18118
MAY	744	4	1.255	23.75	0.225	0.96	0.26	191.75021
JUN	720	5	1.255	23.75	0.317	0.96	0.44	315.77547
JUL	744	4	1.255	23.75	0.225	0.96	0.26	191.75021
AGOS	744	5	1.255	23.75	0.317	0.96	0.60	447.60126
SET	720	6	1.255	23.75	0.351	0.96	0.96	694.56937
OUT	744	6	1.255	23.75	0.351	0.96	1.05	779.09911
NOV	720	6	1.255	23.75	0.351	0.96	1.08	777.08523
DEZ	744	5	1.255	23.75	0.317	0.96	0.73	543.22215
Potência Média Anual (kW)							0.66	5747.77
Desvio padrão							0.37	

Organização: Salomão Arrone Dombole.

Das aproximações realizadas da velocidade do vento, tem-se na figuras 9, 10, 11 e tabela 6, a potência média anual que é de 0.66 kW.

Figura 9: Potência gerada por uma turbina eólica do tipo Evance R9000.



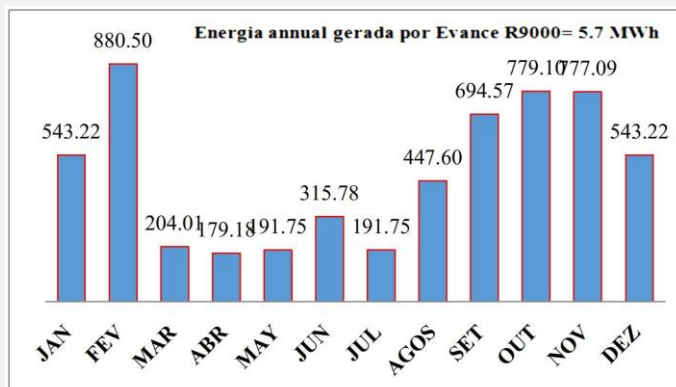
Organização: Salomão Arrone Dombole.

Tabela 6: Velocidade e potência média horária anual.

Horas do dia	Velocidade média horária (m/s)	Velocidade média aproximada	Cp	Eficiência	(kg/m ³)	Área (m ²)	Potência Disponível (kW)	Potência gerada por Evance R9000 (kW)
00:00 - 01:00	4.27	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.16	0.25
01:00 - 02:00	4.31	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.19	0.26
02:00 - 03:00	4.18	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.09	0.23
03:00 - 04:00	4.05	4	0.225	0.96	1.255	23.75	0.99	0.21
04:00 - 05:00	4.15	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.06	0.23
05:00 - 06:00	4.35	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.23	0.26
06:00 - 07:00	4.76	5	0.311	0.96	1.255	23.75	1.61	0.48
07:00 - 08:00	5.15	5	0.311	0.96	1.255	23.75	2.04	0.61
08:00 - 09:00	5.15	5	0.311	0.96	1.255	23.75	2.04	0.61
09:00 - 10:00	5.35	5	0.311	0.96	1.255	23.75	2.28	0.68
10:00 - 11:00	5.40	5	0.311	0.96	1.255	23.75	2.34	0.70
11:00 - 12:00	5.58	6	0.351	0.96	1.255	23.75	2.59	0.87
12:00 - 13:00	6.12	6	0.351	0.96	1.255	23.75	3.42	1.15
13:00 - 14:00	6.47	6	0.351	0.96	1.255	23.75	4.04	1.36
14:00 - 15:00	6.65	7	0.357	0.96	1.255	23.75	4.39	1.50
15:00 - 16:00	6.62	7	0.357	0.96	1.255	23.75	4.32	1.48
16:00 - 17:00	6.14	6	0.351	0.96	1.255	23.75	3.44	1.16
17:00 - 18:00	5.55	6	0.351	0.96	1.255	23.75	2.54	0.86
18:00 - 19:00	5.25	5	0.317	0.96	1.255	23.75	2.16	0.66
19:00 - 20:00	4.85	5	0.317	0.96	1.255	23.75	1.70	0.52
20:00 - 21:00	4.89	5	0.317	0.96	1.255	23.75	1.74	0.53
21:00 - 22:00	5.05	5	0.317	0.96	1.255	23.75	1.91	0.58
22:00 - 23:00	4.42	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.29	0.28
23:00 - 24:00	4.23	4	0.225	0.96	1.255	23.75	1.12	0.24
Potência Média (kW)							2.15	0.66
Desvio Padrão								0.41

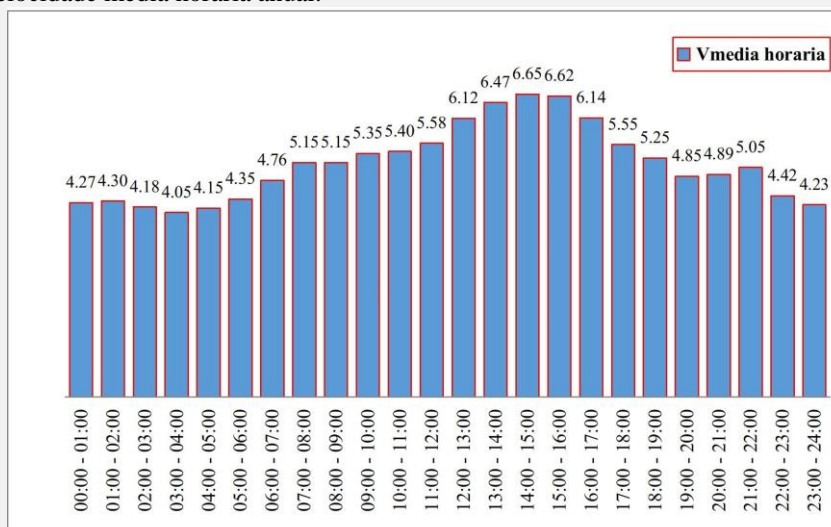
Organização: Salomão Arrone Dombole.

Figura 10: Energia gerada por Evance R9000.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

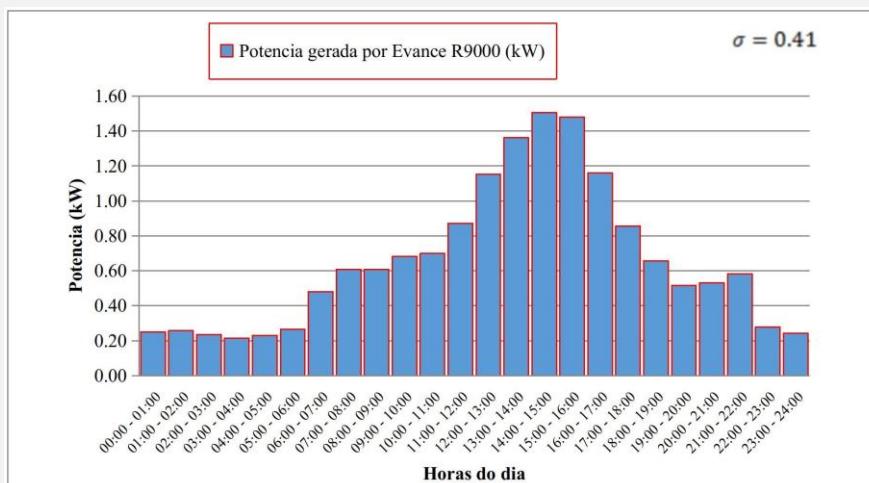
Figura 11: Velocidade média horária anual.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Na figura 12, observa-se que o pico da potência registra-se no intervalo das 14:00 às 15:00 horas, com 1.50 kW, e a mínima potência no intervalo das 03:00 - 4:00 horas com 0.21 kW.

Figura 12: Relação de potência gerada e a horas do dia.



Organização: Salomão Arrone Dombole.

Análise e discussão dos resultados obtidos velocidade e direção predominante do vento

Para os meses em análise, observa-se que a velocidade do vento apresenta valores elevados durante o período diurno até ao findar da tarde, e valores baixos da

velocidade durante os períodos noturnos e nas madrugadas. Associado a esta variação da velocidade do vento verifica-se que as velocidades médias mensais nas figuras 4 e 7, durante os meses do verão a velocidade do vento apresenta valores elevados quando comparados com os meses do inverno, onde registaram-se máximas médias mensais de 4.88 e 6.39 m/s para o mês de fevereiro e mínimas de 3.26 e 4.26 m/s para o mês de abril, para $h=10\text{m}$ e $h=18\text{m}$ respectivamente, de acordo com a tabela 4 acima. Segundo Alves e Silva (2011) esta tendência de ventos maiores no período da tarde deve-se ao aquecimento do solo durante o dia, o qual também vai aquecendo o ar, que ascende, sendo ocupado por um ar mais frio, gerando uma diferença térmica que, por sua vez, cria um gradiente de pressão causando o deslocamento do ar da zona de maior pressão para a zona de menor pressão. No período da manhã e da noite, como esse gradiente de pressão é menor, a velocidade do vento também é menor.

A direção do vento varia entre 0° (norte) a 337.5° (nor-noroeste). Sendo que nas rosas-dos-ventos, dos resultados, predominam ventos com maior frequência de ocorrência nas direções de 0° (N); 22.5° (NNE); 67.5° (ESE); 90° (E); 112.5° (SSO); 180° (S); 202.5° (ONO) e 225° (SO), onde destaca-se a direção de 90° (E), que predominam ventos de maior velocidade que chegam a atingir 7 m/s.

Potência disponível e energia gerada por Evance R9000

Da extrapolação da velocidade do vento, para altura do cubo da turbina, obtêm-se que a potência média anual disponível é de 2.17 kW, na figura 8. Desta potência disponível, a turbina eólica Evance R9000 gera uma potência média anual de 0.66 kW, o equivalente a 30.4% da potência disponível. A potência gerada pela turbina apresenta um erro de 0.37, que segundo Feijoo (2010) este valor é uma estimativa da amplitude dentro da qual variam as observações médias do conjunto de itens ou mensurações. Deste modo, para o aproveitamento energia eólico, este desvio denota que o valor da potência sofre desvios da média na ordem 37%. Desta potência, Evance produz uma energia anual de 5.7 MWh, girando 5.16 m/s de velocidade média anual, segundo a figura 10. De acordo com a tabela 1 acima, das especificações da turbina eólica Evance

R9000, o fabricante estima que Evance gere uma energia anual de aproximadamente 8.8 MWh para velocidade média anual de 5 m/s, o que não está em harmonia com a energia anual determinada. Esta diminuição foi influenciada pela variação do CP para diferentes velocidades do vento como é ilustrado na tabela 3 acima, e conseqüentemente para cálculos de potência utilizando as médias mensais obtêm-se um desvio de 37% e utilizando as médias horárias obtêm-se um desvio 41%. Da energia anual gerada por Evance, é possível inferir que a demanda anual de energia de 5.04 MWh, para iluminação noturna do SNM, corresponde a 86.9 % da energia produzida anual produzida.

Considerações finais

Com base na análise dos dados no windographer, as figuras do perfil da velocidade e a velocidade extrapolada do vento observam-se que no ponto em estudo do Distrito de Kamavota, registam-se máximas médias mensais de 4.88 e 6.39 m/s para o mês de fevereiro (verão) e mínimas de 3.26 e 4.26 m/s para o mês de abril (inverno), para $h=10m$ e $h=18m$ respectivamente, onde estes valores são fortemente influenciados pela rugosidade do terreno $Z_0=1.5m$, no seu perfil logarítmico. E predominam neste ponto, ventos que sopram nas direções 00 (N), 22.50 (NNE), 67.50 (ESE), 900(E), 112.50 (SSO), 1800 (S), 202.50 (ONO) e 2250(SO), ao longo do ano.

No entanto, apesar da rugosidade e obstáculos na topografia do terreno, obteve-se que durante o ano, a velocidade do vento tem uma maior contribuição no potencial nos meses do verão (setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro), quando comparados com os meses do inverno (março, abril, maio, junho, julho e agosto).

Contudo, a partir das velocidades médias mensais disponíveis do vento, determinou-se que a potência eólica disponível é de 2.17 kW, dos quais a turbina Evance R9000, consegue converter apenas 0.66 kW, o correspondente a 30.4% da potência disponível ao longo do ano, cuja produção anual de energia é de 5.7 MWh, que pode ser armazenada em baterias para ser usada em momentos, que a velocidade do vento não é suficiente para girar as pás de Evance R9000.

Referências

ALVES, E. D. L.; SILVA, S. T. Direção e velocidade do vento em uma floresta de transição Amazônia - Cerrado no Norte de Mato Grosso, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 1, p. 63-74, 2011.

CORREIA, I. R. D. R. **Caracterização aerodinâmica de uma pá para rotor de micro-eólica**. Braga: Universidade do Minho, 2014.

FEIJOO, A. M. L. C. **Estatística descritiva**. Rio de Janeiro: Scielo Books, 2010.
FUNAE – Fundo de Energia. **Atlas das energias renováveis de Moçambique - recursos e projectos para produção de electricidade (palestra)**. Estoril: FUNAE, 2014.

LINARD, F. J. A. **Estimativas da velocidade do vento em altitude usando o software windographer**. Fortaleza: UECE, 2010.

LIRA, M. A. T. et al. Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 1, 2014. 12 p.

MARTINS, F. R., GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 2008. 13 p.

MENEZES, M. **Atlas de energias renováveis de Moçambique (palestra)**. Estoril: FUNAE, 2015.

PELAFLOW CONSULTING. **WindPower Program**. [S. l.; s.n.], 2010.

PIRES, C. H. M. **Avaliação do potencial eólico da Costa Sul Catarinense através de um perfilador lidar**. Florianópolis: UFSC, 2016.

REIS, A. L. **Influência da rugosidade do terreno para o perfil vertical do vento**. Itajubá: UNIFEI – IRN, 2015.

RIBEIRO, L. B. **Um estudo sobre energia eólica no Brasil**. João Monlevade: UFOP, 2017.

TELES FILHO, P. M. **Análise de modelos numéricos para cálculo dos parâmetros da distribuição de Weibull: estudo de caso para o Campus do PICI da UFC**. Fortaleza: UFC - Curso de Engenharia Elétrica, 2013.

VIEIRA, R. Y. C. J. **Gerador eólico**. Porto Alegre: IFSul - Curso de Engenharia Elétrica, 2014.