

METODOLOGIA PARA O PROJETO DE UM ROTOR EÓLICO PARA INSTALAÇÃO EM TURBINA DE BAIXA DEMANDA

VICTOR HUGO LOBO CORREIA*; RENATA PORTELA DE ABREU
; ROBERTO ARRUDA LIMA SOARES

¹Aluno de graduação em Engenharia Mecânica, IFPI, Teresina-PI, victorloboc@gmail.com;

²Aluna de graduação em Engenharia Mecânica, IFPI, Teresina-PI, re.portela96@gmail.com;

³Dr. em Ciência e Engenharia de Materiais, IFPI, Teresina-PI, robertoarruda@ifpi.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: O presente trabalho tem o objetivo de propor uma metodologia para o projeto de rotores eólicos, destinados a usuários residenciais de baixa demanda que tenham dificuldade ao acesso à energia elétrica da rede principal. O rotor eólico foi projetado para o regime de vento do Litoral do Piauí. A metodologia descreve as variáveis e equações utilizadas para a obtenção das características geométricas das pás e as análises realizadas para a escolha do perfil aerodinâmico mais adequado para as pás. Como resultado, apresentou-se o desenho em CAD do rotor, e demonstrou-se que o rotor atende à demanda energética inicialmente proposta. E então, concluiu-se que o rotor apresentado é uma boa alternativa para substituir fontes poluentes na produção de energia, pois além de ser uma fonte de energia renovável, possui dimensões consideravelmente viáveis para sua construção.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável, turbina eólica, sustentabilidade.

METHODOLOGY FOR A WIND TURBINE ROTOR DESIGN FOR TURBINES OF LOW DEMAND

ABSTRACT: This paper aims to develop a methodology for a wind turbine rotor design for turbines destined to residential consumers of low demand and that have difficulties to connect with the main distribution grid. The rotor was designed to the wind regimes of Piauí Coast. The methodology describes the variables and equations necessary to obtain the geometrical characteristics of the blades and aerodynamic analyses were performed in order to choose the optimum airfoil shape for the blades. As result, it was shown the 3D model of the turbine rotor and the study proposes an energy consumption model that the wind turbine is capable to attend. The paper concludes that the rotor is a great alternative to replace non-renewable energy sources, in view of it is a renewable source of energy and its dimensions are reasonably good in order to build the turbine.

KEYWORDS: Renewable energy, wind turbine, sustainability

INTRODUÇÃO

Atualmente a redução da dependência de combustíveis fósseis é uma preocupação mundial e energias renováveis vêm tomando cada vez mais espaço no cenário da produção energética. De acordo com AEA (2018), países da União Europeia tem o objetivo de alcançar 20% de sua matriz energética total a ser gerada a partir de fontes renováveis até 2020. Na busca por sustentabilidade, o Brasil está entre os principais ascendentes na produção de energia renovável. De acordo com MME (2015), o objetivo do governo é aumentar em 23% a participação das fontes renováveis na matriz energética nacional até 2030.

No âmbito da produção de energia eólica, o Piauí tem se mostrado um produtor considerável, principalmente a nível regional, ficando atrás apenas da Bahia e do Ceará. Como exemplos do potencial piauiense na geração de energia eólica, pode-se citar o Parque Eólico Complexo Delta 1, localizado nos municípios de Parnaíba e Ilha Grande que tem uma capacidade instalada de 70MW, e o

Complexo Eólico Lagoa do Barro localizado na cidade de Lagoa do Barro do Piauí que é formado por oito parques eólicos e possui uma potência instalada de 195 MW.

Seguindo essa tendência, este trabalho propõe uma metodologia para o desenvolvimento de um rotor eólico com aplicabilidade para turbinas de baixa demanda. O projeto foi realizado para o regime de vento do litoral piauiense.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação das características geométricas das pás, foi utilizado um equacionamento baseado no modelo proposto por Jansen e Smulders (1977) que por sua vez, baseou-se na Teoria do Elemento de Pá para sua concepção.

Inicialmente, são estabelecidas as condições de operação da turbina: velocidade média de corrente livre (V_0) e densidade do ar (ρ). Para se determinar a primeira variável, foi realizada uma pesquisa no portal do INMET (2018), no qual foram obtidos dados históricos medidos de velocidade do vento do município de Parnaíba. Após fazer uma análise dos dados e extrapolando de Parnaíba para toda a região litorânea do Piauí, foi possível observar que o vento pode chegar à velocidade de até 9 m/s. Diante desta informação, estimou-se para este projeto as condições apresentadas abaixo (Tabela 1).

Tabela 1. Condições de operação da turbina.

Velocidade de corrente livre - V_0	6,5 m/s
Densidade do ar - ρ	1,2829 kg/m ³

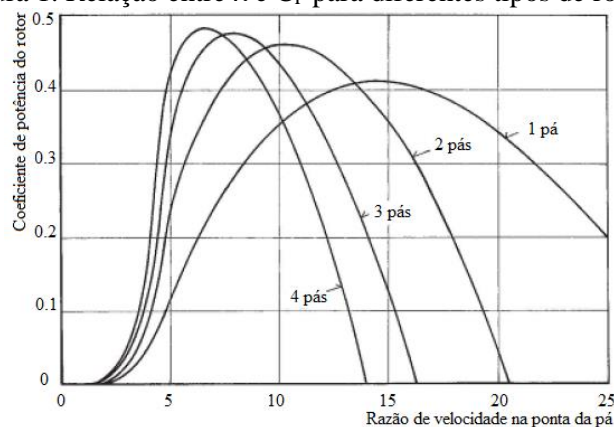
Um rotor eólico deve ser inicialmente qualificado por quatro características: potência nominal desejada, número de pás, razão de velocidade na ponta da pá e coeficiente de potência. Para este trabalho, por se tratar de uma turbina de baixa demanda, determinou-se uma potência (P_T) de 1000 W.

Segundo Hau (2006), a potência da turbina aumenta proporcionalmente ao número de pás (B). Porém, o aumento na potência de uma turbina de quatro pás é de aproximadamente 1,5% em relação a um rotor de três pás, o que não justifica o aumento do custo do rotor causado pela adição de mais uma pá na turbina (Figura 1). Então, optou-se por um rotor de três pás.

A razão de velocidade na ponta da pá (λ) é a razão entre a velocidade na ponta da pá com a velocidade de corrente livre. Já que o primeiro valor ainda não é conhecido, a razão de velocidades foi presumida através de duas considerações: a primeira é que o valor da velocidade de corrente livre é relativamente baixo e a segunda é que, de acordo com Hau (2006), uma turbina de três pás trabalha otimamente com razão de velocidade na ponta entre 7 e 8. Desta forma, estimou-se o valor 8 para a razão de velocidade na ponta da pá.

O coeficiente de potência representa a quantidade de potência extraída da turbina em relação à quantidade de potência disponível no vento. Porém, de acordo com o Hansen (2008), o coeficiente de potência é limitado pelo Limite de Betz como $C_{P_{\text{máx}}} = 0,5926$. Então, para este projeto, o coeficiente de potência foi determinado como $C_P = 0,43$ através do gráfico abaixo (Figura 1).

Figura 1. Relação entre λ e C_P para diferentes tipos de rotores.



Fonte: Adaptado de Hau (2006).

A escolha do perfil aerodinâmico das pás foi feita através de análises da curva polar de arrasto pelo software XFRL5, que é capaz de fornecer os dados de coeficiente de arrasto (C_D) e de sustentação (C_L) de acordo com o ângulo e ataque (α) do perfil, além da eficiência aerodinâmica (C_L/C_D). Foram

analisados os perfis NACA 0012, NACA 4418, S809 e S822, com o objetivo de obter o de melhor eficiência aerodinâmica.

De cada perfil, foi analisada a curva $C_L / C_D \times \alpha$, na qual é possível determinar em qual ângulo de ataque se obtém a melhor eficiência aerodinâmica. E, a partir do ângulo de ataque, são determinados os valores de C_L e de C_D . Os resultados são apresentados abaixo (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados das análises no software XFRL5.

Perfil	C_L / C_D	α	C_L	C_D
NACA 0012	100,240	9°	1,023	0,010
S809	121,310	4.5°	0,702	0,006
S822	132,000	3°	0,630	0,005
NACA 4418	158,418	6.5°	1,200	0,008

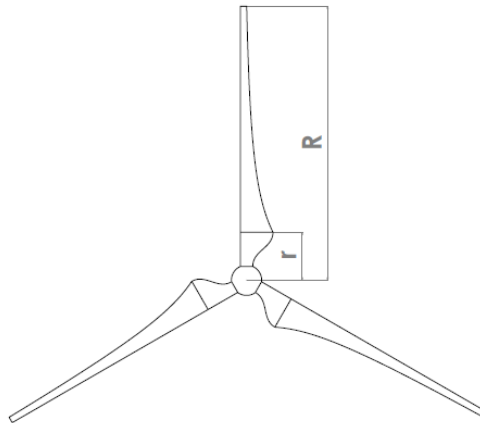
Para este trabalho, foi escolhido o perfil NACA 4418, por sua melhor relação de eficiência aerodinâmica, ou seja, o perfil aerodinâmico apresenta a maior sustentação com o menor custo de arrasto possível.

O raio do rotor é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$R = \sqrt{\frac{2P_T}{\pi\rho V_0^3 C_P}} \quad (1)$$

Para a realização do projeto da pá, é necessário definir sua dimensão (Figura 2). Sendo esta, caracterizada pela distância entre o raio menor (r), definido deste trabalho como 0,35 m e o raio maior (R), definido pela equação acima como 2 m.

Figura 2. Dimensão de uma pá.



Partindo disto, dividiu-se a pá em vinte secções iguais, também chamadas de elementos de pá. E então, foram definidos os valores de razão de velocidade local em função do raio (r) ao longo da pá, através da equação abaixo.

$$\lambda(r) = \lambda \frac{r}{R} \quad (2)$$

Em seguida, foi definido o ângulo de fluxo (Φ) em função do raio, que representa a devida inclinação do fluxo de corrente livre em relação ao plano do rotor, através da equação a seguir.

$$\phi(r) = \arctan\left(\frac{2}{3\lambda(r)}\right) \quad (3)$$

Então, de posse dos dados calculados, é possível obter os valores de corda ao longo da pá, que representa a dimensão do perfil aerodinâmico em cada secção da pá, através da equação abaixo.

$$c(r) = \frac{8\pi r}{BC_L} (1 - \cos \phi(r)) \quad (4)$$

E, por fim, o ângulo de passo (β), que representa a devida inclinação entre o perfil da pá e o plano do rotor, é calculado por meio da equação abaixo.

$$\beta(r) = \phi(r) - \alpha \quad (5)$$

Desta forma, através dos cálculos realizados, foi possível obter as características geométricas das pás, de acordo com o raio, sintetizadas abaixo (Tabela 4).

Tabela 4. Características geométricas das pás.

Secção	r [m]	β [graus]	c [mm]
0	0,35	18,96	237,36
2	0,515	11,43	174,67
4	0,68	7,27	136,47
6	0,845	4,66	111,51
8	1,01	2,87	94,09
10	1,175	1,57	81,30
12	1,34	0,59	71,53
14	1,505	-0,18	63,84
16	1,67	-0,80	57,63
18	1,835	-1,31	52,52
20	2	-1,74	48,23

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a instalação da turbina considerada no projeto, considerou-se uma casa com a demanda energética apresentada abaixo (Tabela 5).

Tabela 5. Consumo energético de uma residência comum.

Item	Quantidade	Consumo (W)	Total por aparelho (W)
Geladeira	1	300	300
Televisão	1	100	100
Ventilador	2	100	200
Lâmpada	5	15	75
Consumo total (W)		675	

Sabe-se que o valor da rotação da turbina é facilmente encontrado por uma relação entre o raio da turbina, a velocidade da ponta da pá e a velocidade da corrente de vento apresentada abaixo.

$$\Omega = \frac{V_o \lambda}{R} \quad (6)$$

Considerou-se que a turbina esteja acoplada a uma caixa multiplicadora com razão 1:5.5 que, por sua vez, esteja acoplada a um motor trifásico por indução de 1hp de potência e rotação nominal 1200 rpm. E então, foi possível observar que a turbina é capaz de atender uma baixa demanda.

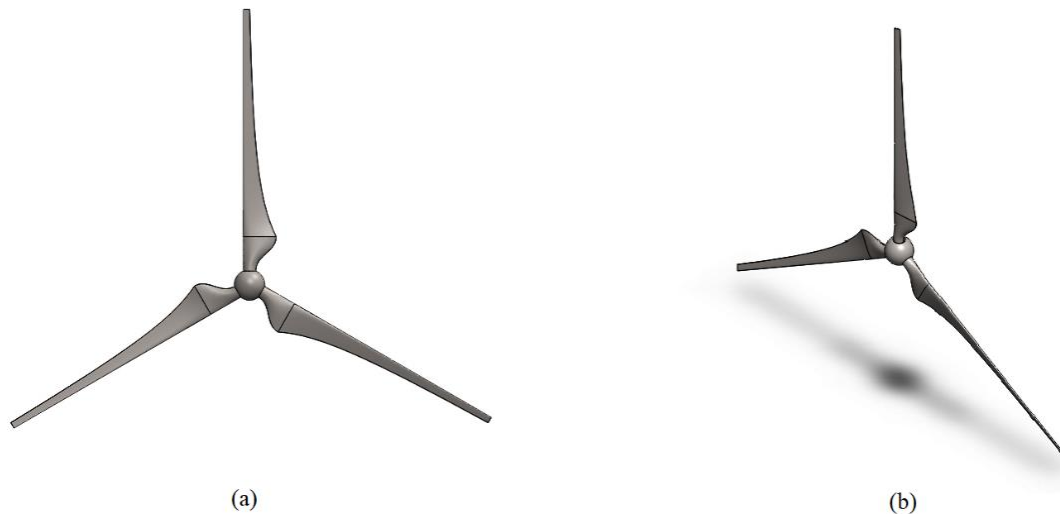
Através dos resultados obtidos com os cálculos descritos neste trabalho, foi possível desenhar em CAD a pá do rotor, apresentada abaixo (Figura 3).

Figura 3. Vista isométrica da pá.



Também, são apresentadas a seguir (Figura 4) as vistas frontal e isométrica do modelo de rotor obtido neste trabalho.

Figura 4. Vistas frontal (a) e isométrica (b) do rotor.



CONCLUSÃO

O rotor dimensionado apresentou características finais que atendem ao nível de demanda proposta no projeto. Também, trata-se de uma tecnologia viável para solucionar problemas de regiões com difícil acesso a energia elétrica no litoral do estado do Piauí. É interessante perceber que o projeto consiste em ótima alternativa para evitar o uso de geradores a diesel, comumente utilizados nesses casos. Além disso, é notável que o rotor obtido possui dimensões consideravelmente viáveis para sua construção, de acordo com sua demanda.

Por fim, é importante ressaltar que melhorias podem ser feitas neste método. Para considerar as perdas relativas à diferença de pressão entre as superfícies anterior e posterior das pás e de velocidade antes e após o rotor, são propostas equações as quais são resolvidas por complexos métodos matemáticos. Além disso, outros fatores de perda também podem ser adicionados para melhorar a acurácia do projeto.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Piauí pela concessão de bolsas de iniciação científica ao primeiro e segundo autor.

REFERÊNCIAS

- AEA. Agência Européia do Ambiente. Energias renováveis: a chave para um futuro da Europa com baixas emissões de carbono. Disponível em <https://www.eea.europa.eu/pt/articles/energias-renovaveis-a-chave-para>. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- Hansen, Martin O. L. Aerodynamics of wind turbines. 2nd ed. Earthscan, 2008. 192p.
- Hau, E. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Third, translated edition. Springer, London, 2006. 888p.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2018. Disponível em http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/mapas_mensal_sem.php. Acesso em: 10 de maio de 2018.
- Jansen, W. A. M., & Smulders, P. T. Rotor design for horizontal axis windmills. (SWD publications; Vol. 7701). Amersfoort: Stuurgroep Windenergie Ontwikkelingslanden, 1977. 55p.
- MME. Ministério de Minas e Energia. Brasil terá oportunidades em investimentos com expansão das renováveis. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/>. Acesso em: 20 de maio de 2018