



## **ESTUDO DOS PERFIS DE PÁS PARA ROTORES DE TURBINA EÓLICA DE EIXO HORIZONTAL**

Nicole Zequim Beal (PIBIC/ FA/UEM), Flávio Clareth Colman (Coorientador),  
Júlio César Dainezi Oliveira (Orientador), e-mail: jcdoliveira@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá / Departamento de Engenharia Mecânica  
/ Maringá, PR.

**Área: Engenharia. Subárea: Engenharia Mecânica.**

**Palavras-chave:** Energia, NACA, Tecnologia.

### **Resumo:**

Com o aumento do consumo de energia elétrica, faz-se necessário o estudo de novas formas de obtenção da mesma. Existem diferentes perfis do tipo NACA quando se tratando de turbinas de eixos horizontal, tais perfis se aplicam a diferentes faixas de aplicação. O modelo padrão NACA pode gerar outros modelos quando feito variações na geometria padrão, estes modelos serão estudados e avaliados quanto à sustentação, arrasto, potência gerada, sendo variados o ângulo de ataque e o número de Reynolds a fim de determinar o ponto ideal de operação.

### **Introdução**

Com a evolução da tecnologia, aumentou-se o consumo de energia elétrica, visto que, cada dia mais, tem-se um número maior de aparelhos ligados em nossa casa. Porém o grande consumo de energia elétrica pode agravar o problema do aquecimento global, quando esta energia vem dos métodos convencionais. Para continuar usufruindo de toda essa energia, porém evitando esse problema, existem as fontes de energia alternativas. A energia eólica é uma energia alternativa que vem crescendo nos últimos anos, tanto pelos incentivos dos governos, quanto por ser uma tecnologia bem desenvolvida e que possui alta confiabilidade. As atuais turbinas eólicas vieram da evolução da tecnologia dos moinhos de vento.

### **Materiais e métodos**

Em primeira fase foi feita uma pesquisa dos modelos de pás com diferentes geometrias através de artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso do



departamento e livros. Em seguida foram feitos os desenhos dos perfis estudados anteriormente, através do software SolidWorks.

## Resultados e Discussão

Baseado nas informações levantadas na revisão da literatura verificou-se que a potência disponível no vento é diretamente proporcional ao raio do rotor e a velocidade do vento e que com o aumento da espessura do aerofólio, há um melhor do coeficiente de sustentação, porém, de forma sutil. Também percebe-se que se o número de pás for muito grande, porém de modo que a solidez total seja finita e pequena, a acumulação dos vórtices formará a superfície de um tubo e, oposto a isso, se o número de pás tende a infinito, essa superfície será contínua e de diâmetro constante.

Quanto aos métodos matemáticos, o rotor é o componente mais crítico de uma turbina eólica, já que é responsável por captar a energia do vento. Forças aerodinâmicas atuam sobre a estrutura e compõem o torque resultante, devido à corrente de vento que incide sobre sua área varrida. Conhecida a velocidade relativa que atua pelo span de cada pá, é possível descobrir as tais forças aerodinâmicas citadas, e então a potência da turbina. A velocidade relativa pode ser determinada apenas resolvendo triângulos de velocidade para cada parte do span, no entanto é difícil calcular as velocidades induzidas na pá pela formação de esteira turbulenta devido ao giro do rotor.

Através de manipulação de equações e de conhecimento teórico pode-se chegar ao limite de Betz, que define que é impossível aproveitar toda a potência do vento pois a velocidade do vento depois do disco não pode ser zero. Então, o limite máximo teórico da potência não é a potência disponível.

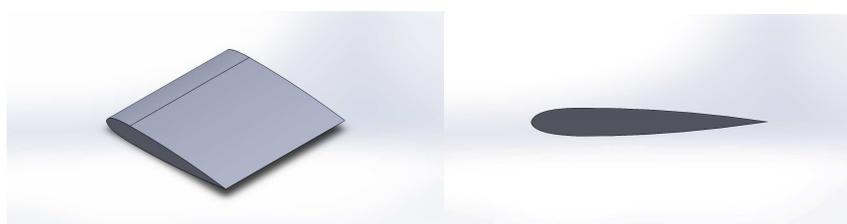
$$C_p = 8 \int_0^1 (1 - a) \frac{a(1-a)}{\lambda^2 \mu^3} \lambda^2 \mu^3 d\mu = 4a(1-a)^2 = \frac{16}{27}$$

As forças aerodinâmicas das pás da turbina são proporcionais a potência gerada por tal. Os coeficientes aerodinâmicos de sustentação e arrasto, de boa parte dos perfis de aerofólios, são vistos como função do ângulo de ataque e número de Reynolds. Realiza-se uma otimização da força motriz em função do ângulo de ataque, em cada elemento de pá, a fim de determinar  $c_L$  e  $c_D$  que resultem em maior torque.

Em relação a geometria 3D, em posse dos valores da corda e do ângulo de passo para cada seção do span, foi capaz dimensionar e rotacionar cada seção da pá em torno de uma linha neutra, de referência, de forma a se obter o perfil desejado, como se observa nas Figuras 1 a 5.



**Figura 1** – Desenho realizado do perfil NACA 0012



**Figura 2** – Desenho realizado do perfil NACA 0012H.



**Figura 3** – Desenho realizado do perfil NACA 4412.



**Figura 4** – Desenho realizado do perfil NACA 4418.



**Figura 5** – Desenho realizado do perfil NREL S809.



## Conclusões

Percebe-se que diversas modificações podem alterar o rendimento de uma turbina eólica. De tal modo, faz-se necessário determinar com cautela os perfis de aerofólio que compõem a turbina, e controlar seu ângulo de ataque. Sendo preciso ressaltar que não é possível eleger uma melhor, apesar da NACA 0012 ser a mais utilizada por apresentar favoráveis razões de arrasto e sustentação, pois para cada caso de aplicação existe uma melhor opção.

## Agradecimentos

A Fundação Araucária pela bolsa concedida, ao professor orientador Júlio César Dainezi Oliveira pelo suporte no período do projeto e ao professor Flávio Clareth Colman pelas diversas contribuições durante execução do projeto. Ao amigo João Gabriel Correia Gilberto pelo auxílio durante a realização dos desenhos dos perfis.

## Referências

Abbott, I. H. ad Von Doenhoff, A. (1959). **Theory of Wing Sections**. Dover Publications, New York.

AGARD. **Applied Computational Transonic Aerodynamics**. Seattle: AGARD, 1982. 114p.

Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., e Bossanyi, E. (2011). **Wind Energy Handbook**. John Wiley & Sons, West Sussex, UK, segunda edição.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 6 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

Dixon, L. e Hall, C. A. (2010). **Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery**. Elsevier, Massachusetts, EUA, sexta edição.

FOX, R. W.; PRITCHARD P. J.; MCDONALD A. T. **Introdução a Mecânica dos Fluidos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

IEA (2008). **Energy technology perspectives**. Technical report.

KILMAS, P. C.; SHELDAHL R. E. **Aerodynamic Characteristics of Seven Symmetrical Airfoil Sections Through 180-Degree Angle of Attack for Use in Aerodynamic Analysis of Vertical Axis Wind Turbines**. Sandia National Laboratories – Energy Power.1981.