

Avaliação de desempenho de um aerogerador em escala com perfil aerodinâmico NACA 63425, através de simulação computacional e testes de campo.

Igor Albuquerque Maia, igor.albuquerque.maia@gmail.com¹
Alberto dos Santos Lopes, alberto.s.lopes@hotmail.com¹
Carla Freitas de Andrade, carla@uc.br¹
Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho, clodoaldo@ufc.br¹
João Victor Pinto da Silveira, joaovector@hotmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Av. Humberto Monte, S/N, Bloco 714
60450-000 – Fortaleza- CE.

Resumo: Este trabalho consistiu na avaliação de desempenho de um aerogerador em escala com perfil aerodinâmico NACA 63425, através de simulação computacional do escoamento e de testes de campo para obtenção das curvas de potência do aerogerador e posterior comparação das curvas obtidas através de ambas as abordagens. O afilamento e a torção das pás do aerogerador foram calculados através da Teoria do Momento do Elemento de Pá (BEM). As simulações foram feitas utilizando-se o pacote de fluidodinâmica ANSYS-CFX, que tem como ferramentas a geração da malha, a solução do escoamento e o pós-processamento. O escoamento foi avaliado de acordo com dois modelos de turbulência distintos: o k - ϵ e o k - ω SST. Para cada modelo de turbulência, as velocidades específicas na ponta da pá simulada assumiram os seguintes valores: 0, 3, 5 e 7, enquanto as velocidades do vento assumiram os valores de 4, 6, 8 e 10m/s. Os testes realizados em campo consistiram em fazer com que o aerogerador erguesse uma determinada massa até uma altura predeterminada, e, nesse período, mediu-se a rotação do eixo a partir da velocidade de subida da massa. Com a rotação do eixo e o torque gerado para erguer a massa, obteve-se a potência mecânica necessária para o levantamento das curvas de desempenho. As curvas de desempenho geradas na simulação para cada modelo de turbulência foram comparadas com os resultados obtidos nos testes de campo, e, através desta comparação, foi possível observar que o uso de ferramentas numéricas deve ser realizado com bastante cautela, tendo em mente suas possíveis limitações, principalmente em casos tridimensionais de geometria complexa.

Palavras-chave: aerogerador, modelos de turbulência, ANSYS-CFX, curvas de desempenho.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por fontes de energia renováveis foi responsável pelo impulso tomado no estudo da energia eólica e de aerodinâmica de turbinas eólicas de eixo horizontal (HAWTs). É notável a evolução dos estudos nesta área, que compreendem desde o projeto e desempenho das pás de um aerogerador, que começaram com a teoria de Glauert para propulsores (Glauert, 1935), chegando à Teoria do Momento no Elemento de Pá (BEM), que é uma aplicação da teoria de Glauert a turbinas eólicas, assim como o uso de ferramentas computacionais (Computational Fluid Dynamics, CFD) para a modelagem do escoamento sobre o rotor, com atenção especial para a transição do regime laminar/turbulento nas regiões próximas ao perfil aerodinâmico.

A teoria do BEM (*Blade Element Momentum*), corriqueiramente usada para fins acadêmicos e industriais, fornece um modelo matemático para o cálculo da geometria das pás, bem como uma previsão do desempenho do rotor, baseados em características tabeladas dos aerofólios (Abbott & von Doenhoff, 1959), principalmente dos valores dos coeficientes de sustentação e de arrasto das curvas de C_l/C_d .

A partir dos coeficientes e da manipulação algébrica encontrada em Burton et al., (2001), é possível avaliar parâmetros como a variação do ângulo de torção e a curva de afilamento do perfil ao longo da pá e obter as curvas de desempenho da turbina em uma grande faixa de velocidades específicas (Lanzafame & Messina, 2006).

O método dos volumes finitos e sua aplicação em modelos de turbulência têm se mostrado como uma ferramenta eficiente para a análise de escoamento sob esse regime. Essa análise consiste, principalmente, em avaliar as tensões de cisalhamento turbulentas que surgem devido à intensa troca de quantidade de movimento em um volume de controle arbitrário. Essas tensões são chamadas de tensões de Reynolds, e modelos de turbulência clássicos, tais como o k - ϵ e o

$k-\omega$ se ocupam em avaliar essas tensões através da aproximação de Boussinesq, que as relaciona com a viscosidade turbulenta (Versteeg & Malalasekera, 1995).

Neste trabalho foi feita uma simulação computacional de um escoamento sobre um aerogerador em escala projetado com o perfil aerodinâmico NACA 63425, utilizando dois modelos de turbulência: o $k-\epsilon$ e o $k-\omega$ SST. O primeiro apresenta melhores resultados em regiões afastadas do perfil, onde a dissipação de energia é maior. O SST apresenta uma função de transição entre o $k-\epsilon$ e o $k-\omega$, aplicando cada um na região onde são mais precisos, em regiões afastadas e próximas à parede, respectivamente (Menter, 1993). Posteriormente, foram feitos testes em campo para avaliar o desempenho do aerogerador projetado e compará-lo com os resultados da simulação numérica.

2. METODOLOGIA

2.1. Projeto das Pás e Simulação

As pás do aerogerador foram projetadas segundo a Teoria do Momento no Elemento de Pá (BEM) da mesma forma que em ALVAREZ et al (2008). A pá tem diâmetro de 1m, e foi utilizado o perfil aerodinâmico NACA 63425. As características de sustentação, arrasto e ângulo de ataque ótimo foram obtidas de ABBOTT & von DOENHOFF (1959).

O programa utilizado na simulação foi o ANSYS-CFX, um pacote de fluidodinâmica que resolve numericamente as equações de Navier-Stokes para escoamento em regime turbulento.

O desenho do aerogerador foi feito em um software de desenho em três dimensões e exportado para o ANSYS no formato IGES.

A Figura (1) mostra o domínio utilizado para a geração da malha, que foi um prisma retangular de dimensões 10m x10m x50m. O comprimento de montante foi de 10m e o de jusante foi de 40m. A figura mostra também as condições de contorno do problema: a face esquerda é a entrada (*inlet*), a face direita é saída (*outlet*), as outras paredes do prisma foram definidas como aberturas (*openings*) e sobre o aerogerador foi definida a condição de não-escorregamento (*noslipwall*).

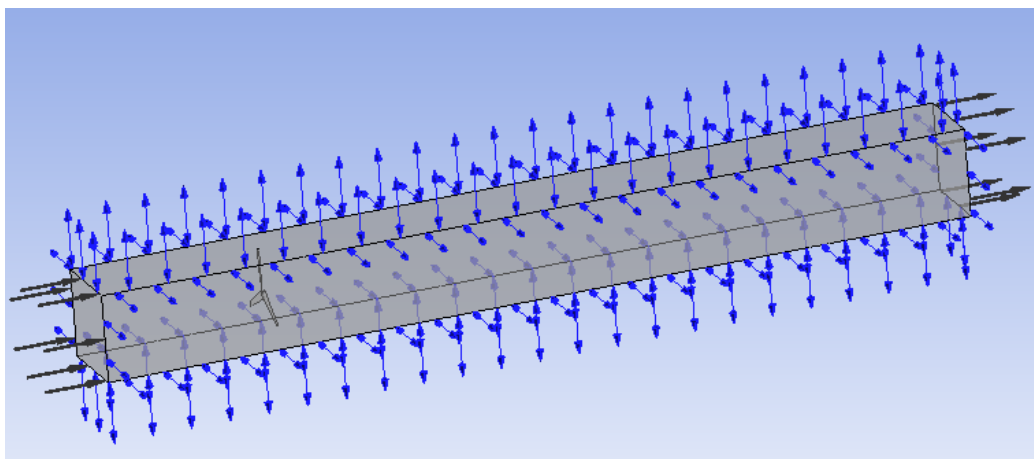


Figura 1. Domínio utilizado na simulação do escoamento e condições de contorno do problema.

A malha utilizada foi do tipo tetraédrica e o parâmetro de convergência da malha foi o momento total sobre o rotor. A convergência foi atingida através do refinamento da malha pela alteração dos parâmetros *Default Body Spacing* e *Default Face Spacing*. A malha mais refinada obtida apresentou um número de elementos (tetraedros) igual a 152.504.

Foram realizadas simulações com as velocidades específicas assumindo os valores de 0, 3, 5 e 7 e a velocidade do vento assumindo os valores de 4, 6, 8 e 10m/s para cada modelo de turbulência. A partir do momento total calculado pelo programa, obteve-se a potência gerada no eixo, e pôde-se relacioná-la com a potência total fornecida pelo vento, encontrando-se o valor do coeficiente de potência. A análise do desempenho foi então feita através das curvas do coeficiente de potência versus a velocidade específica (curvas de potência).

2.2. Testes de Campo

As pás foram feitas com perfis de madeira balsa unidos por duas longarinas de pinho, recobertas por uma camada de 1mm de madeira balsa e fixadas a um eixo através de uma flange. Foi construída uma bancada que permitia ao eixo girar e, ao mesmo tempo, se adaptar à direção do vento. Foi também construído um aparato que permitia que a base se fixasse ao solo quando da realização dos testes. A Figura(2) apresenta uma fotografia das três pás construídas.



Figura 2. Foto das três pás construídas.

Os testes foram realizados no campus da universidade. Eles consistiram em fazer com que o eixo erguesse uma massa ao longo de uma altura predeterminada e, durante esse período, mediu-se a velocidade do vento com o auxílio de um anemômetro de fio quente e a rotação do eixo através do tempo de subida da massa. Estas foram erguidas por um fio de náilon que foi preso ao eixo e passado por uma polia no alto da bancada. O anemômetro fornece as velocidades máxima e mínima do vento no tempo de subida das massas, e a média dessas velocidades foi utilizada para o cálculo da potência gerada. O tempo de subida começou a ser cronometrado quando as pás estavam totalmente aceleradas, para que a rotação se estabilizasse. Desta forma, a velocidade das massas, e, conseqüentemente, a velocidade angular do eixo foram aproximadamente constantes.

A partir da velocidade angular do eixo, que é a mesma das pás, e do torque gerado para o levantamento das massas, obteve-se a potência no eixo. Esta foi relacionada com a potência total provida pelo vento (fluxo de energia cinética), e obteve-se o coeficiente de potência. A velocidade específica foi obtida pela relação da velocidade na ponta da pá e a velocidade do vento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Projeto das pás e simulação

As curvas de potência da simulação foram geradas através da solução numérica do escoamento avaliado pelos dois modelos de turbulência. As Figuras (3) e (4) apresentam as curvas de potência obtidas com os dois modelos de turbulência, para diferentes velocidades de vento.

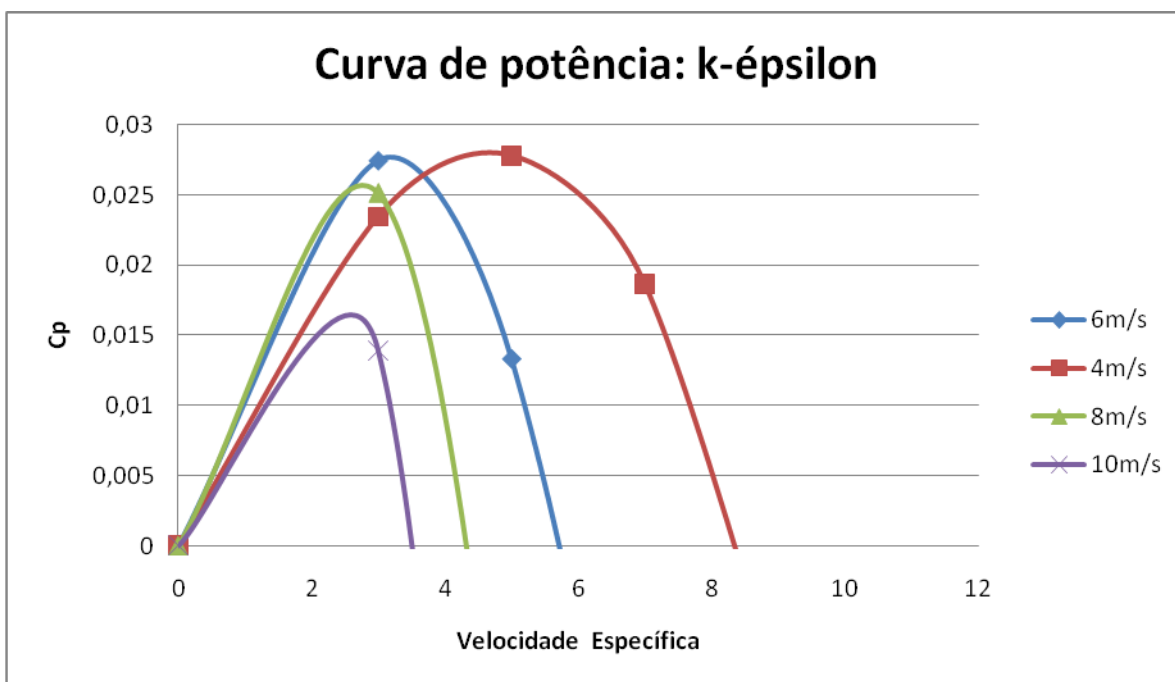


Figura 3. Curva de potência do aerogerador para o modelo k-ε.

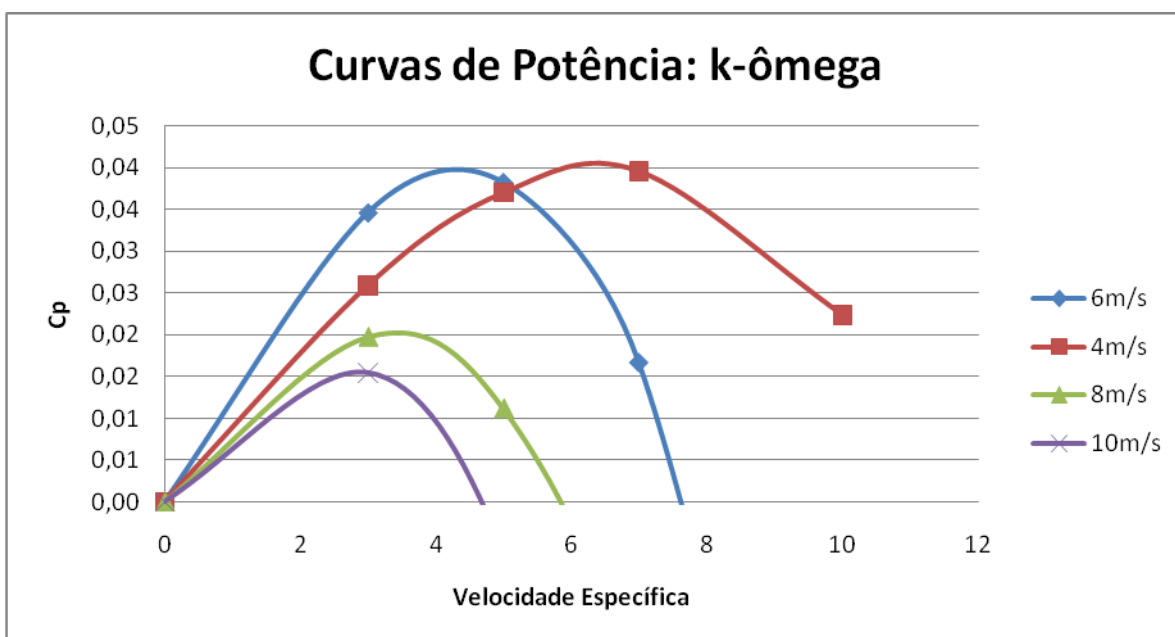


Figura 4. Curva de potência do aerogerador para o modelo de turbulência k-ω SST.

Os gráficos apresentados representam a variação do coeficiente de potência com a velocidade específica. O coeficiente de potência é definido como a razão entre a potência mecânica gerada no eixo e a potência fornecida pelo vento. A velocidade específica é definida como a razão entre a velocidade na ponta da pá e a velocidade do vento. Comparando-se as curvas de desempenho para os dois modelos de turbulência, verifica-se a tendência do modelo k-ω SST em apresentar maiores resultados para o coeficiente de potência.

3.2 Testes de campo

Os testes de campo foram realizados no período de fevereiro a maio de 2010. Esse período apresenta condições bastante desfavoráveis de vento, com médias baixas e alta dispersão (desvio padrão). Devido a esse fato, não foi possível realizar todos os testes necessários ao levantamento de uma curva de desempenho completa, ou seja vários valores de velocidade específica. Os dados obtidos foram apresentados nas Figuras (5) e (6) em comparação com os resultados das simulações.

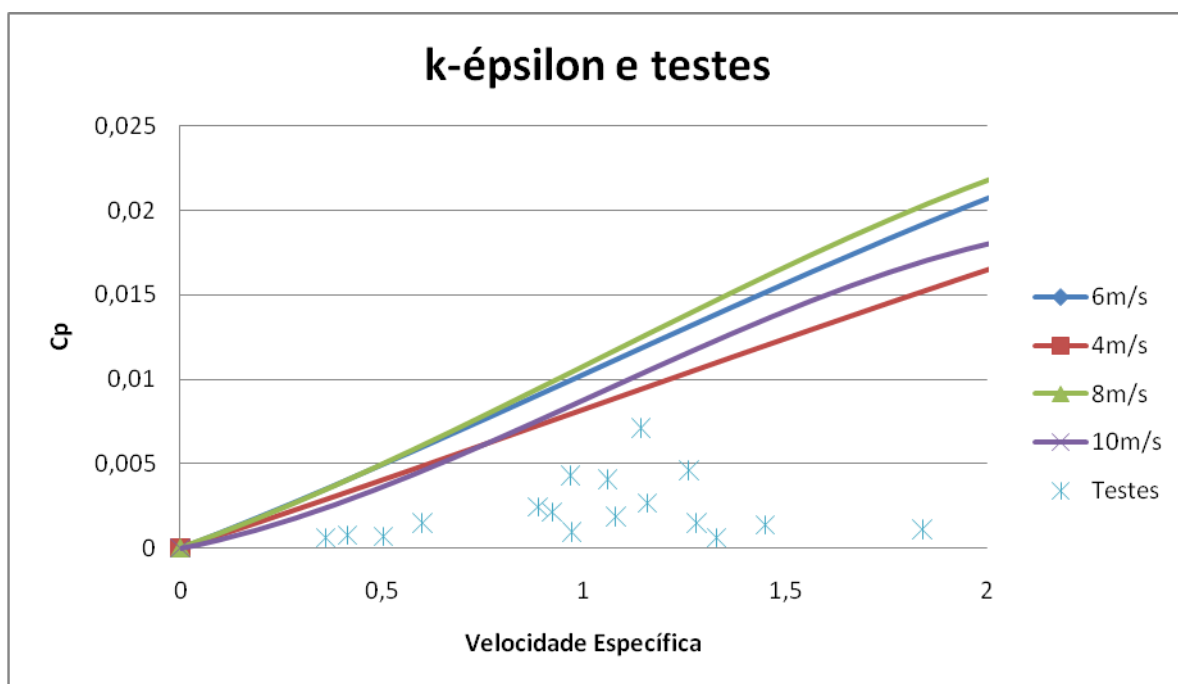


Figura 5. Gráfico comparativo entre as curvas de desempenho da simulação utilizando o modelo k-epsilon e dos dados experimentais.

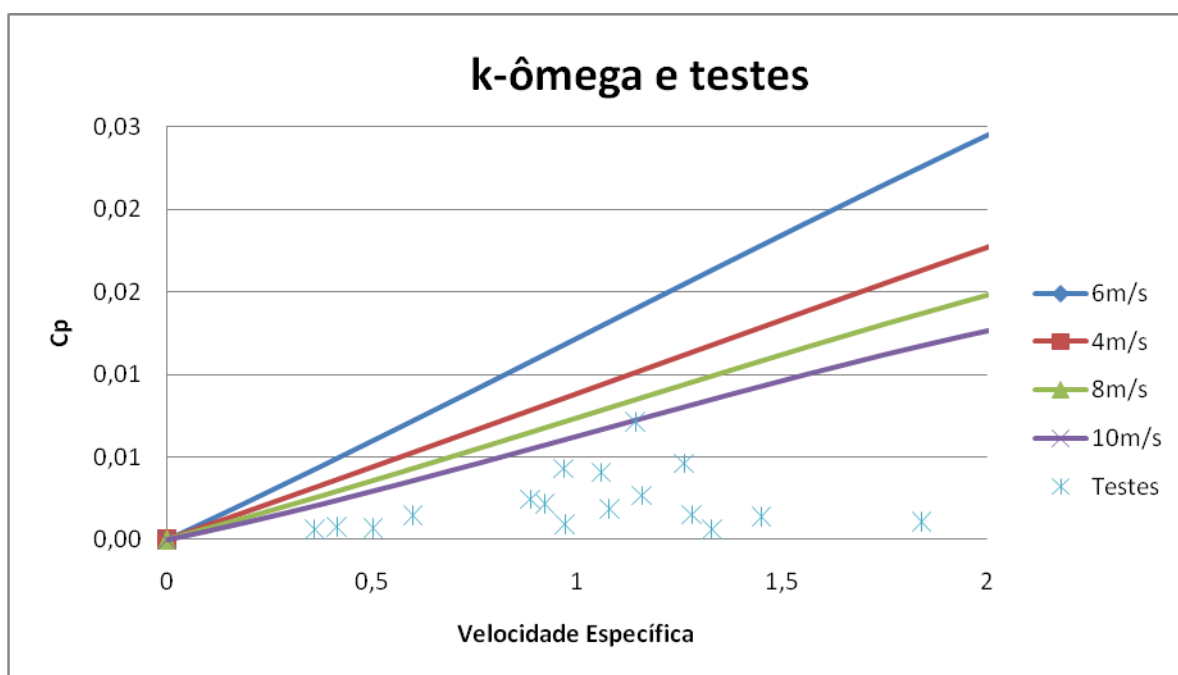


Figura 6. Gráfico comparativo entre as curvas de desempenho da simulação utilizando o modelo k-omega e dos dados experimentais.

Como pode-se perceber nas Figuras (5) e (6), os valores experimentais de C_p ficaram bem abaixo dos resultados da simulação. A hipótese mais provável para explicar este fato é a perda da torção da pá no momento do recobrimento com a folha de 1 mm de madeira balsa, uma vez que esta pode ser considerada espessa para as dimensões utilizadas. Sem a torção, uma maior fração da pá fica estolada, o que acarreta uma perda de desempenho.

4. CONCLUSÃO

Após a realização deste estudo, foi possível verificar que os valores do coeficiente de potência obtidos na simulação foram baixos, o que era esperado, uma vez que os aerogeradores de eixo horizontal tendem a apresentar melhores eficiências quando projetados para maiores velocidades específicas (7 a 9) (Hau, 2006).

O aparato utilizado nos testes experimentais se mostrou eficiente para a obtenção dos dados e levantamento das curvas de potência, contudo, devido às baixas médias de velocidade do vento e à perda da torção da pá durante o processo de montagem, não foi possível obter resultados mais altos para o coeficiente de potência.

5. AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES/PNPD.

6. REFERÊNCIAS

- Abbott, I.H., von Doenhoff, A.E. Theory of wing sections. New York: Dover, 1959.
- ALVAREZ, André Carneiro Couto ; ROCHA, Paulo Alexandre Costa ; CARNEIRO, Francisco Olímpio Moura . Projeto Aerodinâmico de um Gerador Eólico Tripá para Ventos de Baixa Intensidade, Utilizando a Teoria do Momento de Elemento de Pá. In: CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador. V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, 2008.
- Burton, Tony; Sharpe, David; Jenkins, Nick; Bossanyi, Ervin. Wind Energy: Handbook. Wiley 2001
- Glauert, H., 1935. Airplane propellers. In: Durand, W.F. (Ed.), Aerodynamics Theory, 4, Division L, Springer, Berlim.
- Hau, Erich. Wind Turbines. Springer, Berlim, 2006
- Lanzafame, R; Messina, M. Fluid dynamics wind turbine design: Critical analysis, optimization and application of BEM theory. Renewable Energy, n.32, p.2291-2305, 2007.
- Menter, F.R., 1993. Zonal Two Equation κ - ω Turbulence Models for Aerodynamic Flows. AIAAPaper 93-2906.
- Versteeg, H. K.; Malalasekera, W.; An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The finite volume method. Longman Scientific & Technical 1995.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no trabalho.

Performance assessment of a wind turbine with a NACA 63425 airfoil, through computer simulation and field tests.

Igor Albuquerque Maia, igor.albuquerque.maia@gmail.com¹

Alberto dos Santos Lopes, albert.s.lopes@hotmail.com¹

Carla Freitas de Andrade, carla@ufc.br¹

Clodoaldo de Oliveira Carvalho Filho, clodoaldo@ufc.br¹

João Victor Pinto da Silveira, joaovector@hotmail.com¹

¹Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Av. Humberto Monte, S/N, Bloco 714
60450-000 – Fortaleza- CE.

Abstract: *This study was carried out to evaluate the performance of a wind turbine with a NACA 63425 airfoil, through computer simulations of the flow field and field-testing aiming to obtain the power curves of a turbine and subsequent comparison of the curves obtained by both approaches. The tapering and twisting of the turbine blades were calculated using the Blade Element Momentum (BEM) theory. The simulations were performed using the ANSYS-CFX fluid dynamics package, which includes mesh generator, flow solution and post-processing as working tools. The flow field was assessed using two different turbulence models: k-epsilon and k-omega SST. For each turbulence model, the tip speed ratio of the simulated blade assumed the following values: 0, 3, 5 and 7 whilst wind speeds have taken the values of 4, 6, 8 and 10m/s. The field tests consisted of making the turbine lift a given mass to a predetermined height and in this period the axis rotation was measured from the mass lift speed. With the axis rotation and the torque generated by lifting the mass, the mechanical power required for plotting the performance curves was obtained. The performance curves generated from the simulation for each turbulence model were compared with curves obtained from the field-test results, and through this comparison, it was observed that the use of numerical tools must be implemented with enough caution, regarding its possible limitations, especially in cases of complex three-dimensional geometry.*

Key words: *wind turbine, turbulence models, ANSYS-CFX, performance curves.*