



Análise da resposta dinâmica de uma turbina eólica em rotação através de modelagem em ANSYS®

Raul Carreira Rufato¹, Tobias Souza Morais²

RESUMO: As máquinas rotativas sempre estiveram presentes em diversos setores, desde a descoberta da roda, turbinas a gás, até helicópteros. As turbinas eólicas vem ganhando grandes destaques atualmente. Desta forma, verifica-se a importância da realização de análises dinâmicas, juntamente com suas respectivas respostas temporais, para assegurar um projeto robusto e eficiente. Assim, neste trabalho, foi feito uma análise dinâmica de uma turbina eólica em rotação com o uso de um software comercial de elementos finitos (ANSYS®). Foi assim verificado o seu comportamento dinâmico em função da sua velocidade de rotação, por meio da obtenção de uma evolução de suas frequências naturais e seus respectivos modos de vibração. Considerou-se as aletas da turbina feitas de material composto (fibra de vidro). Além da análise realizada, está sendo desenvolvido simultaneamente um código em MATLAB® que faz a modelagem do mesmo sistema através de método dos elementos finitos, o qual será validado através das respostas obtidas pela atual simulação.

PALAVRAS-CHAVE: Máquinas rotativas, Modelo dinâmico, Turbina eólica.

Dynamic response analysis of a rotating wind turbine using an ANSYS® model

ABSTRACT: Rotating machines have always been present in several sectors, from the discovery of the wheel, gas turbines, to helicopters. Wind turbines have been gaining major highlights nowadays. This way, it is important of conducting dynamic analyzes, and their respective temporal responses, to ensure a robust and efficient design. Thus, in this work, a dynamic analysis of a rotating wind turbine with the use of a finite element commercial software (ANSYS®) was performed. Their dynamic behaviour was predicted in function of their speed of rotation, by obtaining an evolution of their natural frequencies and their respective modes of vibration. The turbine blades were built by composite material (glass fiber). In addition to the analysis carried out, a MATLAB® code is being developed simultaneously to perform the same analysis through the finite element method, which will be validated through the answers obtained by the current simulation.

KEYWORD: Rotating machines, Dynamic model, Wind turbine

INTRODUÇÃO

Atualmente as principais fontes de energia utilizadas para produzir eletricidade são os combustíveis fósseis, que não são renováveis e nem ambientalmente adequados. Fontes alternativas de energia renovável são necessárias para alcançar fornecimento sustentável e de geração contínua. A energia eólica tem sido considerada uma das alternativas para os combustíveis fósseis, pois é renovável e tem pouco impacto negativo no meio ambiente. Na última década, a energia eólica cresceu rapidamente e estabeleceu seu importante papel no fornecimento de energia elétrica no mundo.

O principal tema deste trabalho consiste na modelagem de dinâmica rotativa de uma turbina eólica, com o objetivo de obter as frequências naturais relativas aos primeiros modos de vibração do sistema dinâmico. Para isso foi realizada uma simulação por meio do software de elementos finitos (*ANSYS*[®]), na qual foram determinadas as frequências naturais do sistema em função da velocidade de rotação por meio do diagrama de Campbell.

MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, um modelo CAD foi desenhado utilizando-se o software *Solid Works*[®], foi desenhada uma geometria simplificada de uma turbina eólica composta por 3 pás de $10\text{ m} \times 0,49\text{ m} \times 0,1\text{ m}$ cada, com suas bases fixadas em um disco vazado com $0,5\text{ m}$ de diâmetro interno e 1 m de diâmetro externo.

Posteriormente, a geometria foi importada para programa de elementos finitos *ANSYS*[®], onde foram feitas análises modais. Considerou-se material composto (fibra de vidro) como o material usado na turbina. Para a definição da malha de elementos finitos, optou-se pelo elemento do tipo tetraédrico. Como condição de contorno, os nós dos elementos que se encontram no interior do disco foram considerados conectados por elementos rígidos em um nó criado no centro de rotação do sistema, no qual foram impostos deslocamentos nulos.

A velocidade de rotação foi considerada variando até 45 rad/s . Assim, extraiu-se as frequências naturais dos 10 primeiros modos de vibração do sistema, considerando a faixa de velocidade analisada dividida em 10 pontos, no intuito de gerar o diagrama de Campbell. As análises realizadas e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

RESULTADOS PARCIAIS/FINAIS

Nos resultados apresentados nas Fig. (1) e Fig. (2) encontram-se os dois primeiros modos de flexão dos aerofólios e suas respectivas frequências naturais. O modo de flexão denominado *flapwise* é o modo cujo os deslocamentos da estrutura estão na direção perpendicular ao plano de rotação e o movimento do modo *edgewise* ocorre na direção ao plano de rotação da turbina. Devido a flexibilidade do disco que suporta os aerofólios, para cada modo de flexão apresentado, existem três frequências naturais ligeiramente distintas.

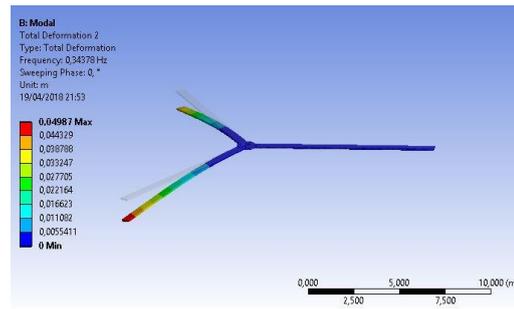


Figura 1: 1º modo (em flapwise)

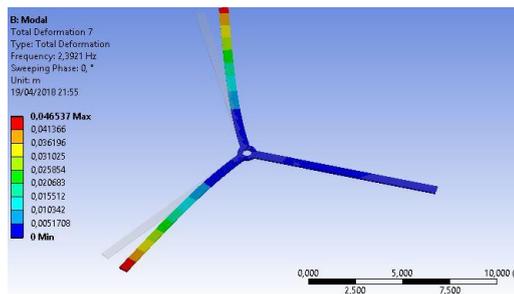


Figura 2: 2º modo (em edgewise)

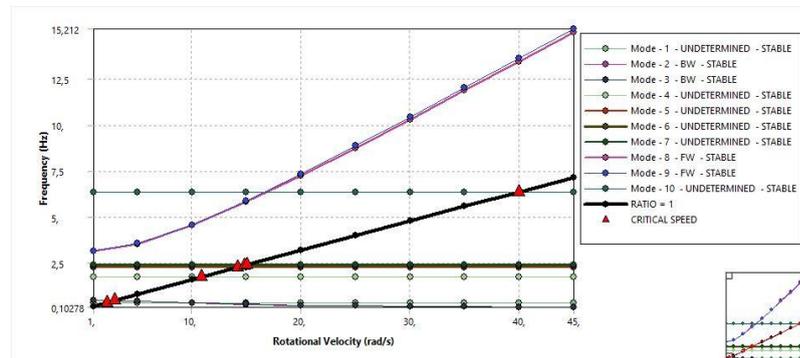


Figura 3: Diagrama de Campbell

É possível verificar através do diagrama que em alguns pontos de velocidade de rotação, como próximo de 15 rad/s , ocorre um ponto crítico de operação do sistema, onde a velocidade de rotação da turbina é igual a frequência natural do sistema, algo que deve ser evitado, pois nestas velocidades ocorre a amplificação da amplitude de vibração. Essas velocidades podem ser evitadas por meio da variação do passo das aletas, que alteram o seu ângulo de ataque e consequentemente o carregamento aerodinâmico da mesma, ou acelerando o rotor na passagem por essas frequências evitando as velocidades críticas da turbina.

CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em posse dos resultados é possível verificar uma faixa de velocidade de operação da turbina, a qual se devem evitar as velocidades críticas obtidas por meio do diagrama de Campbell. Assim, podendo evitar possíveis falhas do sistema.

Em suma a pesquisa conseguiu gerar os resultados propostos. Claramente que de posse dessa análise modal ainda podem ser realizados diversos incrementos e, o código em desenvolvimento poderá ser validado pelos resultados obtidos, além de poder ser utilizado

como base para diversas aplicações em se tratando de máquinas rotativas.

Verifica-se pelo diagrama de Campbell que existem modos em que a turbina deverá excitar durante sua operação. Assim o sistema de controle de velocidade da turbina deverá prever essas condições e atuar para que a estrutura não tenha um elevado nível de vibração, o que pode colocar em risco o sistema mecânico ou reduzir seu carregamento aerodinâmico, provocando queda na eficiência de conversão de energia.

Este modelo é muito útil e muito aplicável em diversas situações de engenharia, pois esse tipo de componente é muito comum em diversos setores e diversos tipos de modelos de máquinas e/ou sistemas dinâmicos. Assim, essa modelagem se torna de elevada importância para posteriores análises de modelos com hélices em rotação, como turbinas eólicas, helicópteros ou até mesmo aletas de motores aeronáuticos como o fan e outros componentes do compressor e da turbina. Análises essas, que posteriormente podem ser feitas visando a otimização estrutural para aumento de eficiência do sistema.

Com isso, em trabalhos futuros espera-se validar com os resultados obtidos a modelagem computacional em *MATLAB*[®] desse sistema, e assim obter um modelo completo e robusto que poderá ter diversas aplicações, incluindo a sua otimização e o acoplamento aeroelástico.

REFERÊNCIAS

- [1] Rade D. A. . *Método dos Elementos Finitos Aplicados à Engenharia Mecânica*, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, 2011.
- [2] Dayuan J. . *Modeling of a Wind Turbine Rotor-Blade System and its Applications*, A Thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy, 2017..

¹ Estudante de Engenharia Aeronáutica, FEMEC-UFU, Uberlândia, MG.

² Assistant Professor
Structural Mechanics Laboratory “Prof. José Eduardo Tannús Reis” (LMEst)
FEMEC-UFU, Uberlândia, MG