

Desempenho de turbina eólica de eixo horizontal em baixas velocidades de ar.

Felipe Lima de Oliveira (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Júlio César Dainezi de Oliveira (Orientador). E-mail: jcdoliveira@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Engenharia Mecânica / Mecânica dos Fluídos.

Palavras-chave: Desempenho aerodinâmico; TEEH; Ângulo de ataque.

RESUMO

O propósito deste estudo foi conduzir simulações de uma versão em pequena escala de uma turbina eólica de eixo horizontal (TEEH), operando em velocidades até 5m/s, a fim de avaliar seus aspectos aerodinâmicos para otimização em regiões do Brasil. A pesquisa focalizou o aerofólio SG 6043, empregando a abordagem do Método dos Elementos de Contorno (BEM). Os resultados destacaram a relevância do design do aerofólio para o desempenho. Destaca-se o resultado do ponto ideal de operação, para o modelo, foi um ângulo de ataque de 6,5°, com fluxo médio de 5m/s, resultando em coeficientes C_l e C_d de 17,06 e 1,86, respectivamente. Além disso, foi identificado um padrão turbulento no fluxo, com um número de Reynolds de cerca de 35194. As forças de sustentação e arrasto foram calculadas em 10,45 N e 1,14 N, em consonância com os coeficientes. Embora pequenas variações tenham sido observadas na simulação 3D, principalmente nas regiões afetadas pela velocidade e pressão, não houve grande variedade entre as simulações realizadas. Os métodos utilizados se mostraram úteis para análise de projetos semelhantes.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a busca por fontes de energia alternativas tem crescido progressivamente devido à diminuição dos recursos de combustíveis fósseis, que é a principal fonte de energia. De acordo com a Agência Brasil (2023), o Brasil ocupa a sexta posição global em capacidade instalada de energia eólica em terra desde 2021, alcançando 25,04 gigawatts (GW). Diante da relevância da energia eólica no país, um estudo foi conduzido para otimizar a utilização da energia gerada pelo vento.

O objetivo deste estudo consistiu em realizar simulações de um modelo específico de turbina eólica de eixo horizontal (TEEH) em pequena escala, operando a velocidades de até 5m/s, a fim de avaliar suas características aerodinâmicas. A pesquisa se concentrou no aerofólio SG 6043, aplicando a teoria do Método dos Elementos de Contorno (BEM) e previamente analisada por Johansen (2020). A escolha de baixas velocidades, relacionadas ao baixo número de Reynolds, foi

determinada de acordo com as condições das regiões brasileiras para as TEEHs em escala reduzida. Para a simulação, o software ANSYS foi empregado e as coordenadas para construção do aerofólio foram obtidas no site Airfoiltools.

As simulações foram conduzidas através da Fluidodinâmica Computacional (CFD) com o objetivo de analisar o comportamento aerodinâmico do aerofólio SG 6043, considerando ângulos de ataque. Diversas forças foram estudadas durante esse fenômeno, incluindo forças de sustentação, arrasto, peso e empuxo. Adicionalmente, o estudo determinou o ângulo de ataque, que é a inclinação do aerofólio em relação ao eixo z.

MATERIAIS E MÉTODOS

A fase inicial do projeto compreendeu a exploração do software ANSYS, incluindo suas funcionalidades e métodos para conduzir simulações do aerofólio SG 6043 em um contexto bidimensional. Esse aerofólio foi comparado com outros em consonância com o estudo de Johansen (2020), e foi constatado que ele era o mais adequado para velocidades médias de 5m/s. Foi utilizado uma variação de ângulo de ataque de 5° em 5°, de 0 a 25°.

O software ANSYS foi utilizado para visualmente reproduzir um experimento de fluxo de ar sobre um aerofólio, que representa a pá de uma turbina eólica em escala reduzida. Essa representação gráfica do aerofólio foi criada, seguida pela configuração da região de fluxo de fluido.

Inicialmente, para conduzir cálculos experimentais, as Equações 1, 2 e 3 foram utilizadas. Estas equações determinam os coeficientes de sustentação (Cl), arrasto (Cd) e o Número de Reynolds (Re). Essas incógnitas foram empregadas para calcular as forças de sustentação e arrasto resultantes, bem como para determinar um número que indica se o fluxo é laminar, turbulento ou de transição.

$$C_l = \frac{\rho \times V \times \alpha \times c \times l^2}{2} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$C_d = \frac{\rho \times V \times \alpha \times c \times l^2}{2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$Re = \frac{\rho \times V \times l}{\mu} = \frac{\rho \times V}{\mu} \quad (\text{Eq. 3})$$

Ademais, houve um tratamento especial na malha para as regiões mais próximas do aerofólio, com o intuito de obter uma maior precisão sobre o que foi analisado, no caso, no fluxo do fluido ou nas forças resultantes sobre o elemento. A malha, composta por um total de 10675 nós e 10413 elementos, foi construída por meio de

elementos quadrangulares, o que confere um alto grau de precisão e qualidade aos cálculos realizados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, foi realizado os cálculos e, após isso, procedeu-se com iterações no software para determinar os coeficientes C_l (coeficiente de sustentação) e C_d (coeficiente de arrasto). A alteração no ângulo de ataque resultou em variações nos coeficientes obtidos e na pressão exercida sobre a pá. Basicamente, na medida que a pressão diminui na região superior e aumenta na região inferior, mostrado na Figura 1, a sustentação sobre a pá aumenta, impulsionando o movimento dela. Além disso, um padrão de escoamento turbulento foi identificado no experimento, com um número de Reynolds em torno de 35194.

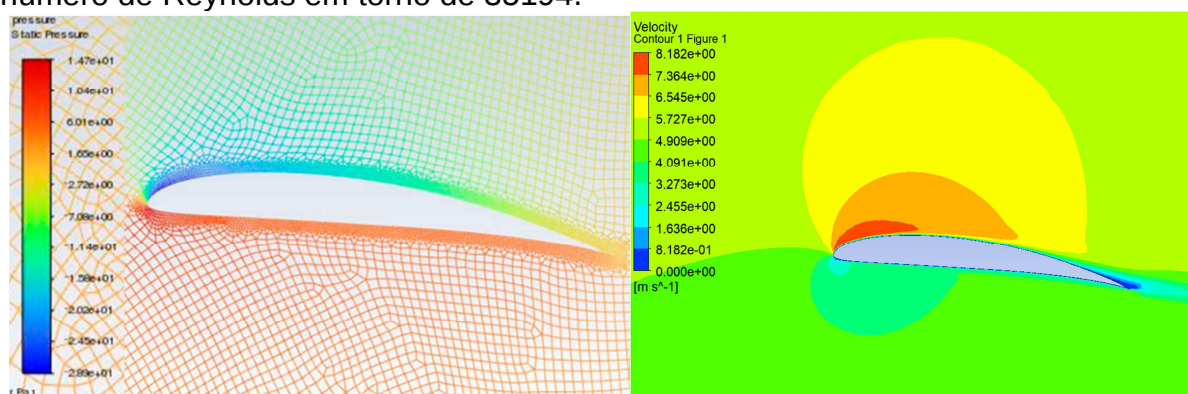


Figura 1 – Pressão sobre o aerofólio no escoamento e velocidade do fluido ao redor do mesmo.

A relação máxima entre os coeficientes de sustentação e arrasto, que tomamos como um resultado essencial para o desempenho aerodinâmico, ocorreu a um ângulo de ataque de $6,5^\circ$, com C_l e C_d registrados como 17,06 e 1,86, respectivamente (Figura 2). Adicionalmente, as forças principais que influenciam os movimentos das pás da TEEH - sustentação e arrasto - foram calculadas como 10,45 N e 1,14 N, correspondendo aos valores derivados dos coeficientes.

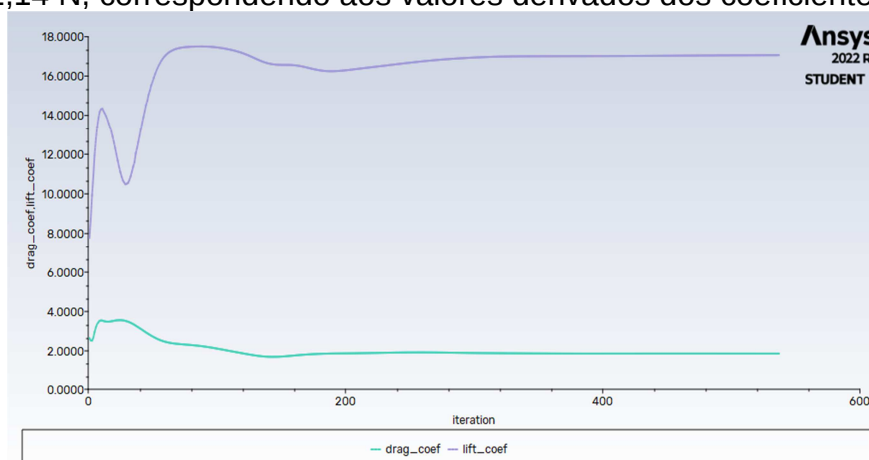


Figura 2 – Coeficientes de sustentação e arrasto

CONCLUSÕES

Através da implementação dos procedimentos e métodos descritos na pesquisa, foram realizadas simulações detalhadas do aerofólio SG 6043 em condições de fluxo de ar médio de 5m/s. Inicialmente, explorou-se a função do software ANSYS, permitindo a geração de resultados precisos para os coeficientes C_l e C_d . A análise da variação do ângulo de ataque revelou sua influência sobre esses coeficientes, e também observou-se que o aumento da sustentação estava diretamente ligado à diminuição da pressão na parte superior da pá, contribuindo para seu movimento e, conseqüentemente, para a geração de energia.

Com base em todos resultados encontrados, é possível concluir que o modelo de aerofólio SG 6043, quando sujeito a fluxos de ar médios de 5m/s, atinge seu desempenho ótimo a um ângulo de ataque de $6,5^\circ$. O estudo fornece um sólido embasamento teórico e prático para a aplicação de aerofólios em turbinas eólicas, estabelecendo um passo significativo em direção à utilização mais eficaz e sustentável de energias alternativas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus por sempre me abençoar.
Ao CNPq e a Universidade Estadual de Maringá, pelo financiamento e pela chance de poder desenvolver essa pesquisa.

REFERÊNCIAS

JOHANSEN, G. H. Z. **Algoritmo para projeto e otimização aerodinâmica de turbina eólica horizontal de pequena escala**. Tese—UEM.

Airfoil tools. Disponível em <http://airfoiltools.com/index>. Acesso em: dez. 2022.

Agência Brasil. Capacidade de geração de energia eólica deve bater recorde neste ano. Disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-04/capacidade-de-geracao-de-energia-eolica-deve-bater-recorde-neste-ano>. Acesso em: jul. 2023.