PROJETO AERODINÂMICO E AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE DE TURBINA EÓLICA OFFSHORE DE 1 MW NA REGIÃO DE VITÓRIA - ES

Bruno Zanon Bastos [1] (bruno.z.bastos@edu.ufes.br), Geraldo Rossoni Sisquini [1] (geraldo.sisquini@ufes.br), Giovanni Capua Medici [1] (giovanni.aeros.medici@gmail.com)

[1] Universidade Federal do Espírito Santo; Centro Tecnológico; Departamento de Engenharia Mecânica
Vitória, Espírito Santo, Brasil

RESUMO: *Esta pesquisa explora a exequibilidade econômica e logística de instalação de turbinas eólicas offshore, com capacidade para geração de 1 MW cada, no estado do Espírito Santo. A estratégia metodológica empregada foca principalmente na engenharia e no design aerodinâmico do rotor. Assumindo uma eficiência aerodinâmica apropriada, a discussão se direciona para o dimensionamento necessário para que a turbina atinja o patamar de 1 MW de potência, considerando as condições locais. A utilização do software QBlade para modelagem, simulação e otimização de uma turbina eólica é um componente central deste trabalho. Sua funcionalidade e praticidade para modelagem de futuras turbinas em distintas condições eólicas também são discutidas e destacadas no presente estudo.*

PALAVRAS-CHAVE: *Turbina, Vento, HAWT, QBlade, BEM.*

AERODYNAMIC PROJECT AND VIABILITY EVALUATION OF 1 MW OFFSHORE WIND TURBINE ON VITÓRIA - ES

ABSTRACT: *This research explores the economic and logistical feasibility of installing offshore wind turbines, each capable of generating 1 MW, in the state of Espírito Santo. The methodological strategy employed primarily focuses on the engineering and aerodynamic design of the rotor. Assuming appropriate aerodynamic efficiency, the discussion shifts to the necessary sizing for the turbine to reach the 1 MW power threshold, considering local conditions. The use of the QBlade software for the modeling, simulation, and optimization of a wind turbine is a central component of this work. Its functionality and practicality for modeling future turbines under different wind conditions are also discussed and highlighted in the present study.*

KEYWORDS: *Turbine, Wind, HAWT, QBlade, BEM.*

1. INTRODUÇÃO

À luz do crescimento global do setor de energia eólica e do emergente protagonismo do estado do Espírito Santo no cenário brasileiro como uma região de vasto potencial energético, torna-se imperativo aprimorar nossa compreensão acerca das oportunidades proporcionadas por este panorama. Esta pesquisa se dedica ao desenvolvimento de um projeto aerodinâmico para uma turbina eólica de 1 MW na região offshore do referido estado, localizada nas proximidades da capital. O objetivo central é compreender as especificações dimensionais necessárias para uma turbina gerar essa potência neste local e avaliar a viabilidade do projeto. Para a realização desta investigação empregaremos o software de modelagem aerodinâmica open-source, o QBlade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro passo para o projeto da turbina eólica offshore na região selecionada é o estudo anemométrico do local. Qualquer local pode ser analisado, porém dados anemométricos devem estar disponíveis para o ponto escolhido. Neste trabalho, o local escolhido um ponto ao mar a uma distância de aproximadamente 1,5 km do Porto da Praia Mole da Vale e também 3 km de distância da Praia de Camburí – Vitória, com coordenadas geográficas -20.29798: -40.25904,

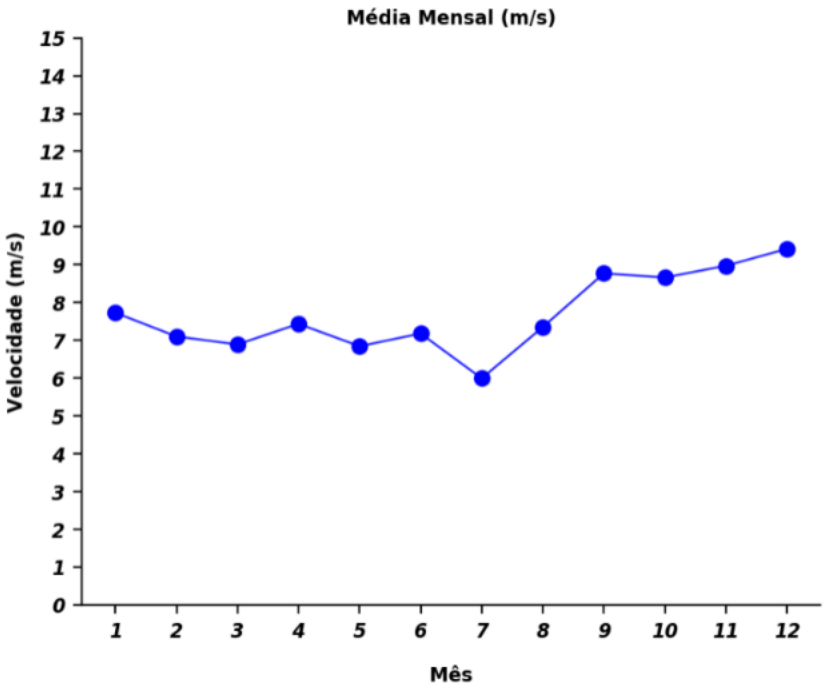
FIGURA 1. Local de instalação.



O local fica na Baía de Vitória e a profundidade da água nesta região, segundo Albino et al 2001, apresenta moderada a baixa declividade, de não mais do que 20 m, tornando o local propício para instalação de uma base de fixação de turbina marítima. Para aquisição detalhada destes dados

anemométricos utilizou-se o ATLAS Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo – 2022. Este Atlas fornece a média mensal e anual da velocidade do vento na região litoral próxima a Praia de Camburi:

FIGURA 2. Média mensal



Assim, definiu-se a média de vento de projeto de 8,5 m/s.

Como mencionado anteriormente, a turbina será projetada para atender uma demanda energética de 1 MW. Para realizar o dimensionamento, utiliza-se a equação de potência para turbinas eólicas (1).

$$P = \frac{\rho . A . v^3}{2} C_P \quad (1)$$

P = Potência da turbina

ρ = Massa específica do ar

A = Área de varredura do rotor

v = Velocidade do ar

Cp = Coeficiente de Potência da Turbina

Considera-se ρ = 1,225 kg/m³ para ar a 20°C e CP = 0,5 para o modelo de turbinas eólicas de eixo horizontal com três pás (HAU, 2013). P é a potência almejada, e v = 8,5 m/s é a velocidade média do ar no local. Calcula-se então a área necessária do rotor para atingir P = 1 MW:

$$A = 5400\, m^2$$

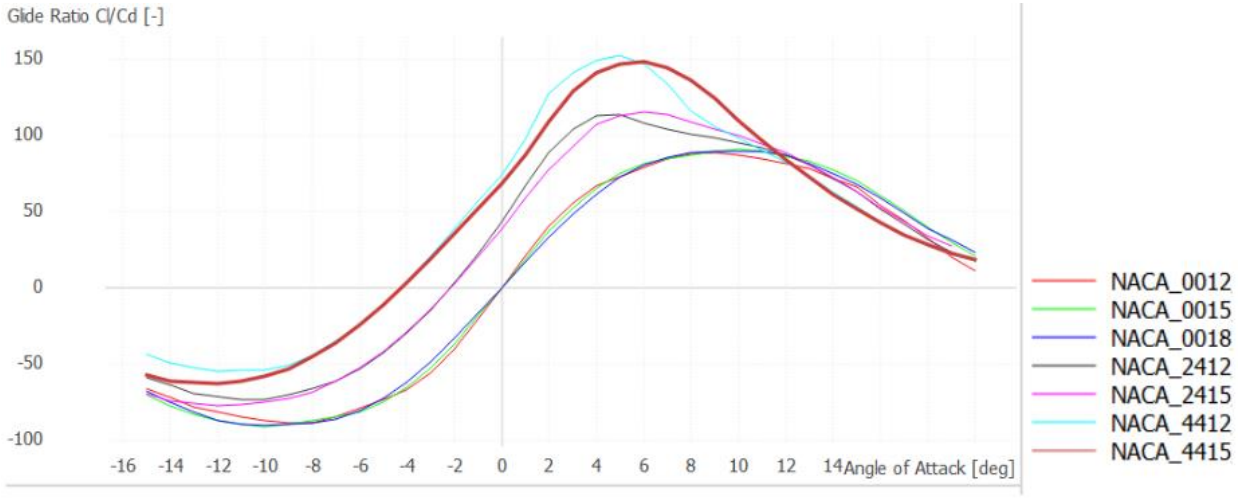
Uma vez definida a demanda-alvo e dimensões teóricas do rotor, busca-se em literatura candidatos de aerofólios NACA de 4 dígitos com boa relação de CL/CD para posterior análise comparativa no QBlade.

Para seleção do aerofólio, foi separado uma lista de sete perfis comumente conhecidos. São estes:

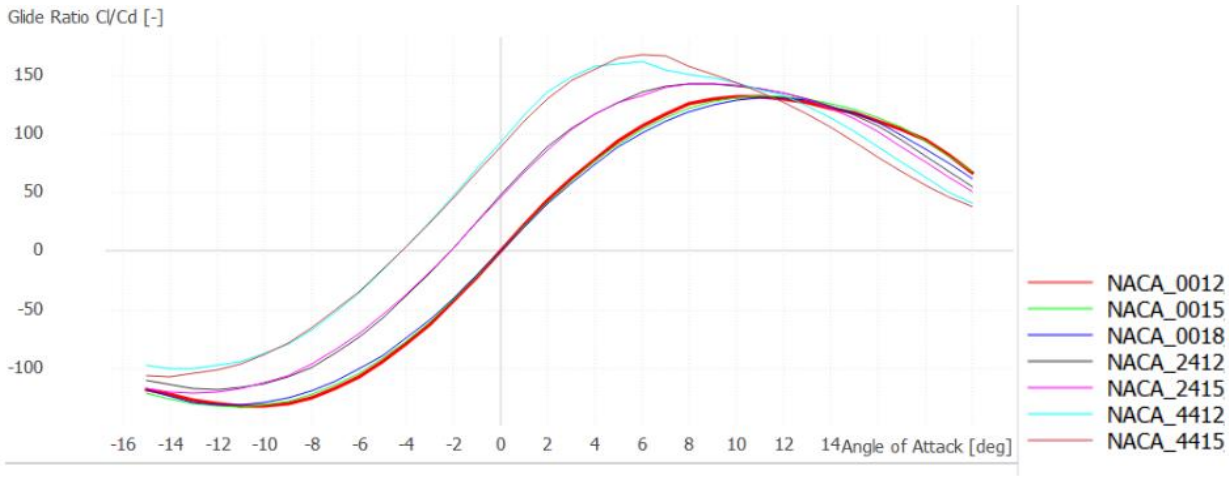
- NACA 0012
- NACA 0015
- NACA 0018
- NACA 2412
- NACA 2415
- NACA 4412
- NACA 4415

Assim, estes aerofólios foram analisados utilizando os números de Reynolds tanto para o aerofólio na ponta da pá (Re_1 = 12 691 788) quanto para em sua raiz (Re_2 = 1 856 260). O número de Mach foi considerado zero devido à hipótese de fluido incompressível, e o NCrit foi arbitrado como 9. Observa-se o gráfico comparativo a seguir:

FIGURA 3. Curva Cl/Cd por ângulo de ataque de Aerofólios
a) para Reynolds na raíz da pá



b) para Reynolds na ponta da pá.



Comparando os resultados obtidos, dois modelos de aerofólio se destacam, são eles o NACA 4412 e o NACA 4415. Apesar de semelhantes, o modelo 4412 apresentou desempenho ligeiramente superior para a relação de CL/CD, parâmetro de interesse para o projeto de turbinas eólicas, tornando-o assim o perfil aerodinâmico selecionado para o presente trabalho.

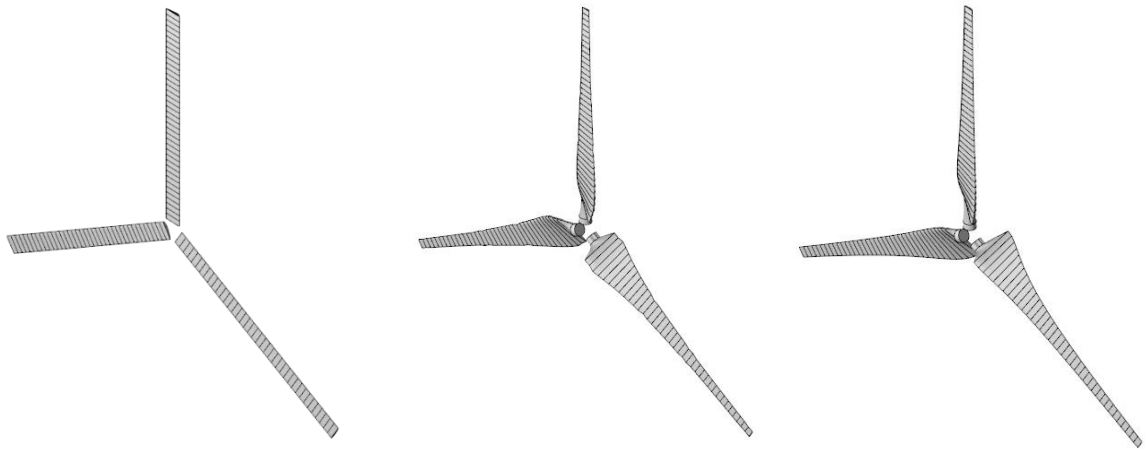
A pá foi então dividida em 40 sessões igualmente espaçadas, com as duas primeiras sendo seções cilíndricas e o restante tendo o perfil NACA 4412 com 3 m de comprimento de corda e 0° de torção e com comprimento de pá final de 1,5 m. É importante notar que cada seção de aerofólio possui um polar individual para seu número de Reynolds específico, que varia devido a sua posição no rotor, que consequentemente influencia na sua velocidade absoluta. O protótipo do rotor (nomeado CANVAS).

O TSR ideal teórico de uma turbina de eixo horizontal é de aproximadamente 7. Assim utiliza-se do método de Schmitz, um método de otimização que maximiza a eficiência do rotor em um maior range de rotação, para realizar a primeira otimização do rotor da turbina, tanto para o ângulo de torção de cada aerofólio quanto para seu comprimento de corda, resultando na turbina chamada Schmitz A.

Contudo, é importante notar que agora as polares de cada uma das 40 seções não mais se encaixam em cada seção de aerofólio, visto que o comprimento de corda se alterou significantemente. Assim, foi necessário recalcular o polar de cada seção, considerando seu valor atual, para aumentar a qualidade e fidedignidade da simulação. Após este cálculo e ajuste, o rotor, agora sobre Polares com Reynolds mais realistas para seu perfil, passou por mais uma etapa de otimização, dessa vez com resultados muito mais sutis. Chamaremos essa nova etapa do rotor de Schmitz B.

Visto que o dimensionamento dos aerofólios não alterou significantemente, o número de Reynolds foi mantido e os polares não foram alterados, finalizando assim a etapa de modelagem do rotor.

FIGURA 4. Rotores dimensionados. a) CANVAS; b) Schmitz A; c) Schmitz B.



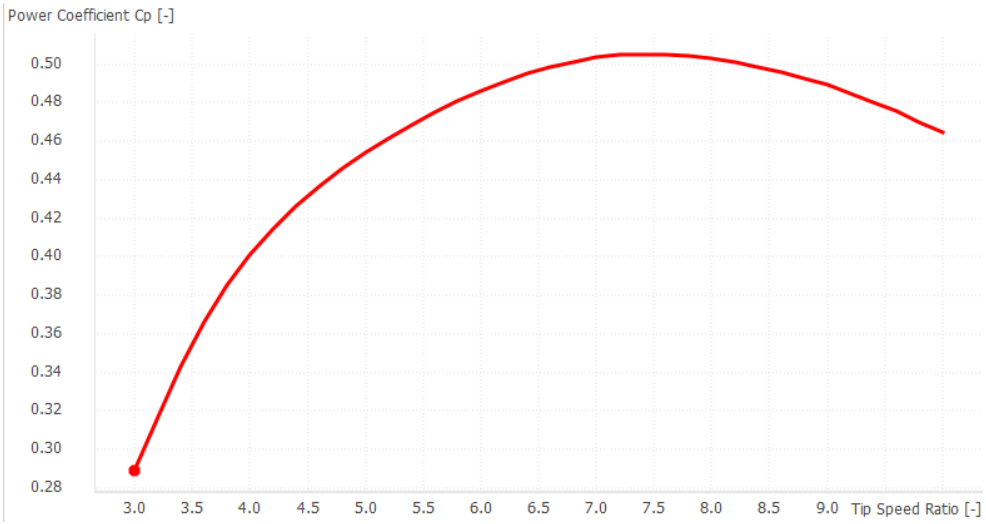
3. RESULTADOS

Para conferir o resultado obtido pelo Rotor modelado, fazemos a simulação de BEM (Blade Element Momentum) com os seguintes parâmetros:

- Velocidade do Vento: 8,5 m/s;
- ρ (massa específica): 1,225 kg/m³;
- v (Viscosidade Cinemática): 1,562 x10^{-5} m²/s;
- Discretização da pá em N elementos: 50;
- Épsilon máximo para convergência: 1 x10^{-6};
- N° máximo de iterações: 500;
- Fator de Relaxamento: 0,1.

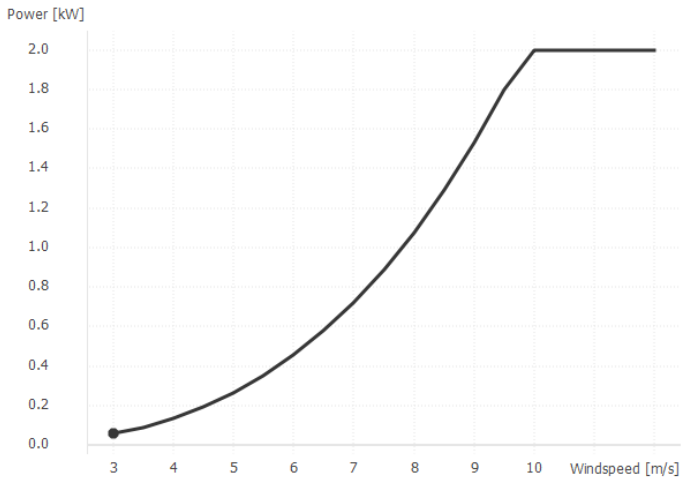
Nessa simulação também foram aplicadas as correções *DTU Poly BEM*, *Prandtl Tip Loss* e *3D Correction*. Realizando a simulação, obtivemos a seguinte curva como resultado:

FIGURA 5. Curva Potência x TSR obtida pelo método BEM.



Assim, obtemos um Cp de aproximadamente 0,5 ao TSR de 7 para a turbina projetada. Em seguida, foi feita uma simulação utilizando BEM para toda a turbina (não só o rotor). Para essa simulação considera-se que o sistema terá sua potência máxima regulada até 2 kW, de acordo com limite estudado do gerador selecionado para projeto. Considerando também uma rotação mínima de 100 RPM e máxima de 500 RPM, e buscando um TSR = 7, além de aproximadamente 5% de perda energética, obtivemos o seguinte gráfico de Potência x Vel. do Vento:

FIGURA 6. Curva Potência x Velocidade do Vento Prevista.



Seguindo esses resultados promissores, damos início à etapa de simulação final utilizando a simulação Free Vortex Wake. Este método de simulação computacional calcula forças em pás de turbina com base na polar aerodinâmica de um aerofólio bidimensional. Ele resolve a esteira da rotação do rotor, permitindo análises transientes e fornecendo resultados mais precisos que o

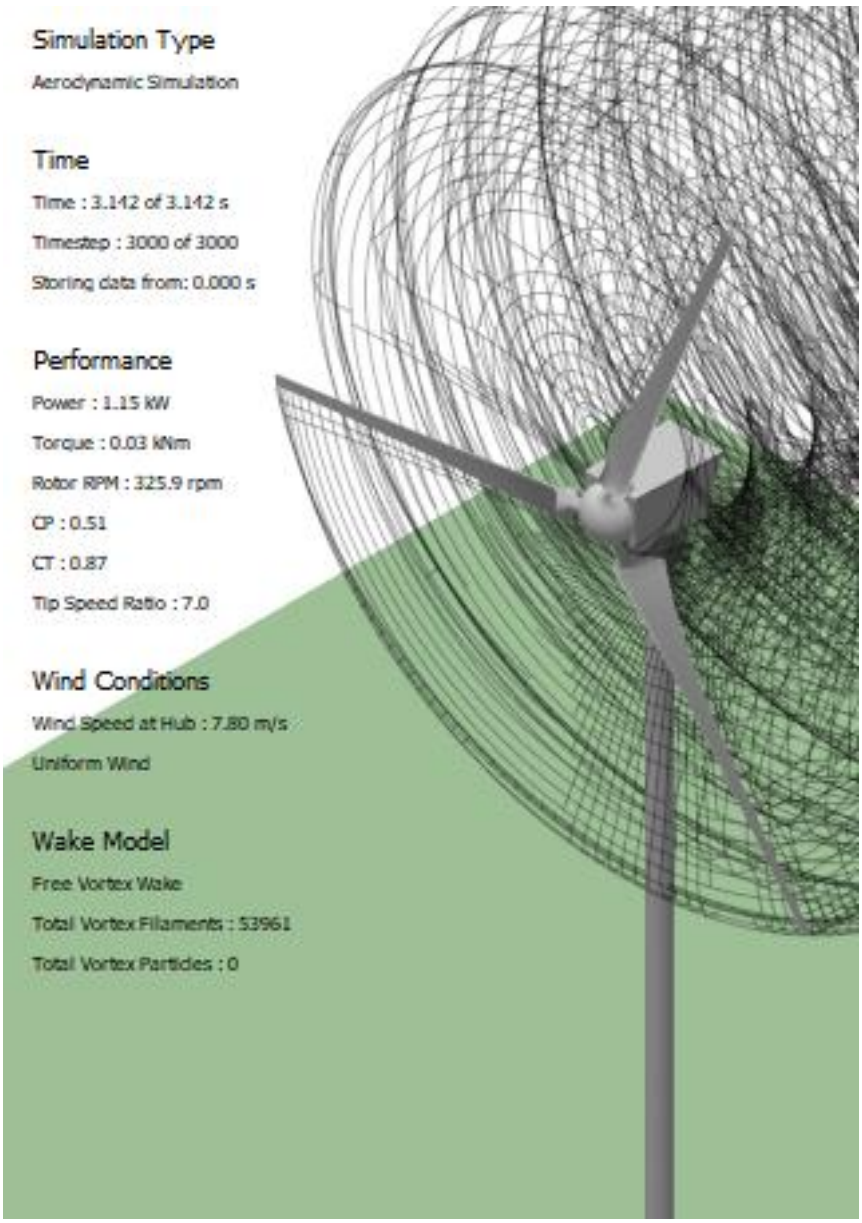
método BEM, sem necessidade de correções empíricas. É útil em situações onde as simplificações necessárias para o BEM não se aplicam.

Após a simulação FVM obteve-se os seguintes resultados:

P = 1,15 kW;

Cp = 0,51.

FIGURA 7. Simulação utilizando o método FVM.



4. CONCLUSÕES

O projeto de design de uma turbina eólica de 1 MW para uso offshore em Vitória - ES, utilizando o aerofólio NACA 4412, alcançou coeficientes de potência de até 55% (limite teórico máximo de 59%). Para atingir o objetivo energético estipulado, viu-se necessário uma turbina com

diâmetro de rotor em torno de 80 m. Isto pode se tornar um desafio de viabilidade econômica, pois, em geral, modelos de turbinas de 1 MW possuem diâmetros em torno de 50 m. Esta diferença se dá devido ao local escolhido. A região offshore próxima ao centro do Estado possui velocidade de vento média de 8,5 m/s enquanto que modelos de turbina de igual porte de geração energética são projetados para ventos de até 15 m/s. Vale ressaltar que a localização escolhida para o projeto foi arbitrária, com objetivo apenas de avaliar a viabilidade de um parque eólico fazendo parte da vista ao mar da região da Grande Vitória. Para encontrar um local de viabilidade econômica mais atrativa, um estudo anemométrico mais amplo se vê necessário.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ATLAS Eólico Onshore e Offshore do Espírito Santo. Recurso Eólico. 2022. Disponível em: http://atlas.sectides.es.gov.br/eolico.

FOX, R. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 8. ed. Purdue University: GEN, 2014.

HAU, E. Wind Turbines: fundamentals, technologies, application, economics. 3. ed.

Munich: Springer, 2013.

QBLADE. Theory Guide: Blade Element Momentum Method. 2023. Acesso em: 2023-06-20. Disponível em: https://docs.qblade.org/src/theory/aerodynamics/bem/bem.html.