



XXVIII CREEM

Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica
Santa Maria - RS



XXVIII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica
09 a 13 de maio de 2022, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil

SIMULAÇÃO AERODINÂMICA DE UMA TURBINA EÓLICA DE PEQUENO PORTE

Camila Marchetto Lisandro, camila.marchetto@acad.ufsm.br¹
Marianna Batista Teixeira, marianna.teixeira@acad.ufsm.br¹
Silvana Maldaner, silvana.maldaner@ufsm.br¹

¹Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul, Rod. Taufik Germano, nº 3013, Bairro Passo D'Areia, Cachoeira do Sul - RS CEP: 96503-205

Resumo. Neste trabalho apresentam-se duas simulações de um aerogerador de eixo horizontal de pequeno porte. Nas simulações a turbina possui três pás, baseado no perfil aerodinâmico SD2030, enquanto o número de Reynolds é mantido fixo e modifica-se apenas a distribuição de corda, seguindo os parâmetros geométricos dos rotores existentes na literatura. A modelagem numérica é realizada através do modelo Qblade - software open-source que emprega a teoria Blade Element Momentum (BEM) para estimar o desempenho do aerogerador. O coeficiente de arrasto e de sustentação são estimados pelo modelo, assim como o coeficiente de potência, o torque e a potência associada. Fomentou-se de uma otimização resultada em evolução para os valores de torque em menores TSR. A modelagem permitiu verificar que o modelo de baixo custo computacional foi capaz de simular as melhorias no designer do rotor propostas na literatura. Desta forma, o modelo mostra-se adequado para o desenvolvimento de novas geometrias de pás.

Palavras chave: Simulação. Aerogerador. Qblade

Abstract. In this paper, two simulations of a small horizontal axis wind turbine are presented. In the simulations the turbine has three blades and is based on the aerodynamic profile SD2030. On both simulations, the number of Reynolds is kept fixed and modified only the chord distribution, following the geometric parameters of the rotors proposed in the literature. Numerical modeling is performed using the Qblade model. The software open-source employs the Blade Element Momentum (BEM) theory to estimate wind turbine performance. The drag and lift coefficients are estimated by the model. The power coefficient, the torque and the power were also calculated. An optimization was promoted, resulted in the evolution of torque values for lower TSR. The modeling allowed to verify that the low computational cost model was able to simulate wind turbines with the proposed geometric characteristics. In this way, the model proves to be effective for the development of new blade geometries and wind turbine designs.

Keywords: Simulation, Wind Turbine, QBlade

1. INTRODUÇÃO

O interesse na geração de energia eólica está em eminente crescimento nos últimos anos. A transformação da energia cinética dos ventos é realizada através de aerogeradores, caracterizados como de pequeno ou grande porte - a serem definidos pela demanda da energia final produzida do projeto. As turbinas eólicas de pequeno porte têm uma menor produção energética comparada às de grande porte, no entanto, a sua aplicação é mais ampla, precipuamente à geração descentralizada de energia elétrica, à logística de instalação e transporte, e ao funcionamento em diferentes velocidades do vento, o que permite um melhor aproveitamento da energia cinética quando ofertada em baixas intensidades.

À face do exposto, faz-se de extrema importância para a contribuição do desenvolvimento e avanço das tecnologias em favor da preservação ambiental, o estudo e aplicação de otimização do funcionamento dos aerogeradores. No que diz respeito ao aprimoramento da eficiência de pequenas turbinas eólicas, busca-se por geometrias de pás que permitam um funcionamento idôneo e em baixas velocidades do vento; processo este facilitado através de modelagem numérica - contribuição de excelência para com as melhorias nas estruturas de pás dos aerogeradores e, de súbito, a favor do meio ambiente.

Dessarte, o objetivo do seguinte estudo é simular uma pequena turbina eólica, empregando diferentes valores de corda para as suas pás em busca de um possível aprimoramento em condições de baixos números de Reynolds, ao utilizar Schmitz. Posteriormente, através do modelo Qblade simular os aerogeradores propostos por Takeyeldein *et al.* (2019), para averiguar assim a idoneidade de um software open-source e de baixo custo, o que favorece as pesquisas acadêmicas, haja vista que ambos - orçamento e burocracia - são usualmente precários no meio.

2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foi utilizado o perfil aerodinâmico SD2030, proposto por Michael S *et al.* (1989), que vem sendo empregado em vários projetos de pás de turbinas eólicas. Os dados deste perfil foram obtidos a partir da plataforma Airfoil Tools database (Airfoil database search, 2021) e importados no modelo Qblade para configuração das pás do aerogerador.

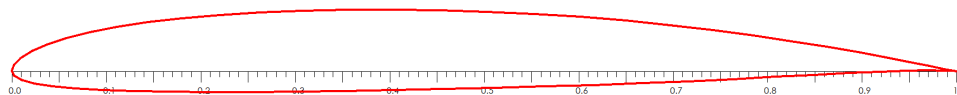


Figura 1. Perfil aerodinâmico SD2030

A Fig. 1 apresenta o perfil do aerofólio SD2030. A Fig. 2 apresenta a pá do rotor elaborado com base no perfil SD2030, enquanto a Fig. 3 apresenta uma otimização da pá do rotor. A otimização proposta é um aprimoramento da clássica teoria do limite de Betz, que fornece distribuições de corda e ângulos de torção (twist) em relação ao seu raio, uma vez especificados o perfil aerodinâmico, o ângulo de ataque e o coeficiente de sustentação. Inicialmente, a teoria de Betz considera apenas as perdas axiais a jusante, enquanto Schmitz considera o fluxo rotacional e leva em consideração a influência de uma força de ação e reação no fluido advindas pelo torque das pás Gasch and Tvele (2012).

Os dois rotores propostos para simulação são baseados no designer de pás dos rotores de Takeyeldin *et al.* (2019). Em seu estudo, apontou-se que uma otimização na distribuição de corda das pás e o emprego da otimização de Schmitz permite obter rotores com melhor desempenho para situações de menor número de Reynolds.

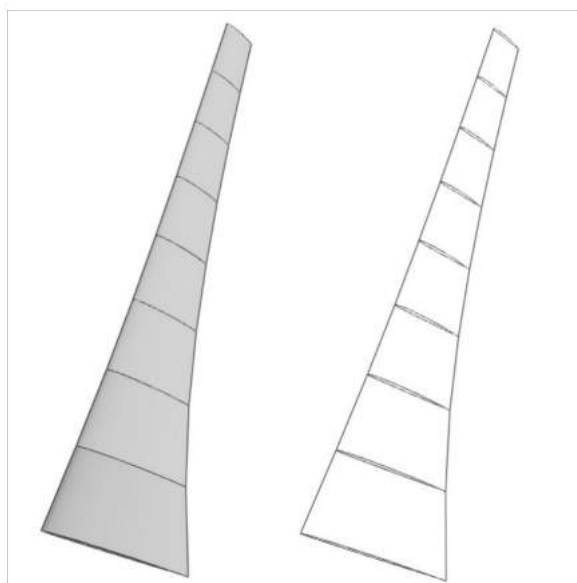


Figura 2. Geometria de pá do aerogerador 1 gerada pelo modelo Qblade

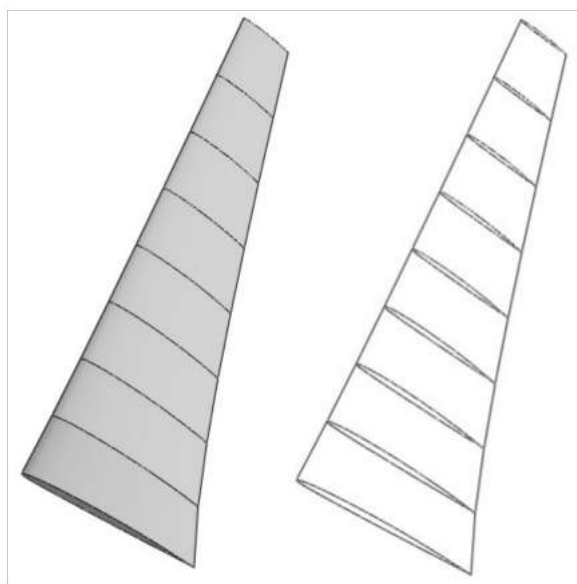


Figura 3. Geometria de pá do aerogerador 2 gerada modelo Qblade

As conclusões destes autores, por fim, foram baseadas em simulações CFD e em um experimento de túnel de vento; entretanto o presente trabalho simula os dois rotores através do software QBlade, comparando os resultados experimentais apresentados pela referência, dos quais, os parâmetros na modelagem numérica são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros empregados na simulação

perfil aerodinâmico	SD2030
velocidade do vento (m/s)	10
número de Reynolds	1×10^5
ângulo de ataque ($^\circ$)	-10 a 20
TSR	0 a 15

2.1 Modelo Qblade

O QBlade é um software comercial de código livre integrado ao software XFOIL visado especialmente para a projeção de aerogeradores, de acordo com Rando Junior (2019). Inicado em 2010 pelo Departamento de Mecânica dos Flúidos da Universidade Tecnológica de Berlim, na Alemanha, o modelo computacional foi desenvolvido com o intuito de unir todas as funções necessárias para projetar um aerogerador, descartando a necessidade de importar dados de outras fontes, haja vista que abrangeria todos os conceitos termofísicos e dinâmicos em um único processamento.

Atualmente é empregado nas universidades e no mercado principalmente pela possibilidade de simular aerofólios personalizados, ou seja: o usuário define as características que desejar. Segundo Morais (2017), as funcionalidades de destaque do QBlade são: a projeção e otimização de perfis gerados ou importados; visualização 3D; definição da turbina eólica - rotor; desempenho do rotor; bem como uma interface de clara compreensão, com suas funções explícitas, o que torna possível obter um ótimo aproveitamento do programa para simulações de turbinas tanto de eixo horizontal como de eixo vertical.

Segundo Glauert (1935), o método BEM teve sua versão inicial por William Froude, em 1878. De forma geral, o método propõe que a pá do rotor seja dividida em um grande número de elementos, ou seja, discretizada em N elementos. Dessa forma, considera-se que cada elemento se comporta como um pequeno aerofólio movendo-se com uma certa velocidade. Esse método resulta em expressões das forças exercidas no elemento da pá, com base nas características de fluxo e geometria da pá. Esses resultados são integrados ao longo da pá para obter valores globais. De acordo com Ledoux *et al.* (2021), para usar o método, são necessários dois coeficientes em função do ângulo de ataque (α), coeficiente de sustentação (CL) e coeficiente de arrasto (CD). O ângulo de ataque representa o ângulo formado entre a pá e o fluxo.

3. RESULTADOS

A partir das simulações realizadas no software QBlade, foram apresetados os resultados do coeficiente de sustentação (C_L), coeficiente de arrasto (C_D), o coeficiente de potência (C_P), o torque e a potência estimada em cada um dos casos analisados: aerogerador 1 - simulação do rotor com geometria inicial proposto pela referência; aerogerador 2 - rotor com a geometria otimizada por Schmitz.

A Fig. 4 exibe a curva do coeficiente de sustentação em função do coeficiente de arrasto com os dados extraídos do QBlade. O comportamento é expectável, com valores máximos de sustentação para baixos valores de arrasto.

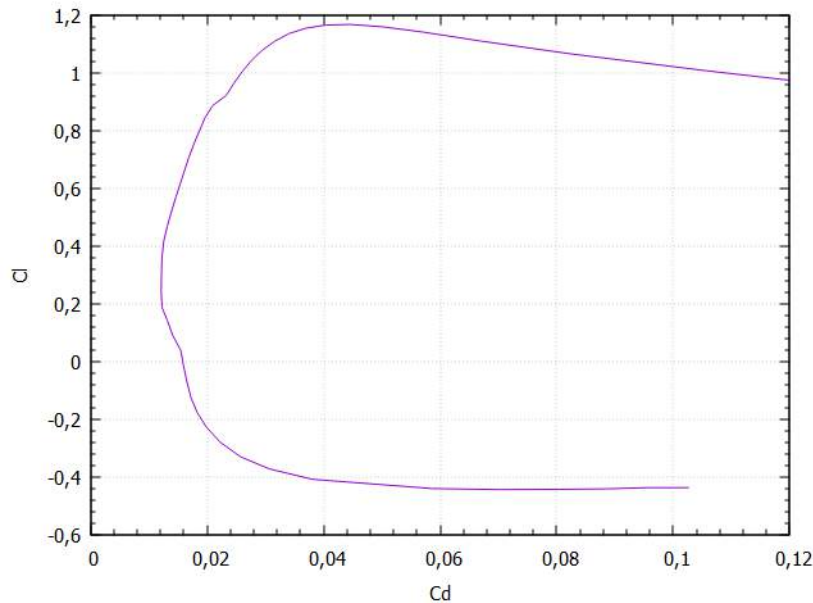


Figura 4. Coeficiente de sustentação em função do coeficiente de arrasto

O gráfico C_l/C_d em função do ângulo de ataque é apresentado na Fig. 5. A razão C_l/C_d cresce até atingir um valor máximo de 42,85 em 6° . O ângulo para o qual ocorre o máximo de C_l/C_d é conhecido como *estol*, responsável por controlar a rotação dentro dos valores estipulados em situações de aumento da velocidade do vento para as turbinas eólicas (Barros, 2019).

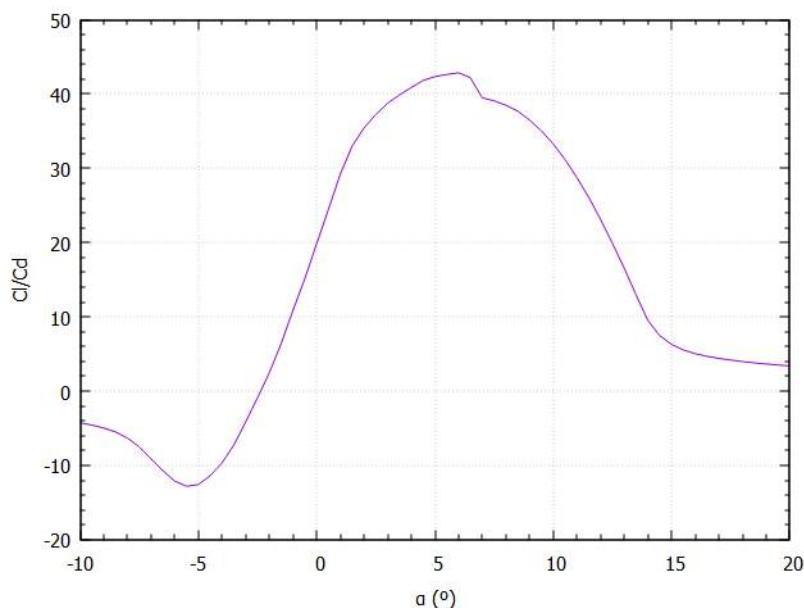


Figura 5. Razão entre o coeficiente de sustentação e o coeficiente de arrasto em função do ângulo de ataque

O coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque exibido na Fig. 6 apresenta um crescimento quase linear até 11,5, valor para o qual o C_l atinge seu valor máximo em 1,18. No estudo de Takeyeldein *et al.* (2019) o valor de C_l experimental foi da ordem de 1 ao passo que as simulações mostraram valores máximos próximos de 1,2.

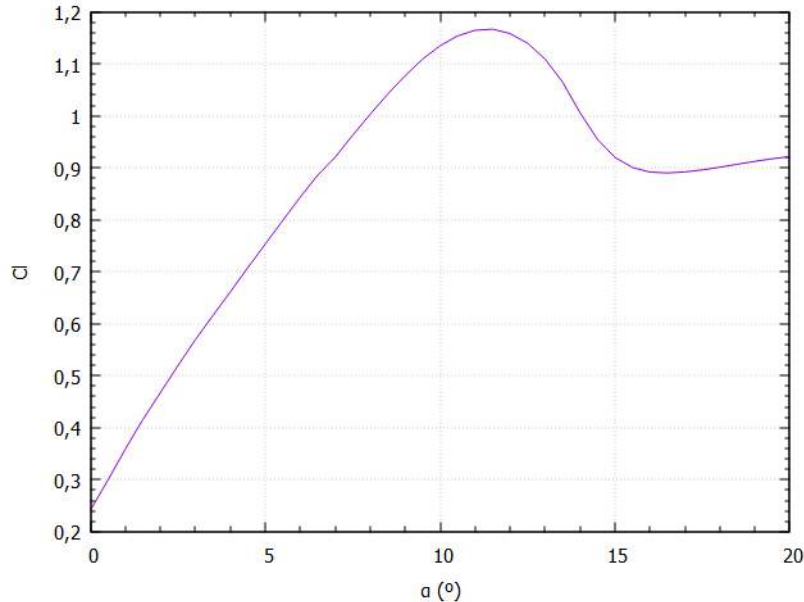


Figura 6. Coeficiente de sustentação em função do ângulo de ataque

A curva do coeficiente de arrasto é apresentada na Fig. 7. O C_d mostra um comportamento crescente no intervalo de ângulo analisado. No experimento de túnel de vento de Takeyeldein *et al.* (2019) o C_d se manteve menor que 0,02 entre 0° e 7° e apresentou um crescimento no intervalo de 5° a 10° , atingindo valores de 0,06.

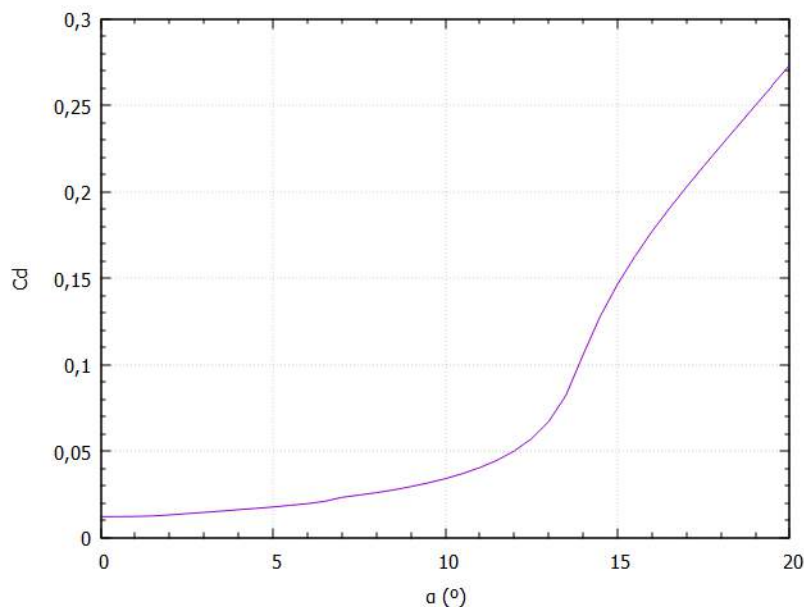


Figura 7. Coeficiente de arrasto em função do ângulo de ataque

A curva do coeficiente de potência para as duas geometrias de pás investigadas é apresentada na Fig. 8. Na simulação do aerogerador que emprega a configuração de pá 1, obteve-se um C_p máximo de 0,48 para uma razão velocidade de ponta de pá TSR (do inglês tip-speed ratio) de 5. Por outro lado, a simulação com o aerogerador 2 empregando a configuração otimizada tem um coeficiente de potência máximo de 0,44 decorrido em uma TSR de 4.

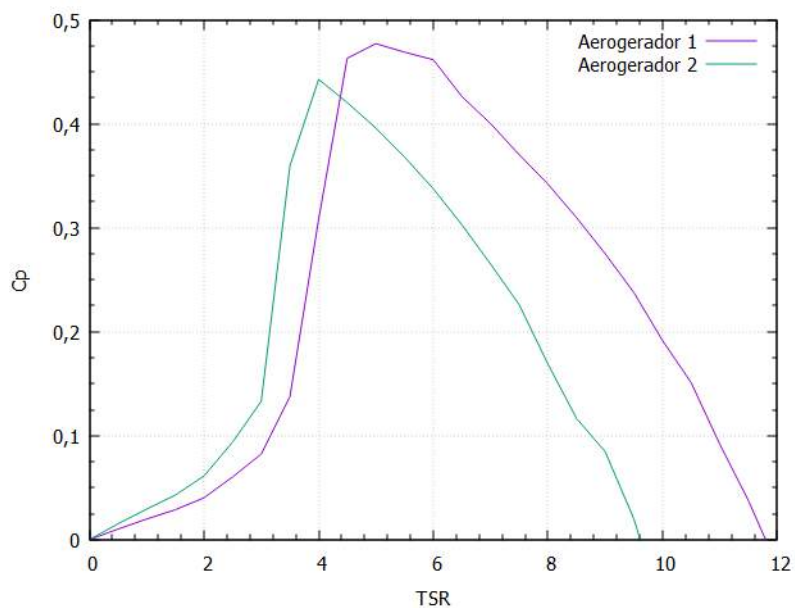


Figura 8. Coeficiente de potência em função de TSR

O torque dos dois aerogeradores é apresentado na Fig. 9. O aerogerador 2 apresenta valores de torque máximo para menores valores de TSR quando comparado ao aerogerador 1, o que indica que a otimização realizada proporciona uma melhor partida comparada ao rotor não otimizado.

A potência estimada pelo Qblade é exibida na Fig. 10. A potência máxima para o aerogerador 1 estima em 82,6 Watts para um TSR de 5, ao passo que o aerogador 2 apresenta uma potência de 76,6 Watts em um TSR de 4.

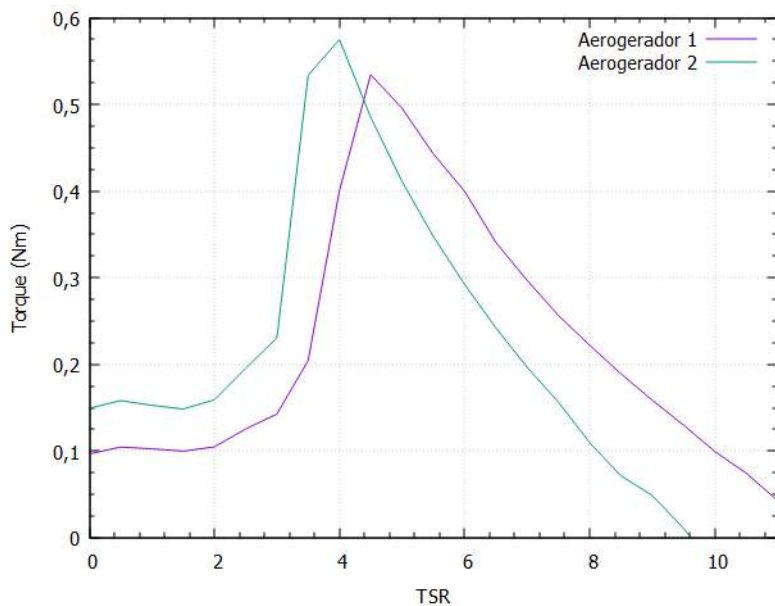


Figura 9. Torque em função de TSR

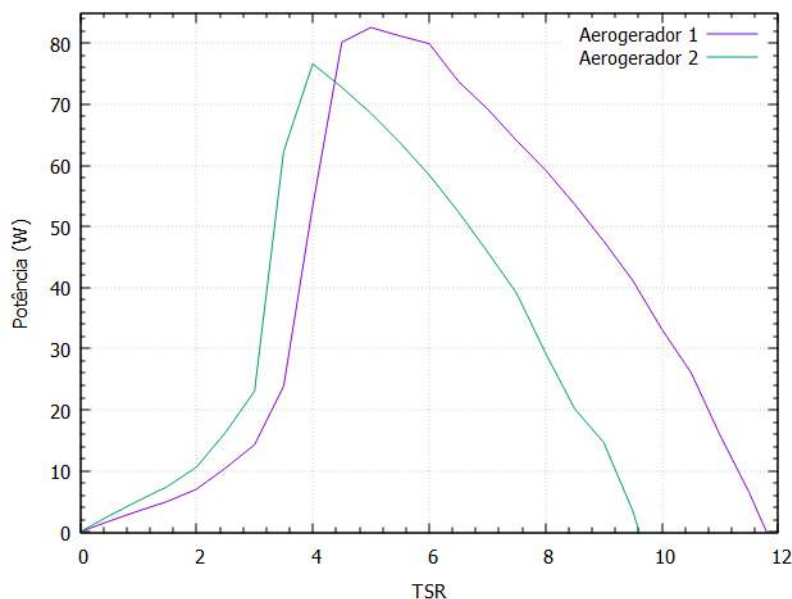


Figura 10. Potência em função de TSR

Os valores máximos das simulações são apresentados na Tab. 2. Através das informações contidas nesta tabela é possível concluir que os dois aerogeradores possuem desempenho semelhante, entretanto o aerogerador 2 possui um torque máximo para um menor valor de TSR, indicando assim que a turbina 2 terá uma melhor partida, em concordância com os resultados de Takeyeldein *et al.* (2019).

Tabela 2. Valores máximos obtidos na simulação com o modelo Qblade

valores máximos das simulações	aerogerador 1	aerogerador 2
C_p	0,48 em TSR=5	0,44 em TSR=4
Torque (Nm)	0,53 em TSR=4.5	0,57 em TSR=4
Potência (W)	82,6 em TSR 5	76,6 em TSR=4

4. CONCLUSÃO

Em suma, conclui-se que o modelo Qblade simulou razoavelmente bem os dois aerogeradores apresentados por Takeyeldein *et al.* (2019), considerando-se que não foi utilizado modelos de turbulência. Além disso, o software mostrou-se promissor para o desenvolvimento de novos aerogeradores de pequeno porte, permitindo a partir de uma simulação de baixo custo computacional prever o comportamento do mesmo.

No que diz respeito à otimização fomentada e aos dados analisados, pode-se constatar uma evolução para os valores de torque, sendo ligeiramente maior para o segundo caso em uma TSR também menor. De forma geral, todos os resultados mostram uma redução de TSR para os valores máximos estimados, o que, portanto, revela uma melhor partida do rotor, resultado significativo para o cenário de funcionamento em menores números de Reynolds.

Ademais, a modelagem numérica permitiu analisar o desempenho dos rotores, minimizando a quantidade de protótipos construídos no processo de aprimoramentos de novos aerogeradores; o que promove uma redução de custos, bem como a diminuição e descarte rápido de resíduos, resultando, por fim em menos poluição e mais acessibilidade ao meio acadêmico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS).

6. REFERÊNCIAS

- Airfoil database search, 2021. “Sd2030-086-88 - selig/donovan sd2030 low reynolds number airfoil”. URL <http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=sd2030-il>. Acesso em 15 dez 2021.
- Barros, K.C.S., 2019. *Análise aerodinâmica de uma turbina eólica de eixo horizontal para microgeração de energia elétrica em ambientes rurais*. B.S. thesis, Brasil.
- Gasch, R. and Twele, J., 2012. *Blade geometry according to Betz and Schmitz*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1st edition.
- Glauert, H., 1935. “Airplane propellers”. In *Aerodynamic theory*.
- Ledoux, J., Riffo, S. and Salomon, J., 2021. “Analysis of the blade element momentum theory”. *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 81, No. 6, pp. 2596–2621.
- Michael S, S., Donovan, J.F. and Fraser, D.B., 1989. “Airfoils at low speeds”.
- Morais, A.Á.d., 2017. “Análise numérico-experimental da pá eólica do aerogerador modelo verne 555”.
- Rando Junior, E.L., 2019. “O ensino de energias renováveis nos cursos de engenharia: uma proposta para uso de simuladores”.
- Takeyeldein, M., Lazim, T.M., Ishak, I.S., Nik Mohd, N. and EA, A., 2019. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences Green Asia Strategy*, Vol. 6, No. 2, pp. 114–123.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.