

# Desenvolvimento de uma metodologia experimental visando a avaliação do desempenho de turbinas eólicas de eixo horizontal de pequeno porte

Samuel Gustavo de Carvalho<sup>1</sup>, Angie Lizeth Espinosa Sarmiento<sup>2</sup>, Diego Mauricio Yepes Maya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fluid Dynamics and Turbomachinery – FDT, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, Itajubá – MG, Brasil. Email: d2021011986@unifei.edu.br

<sup>2</sup>Fluid Dynamics and Turbomachinery – FDT, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. B P S, 1303 - Pinheirinho, Itajubá – MG, Brasil. Email: angieespinosa@unifei.edu.br

<sup>3</sup>Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída – NEST, Instituto de Engenharia Mecânica - IEM, Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Av. B P S, 1303, Pinheirinho, Itajubá – MG, Brasil. Email: diegoyepes@unifei.edu.br

## Resumo

Este estudo descreve a elaboração de uma metodologia para avaliar o desempenho de turbinas eólicas de eixo horizontal de pequeno porte, utilizando a bancada de energia eólica modelo EEE (Equipamento de Energia Eólica) fabricada pela Edibon. O método envolve a realização de testes experimentais com uma turbina de 3 pás e diâmetro de 0,5 m. Nesse contexto, a metodologia abrange a fase de preparação experimental, que envolve a definição dos parâmetros da turbina e a coleta de dados. Em seguida, é realizada uma análise teórica das grandezas medidas, com o objetivo de levantar as curvas de coeficiente de potência em função da razão de ponta de pá. No entanto, para que os resultados se aproximem do desempenho real, é essencial aplicar um método de correção do efeito de bloqueio. Dessa forma, as curvas obtidas apresentam o desempenho da turbina. Sendo assim, evidencia-se a relevância desse trabalho visto que, na atual transição energética, a geração eólica de pequeno porte pode ser um complemento eficaz e muito significativo, sendo vital desenvolver equipamentos cada vez mais eficientes e capazes. Por fim, os resultados obtidos foram coerentes, dado que respeitaram o limite de Betz, evidenciando que a metodologia fornece um método confiável e acessível, fornecendo dados valiosos para o aprimoramento de tecnologias eólicas.

**Palavras-chave:** Desempenho; Coeficiente de Potência; Razão de ponta de pá; Efeito de bloqueio.

## Abstract

This study describes the development of a methodology to evaluate the performance of small horizontal-axis wind turbines, using the WEE (Wind Energy Equipment) model wind energy test bench manufactured by Edibon. The method involves conducting experimental tests with a 3-blade turbine with a diameter of 0.5 m. In this context, the methodology includes the experimental preparation phase, which involves defining the turbine parameters and collecting data. Subsequently, a theoretical analysis of the measured quantities is carried out, aiming to obtain power coefficient curves as a function of the tip speed ratio. However, to ensure the results approximate real-world performance, it is essential to apply a blockage effect correction method. In this way, the obtained curves reflect the turbine's performance. Therefore, the relevance of this work is highlighted, as small-scale wind generation can be an effective and significant complement in the current energy transition, making it crucial to develop increasingly efficient and capable equipment. Finally, the results obtained were consistent, as they respected the Betz limit, demonstrating that the methodology provides a reliable and accessible method, offering valuable data for the improvement of wind technologies.

**Keywords:** Performance; Power Coefficient; Tip Speed Ratio; Blockage Effect.

## 1. Introdução

A atual transição energética é um movimento global em direção a fontes de energia mais sustentáveis e renováveis, com o objetivo de reduzir a dependência

de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas. Nesse cenário, a energia eólica é essencial. Sendo uma fonte limpa e abundante, ela tem se expandido rapidamente em diversas regiões do mundo, com grande destaque para o Brasil.

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), a expectativa é que até 2024 o Brasil tenha pelo menos 30 GW de capacidade eólica instalada, considerando apenas os leilões já realizados e os contratos assinados [1]. Esse crescimento pode ser visualizado na Figura 1.



Figura 1. Evolução da Capacidade Instalada em MW de 2005 a 2024. Fonte: ANEEL 2024.

Nesse cenário, a microgeração pode servir como um complemento crucial. Ela permite a produção de energia em pequena escala, geralmente para uso local ou residencial, o que diversifica a matriz energética e fortalece a rede elétrica. Com isso, evidencia-se a necessidade de desenvolver equipamentos cada vez mais eficientes e capazes, de modo a atender as novas demandas.

No aprimoramento das pás para a geração eólica, têm sido investido muito esforço. Métodos como a teoria dos elementos de pá, a teoria das superfícies de sustentação e a dinâmica dos fluidos computacional são amplamente empregados para prever o desempenho aerodinâmico dos rotores. No entanto, se o fluxo ao redor do rotor é muito complexo para ser previsto com precisão por métodos analíticos convencionais, frequentemente é necessário realizar experimentos em túnel de vento. Esses testes, realizados na fase de desenvolvimento, são cruciais para validar e corrigir os resultados. Embora representem uma fração pequena do custo total do desenvolvimento, os testes em túnel de vento são uma ferramenta valiosa para garantir a eficácia do produto em desenvolvimento [2].

Contudo, um dos desafios ao usar túneis de vento para esse propósito é a correção do efeito de bloqueio, que se refere à interação entre o fluxo ao redor de um corpo e as barreiras próximas em condições de fluxo restrito, a qual pode interferir significativamente nos resultados. Os efeitos de bloqueio, de acordo com o estudo de Pope e Harper (1966), geralmente se manifestam, no caso das turbinas, como um aumento tanto na potência quanto nas forças de empuxo em comparação com as condições de fluxo aberto [3]. Deste modo, segundo Cockrell (1980), para mitigar esses efeitos, o índice de bloqueio ( $\alpha$ ), que é a razão entre a área varrida pela

turbina e a área da seção de testes do túnel, geralmente é limitado a 5% [4].

No trabalho de Ryi e Rhee (2015), foi utilizado um método de correção do efeito de bloqueio desenvolvido por Glauert (1933), um dos primeiros a se dedicar a essa linha de estudos. O experimento consistiu em levantar as curvas de coeficiente de potência,  $C_p$ , que representa a porcentagem de energia que máquina de fluxo retira do escoamento, por razão de ponta de pá,  $\lambda$ , parâmetro adimensional de interesse para turbinas eólicas, para três túneis de vento com dimensões distintas. A Figura 2 mostra um esquema das medidas das três seções de testes, com os respectivos nomes das instituições detentoras dos túneis de vento, e a representação da área varrida pelas pás da turbina.

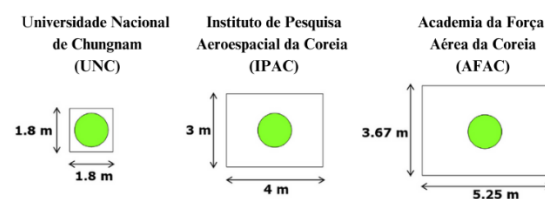
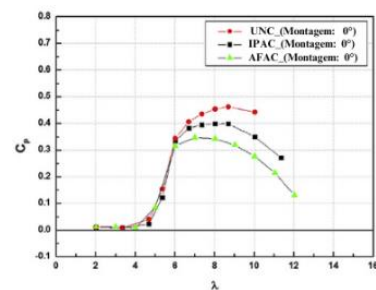
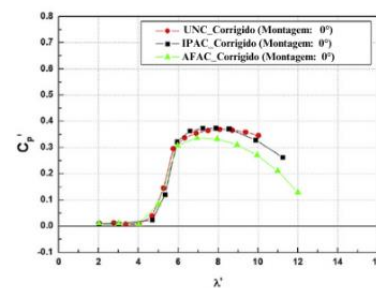


Figura 2. Área varrida pelas pás da turbina (em verde) em três diferentes túneis de vento com as medidas geométricas da seção de testes. Fonte: Adaptado de Ryi e Rhee (2015).



(a)



(b)

Figura 3. Desempenho da turbina, com 0° de inclinação das pás em relação ao rotor, medido em termos de  $C_p$  e  $\lambda$ : (a) Antes da correção; (b) Após a correção. Fonte: Adaptado de Ryi e Rhee (2015).

Observa-se que, quanto maior o índice de blocagem,  $\alpha$ , ou seja, quanto menor for a área da seção de testes do túnel em relação à área varrida pela turbina, maior a influência nos resultados obtidos, como observado por Pope e Harper (1966). Ademais, os resultados indicam que o método de correção é eficaz em compensar o efeito de bloqueio, demonstrando a importância de ajustar os dados experimentais para se obter mais precisamente o desempenho real da turbina.

Os trabalhos de Ryi e Rhee (2015) e de Arcos et al. (2020) foram essenciais na elaboração da presente metodologia. O método de correção derivado do trabalho de Glauert (1933), abordado por esses autores, foi selecionado para ajustar a potência de saída e a razão de ponta da pá,  $\lambda$ , devido à sua facilidade de aplicação, como será melhor explicado adiante.

## 2. Metodologia

A metodologia foi dividida em três seções. A primeira se dedica na apresentação do equipamento de energia eólica e demais aparelhos utilizados no experimento, a segunda discorre sobre o equacionamento básico para análise dos dados e a terceira apresenta o método de correção do efeito de blocagem.

### 2.1. Equipamento de energia eólica (EEE) Edibon

Os ensaios foram realizados utilizando a unidade de energia eólica da fabricante Edibon, conforme mostrado na Figura 4. Originalmente com uma seção transversal octogonal, esta unidade foi modificada para uma forma circular, conforme exibido na Fig. 7, resultando em um diâmetro de 0,55 m. A turbina tem uma área varrida equivalente à área circular definida pela trajetória do ponto mais externo de suas pás, com um diâmetro de 0,5 m (no caso de turbinas de eixo horizontal). O ventilador axial do túnel de vento possui uma potência elétrica de 1,5 kW e pode alcançar uma vazão volumétrica máxima de 2,96 m<sup>3</sup>/s, de acordo com o manual do fabricante.

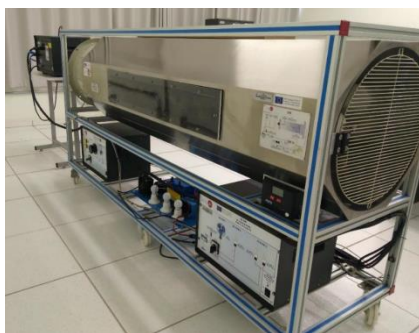


Figura 4. Exterior da Bancada de testes Edibon. Fonte: Duque (2023).

Na bancada encontra-se a aquisição de dados, mostrado na Figura 5, na qual é feito o controle da rotação do ventilador axial através de um potenciômetro, sendo definidas 5 posições diferentes, gerando 5 velocidades distintas para o escoamento. Ademais, um módulo de corrente contínua, como mostra a Figura 6, possibilita que, colocando o seletor de carga na posição 2, se conecte a turbina a um reostato no qual pode ser feita a mudança da resistência total do circuito, variação essa responsável pelo controle de rotação da turbina. Foram definidos 13 pontos diferentes no reostato, gerando 13 velocidades de rotação distintas.



Figura 5. Aquisição de dados da bancada. Fonte: Autoria própria.



Figura 6. Módulo de corrente contínua. Fonte: Autoria própria.



Figura 7. Turbina na configuração de 3 pás montadas em seu rotor, instalada dentro da bancada. Fonte: Autoria própria.

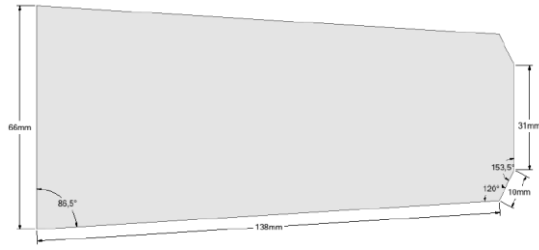


Figura 8. Modelo representativo da pá padrão da bancada eólica. Fonte: Fonseca (2022).

Dentro do túnel de vento, a turbina pode ser fixada sendo possível prender de 2 a 6 pás, em diferentes ângulos de montagem,  $\beta$ , como mostrado na Fig. 10. A medição da tensão,  $V$ , e da corrente contínua,  $I$ , foi realizada usando dois multímetros digitais, modelos POL-41 Politerm e M890C+ Instrutemp, conectados logo após a retificação, pois o gerador da turbina é trifásico. Durante os experimentos, utilizou-se a pá padrão da turbina, conforme mostrado na Figura 8, um modelo representativo dessa pá, e uma configuração de montagem com três pás, conforme mostrado na Figura 7. Para o estudo do perfil de velocidades, utilizou-se um anemômetro de fio quente REED AM-4204, e para a medição da rotação da turbina, foi utilizado um tacômetro a laser KR98. O software utilizado para o processamento foi o Excel® e o Grapher para a plotagem dos gráficos.

## 2.2. Procedimento experimental

Primeiramente, define-se o ângulo de montagem,  $\beta$ , e o ângulo de guinada,  $\gamma$ . Para o presente estudo, foram utilizados  $\beta = 0^\circ$  e  $\gamma = 0^\circ$ .

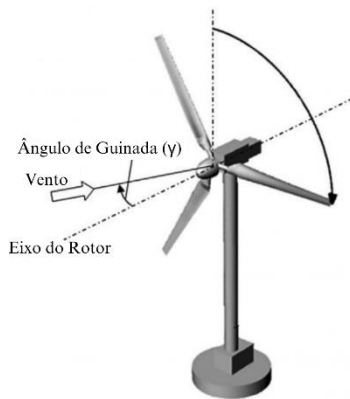


Figura 9. Ângulo de guinada ( $\gamma$ ). Fonte: Adaptado de Global Info Research (2020).

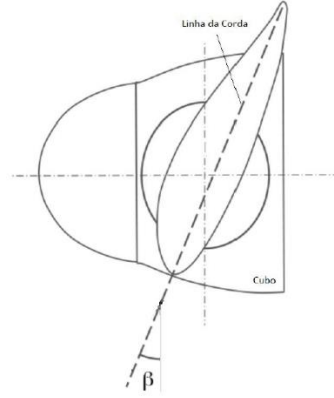


Figura 10. Ângulo de montagem ( $\beta$ ). Fonte: Adaptado de Elosegui et al. (2018).

O vento transporta consigo uma energia e, por conseguinte, uma potência associada. Essa potência disponível no vento, é calculada de acordo com a Equação (1).

$$P_{DISP} = \frac{1}{2} \rho A \bar{v}^3 \quad (1)$$

Onde  $P_{DISP}$  é a potência disponível no vento,  $\rho$  é a massa específica do fluido,  $A$  é a área varrida pelo rotor e  $\bar{v}$  é a velocidade média do escoamento.

A voltagem,  $V$ , e a corrente elétrica,  $I$ , variam conforme a carga do reostato é progressivamente aumentada de seu nível mínimo até o máximo. Assim, a potência elétrica, foi calculada de acordo com a Equação (2).

$$P_{EL} = V \cdot I \quad (2)$$

Onde  $P_{EL}$  é a potência elétrica,  $V$  é a tensão contínua e  $I$  é a corrente contínua.

A potência que a máquina de fluxo extrai do escoamento, em uma máquina motora, ou entrega ao escoamento em uma máquina geradora, como em uma bomba hidráulica, é chamada de potência de eixo. O cálculo dessa grandeza é feito de acordo com a Equação (3).

$$P_e = \omega \cdot T \quad (3)$$

Onde  $P_e$  é a potência de eixo,  $\omega$  é a velocidade angular do rotor e  $T$  é o torque imposto ao eixo.

A porcentagem de energia que a MF (Máquina de Fluxo) consegue retirar do escoamento é descrito pelo coeficiente de potência, correlacionado de forma teórica na Equação (4).

$$C_P = \frac{P_e}{P_{DISP}} \quad (4)$$



Onde  $C_P$  é o coeficiente de potência,  $P_e$  é a potência de eixo e  $P_{DISP}$  é a potência disponível pelo vento. Devido não ser possível realizar a medida de torque,  $T$ , na configuração atual da turbina, será usado no lugar da potência de eixo,  $P_e$ , a potência elétrica,  $P_{EL}$ .

A área varrida pelo rotor é dada pela Equação (5).

$$A = \pi R^2 \quad (5)$$

Onde  $A$  é a área varrida pelo rotor e  $R$  é o raio do rotor.

A razão de ponta de pá é calculada pela Equação (6).

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{\bar{v}} \quad (6)$$

Onde  $\lambda$  é a razão de ponta de pá,  $\omega$  é a velocidade angular do rotor,  $R$  é o raio do rotor e  $\bar{v}$  é a velocidade média do escoamento que incide na turbina.

O perfil de velocidade dentro da seção de testes da bancada foi obtido ao medir a velocidade do vento,  $v$ , em 10 locais diferentes através da seção transversal, como mostrado na Figura 6, a uma distância de 0,3 m antes do rotor da turbina.

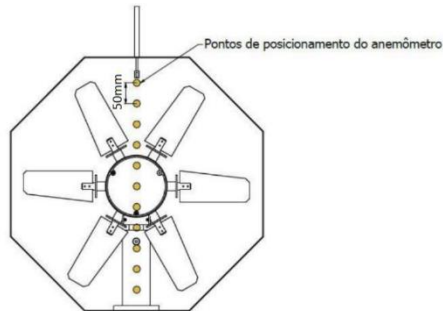


Figura 11. Posicionamento do anemômetro para levantamento do perfil de velocidade do escoamento. Adaptado de Fonseca (2022).

Utilizando esses 10 pontos, foi possível criar um polinômio de sexto grau por interpolação, o qual representa matematicamente o perfil de velocidade. A velocidade média do vento,  $\bar{v}$ , foi calculada utilizando o teorema do valor médio, mostrado na Equação (7).

$$\bar{v}(c - b) = \int_b^c f(x) dx \quad (7)$$

Onde  $\bar{v}$  representa o valor médio calculado, enquanto  $b$  e  $c$  indicam os limites de integração, e  $f(x)$  é a função que descreve o parâmetro físico cujo valor médio entre dois pontos está sendo calculado.

### 2.3. Correção do efeito de bloqueio

A correção do efeito de bloqueio proposta por Glauert em 1933, originalmente voltada para hélices de aeronaves, leva em conta uma velocidade equivalente do fluxo livre que gera a mesma força axial no rotor. Nesse sentido, pode-se utilizar o modelo de disco atuador para turbinas eólicas de eixo horizontal, idealizando o rotor da turbina em um disco incompressível que extrai energia do vento. Segundo a teoria do momento axial e a teoria de Rankine e Froude, o coeficiente de potência pode ser definido pela Equação (8).

$$C_P = 4a(1 - a)^2 \quad (8)$$

Onde  $C_P$  é o coeficiente de potência e  $a$  é o fator de indução axial, parâmetro que considera a influencia da turbina no vento. Ademais, o coeficiente de força axial, que é a relação entre a força axial, ou tração, em relação à densidade do fluido, à área de referência e à velocidade do escoamento, é calculado pela Equação (9).

$$C_T = 4a(1 - a) \quad (9)$$

Onde  $C_T$  é o coeficiente de força axial e  $a$  é o fator de indução axial.

O índice de bloqueio é calculado pela Equação (10).

$$\alpha = \frac{A}{A'} \quad (10)$$

Onde  $\alpha$  é o índice de bloqueio,  $A$  é a área varrida pelo rotor e  $A'$  é a área da seção de testes.

Utilizando a expressão simplificada apresentada em Arcos et al. (2020), a relação entre a velocidade equivalente do fluxo livre e a velocidade do escoamento não perturbado, é calculado pela Equação (11).

$$\frac{U_T}{U_F} = \left( 1 + \frac{\alpha \cdot C_T}{4\sqrt{1 - C_T}} \right)^{-1} \quad (11)$$

Onde  $U_F$  é a velocidade equivalente do fluxo livre,  $U_T$  é a velocidade do escoamento não perturbado,  $\alpha$  é o índice de bloqueio e  $C_T$  é o coeficiente de força axial.

Com isso, o coeficiente de potência,  $C_P$ , e a razão de ponta de pá,  $\lambda$ , corrigidos, podem ser calculados através das Equações (12) e (13).

$$C'_P = C_P \left( \frac{1}{(U_F/U_T)} \right)^3 \quad (12)$$

$$\lambda' = \lambda \left( \frac{1}{(U_F/U_T)} \right) \quad (13)$$

Onde  $C_p'$  e  $\lambda'$  são, respectivamente, o coeficiente de potência e a razão de ponta de pá corrigidos.

Dessa forma, o procedimento para correção do efeito de bloqueio pode ser definido da seguinte forma:

- Com o coeficiente de potência medido experimentalmente, define-se o fator de indução axial  $a$ , através da Eq. (8);
- Estima-se o coeficiente de força axial  $C_T$  através da Eq. (9);
- Calcula-se a razão entre a velocidade do escoamento não perturbado e a velocidade equivalente do fluxo livre através da Eq. (11);
- Calcula-se os coeficientes de potência e razão de ponta de pá corrigidos através de Eq. (12) e Eq. (13).

### 3. Resultados

A Figura 12 apresenta as medições feitas com o anemômetro de fio quente, para 5 rotações distintas do ventilador axial. Observa-se na Figura 11 as posições de coleta dos dados. Com isso foi possível encontrar 5 funções distintas para o cálculo da velocidade média do vento,  $\bar{v}$ , através da Eq. (7). Observa-se que o perfil de velocidade difere consideravelmente do esperado, com valores significativamente mais altos nas bordas e mais baixos no centro. Devido ao comprimento limitado da bancada, o escoamento não atinge o desenvolvimento completo do perfil de velocidades. Além disso, a rotação do ventilador axial influencia o fluxo de ar, resultando em velocidades mais altas diretamente à frente das pás do ventilador, o que contribui para um aumento na energia do escoamento. Em contraste, as velocidades mais baixas no centro estão localizadas em frente ao cubo do ventilador axial.

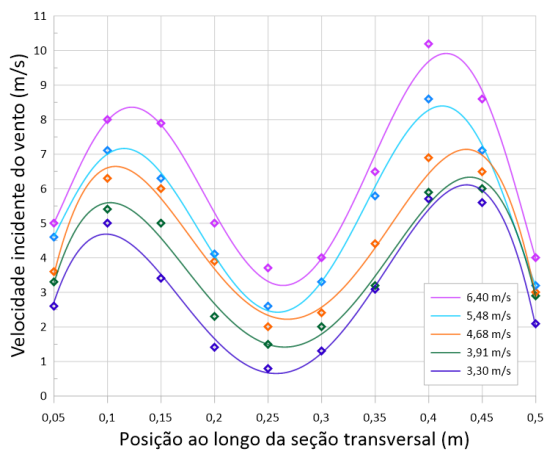


Figura 12. Perfil de velocidade do escoamento com a turbina dentro do túnel de vento em 5 velocidades do vento diferentes.

A figura 13, apresenta os valores de coeficiente de potência,  $C_p$ , e razão de ponta de pá,  $\lambda$ ,

antes da correção. Observa-se que o comportamento das curvas encontradas está de acordo com a teoria, onde o coeficiente de potência da turbina aumenta com a razão de ponta de pá, alcançando um ponto de máximo e depois decaindo. Conhecer o ponto de máximo da curva de uma determinada turbina é de vital importância para que se saiba a faixa de trabalho ideal, onde a turbina funciona com maior eficiência. Contudo, observa-se que os valores encontrados estão elevados, isso ocorre principalmente pelo efeito de bloqueio, que deve ser corrigido para que as curvas se aproximem do rendimento real. Além disso, o escoamento gerado pelo ventilador axial é composto por componentes de velocidade axiais, radiais e rotacionais, sendo somente as componentes axiais levadas em conta no cálculo da potência disponível no escoamento,  $P_{DISP}$ , logo nem toda energia é contabilizada, favorecendo o aumento do coeficiente de potência.

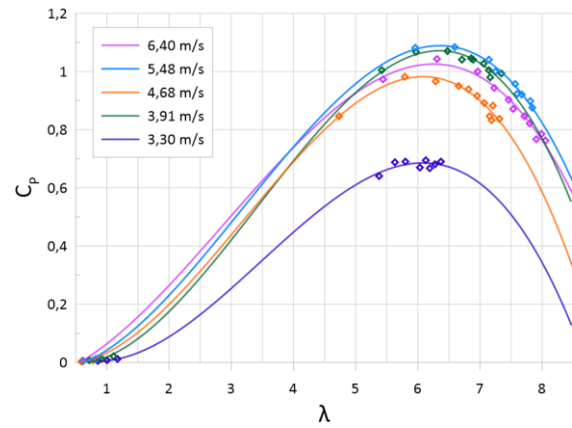


Figura 13. Coeficiente de potência por Razão de ponta de pá antes da correção, para 5 velocidades médias de incidência do vento.

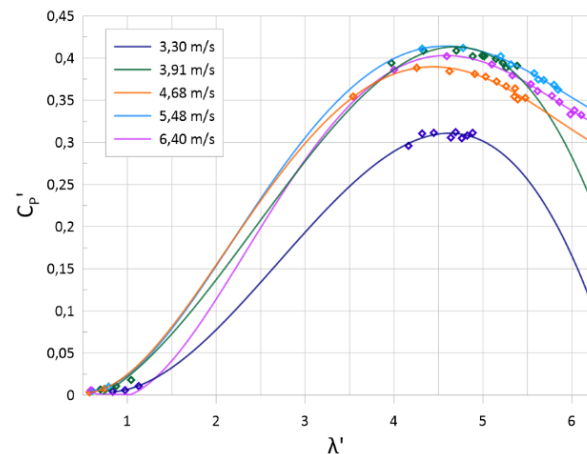


Figura 14. Coeficiente de potência por Razão de ponta de pá depois da correção, para 5 velocidades médias de incidência do vento.

De acordo com Albert Betz, físico alemão pioneiro no estudo de aerogeradores, a quantidade máxima de energia que uma turbina de eixo horizontal com infinitas pás pode extrair, é de 59,3% da energia disponível no escoamento. Desse modo, o máximo valor que uma curva poderia atingir é de 0,593, conhecido com limite de Betz. A Figura 14 apresenta os valores já corrigidos pelo método de Glauert. Observa-se uma redução significativa nos dois parâmetros, com todas as curvas abaixo do limite de Betz. Isso indica um bom resultado na correção dos valores, mostrando que a correção é eficaz. Ademais, verifica-se que os valores máximos de Razão de ponta de pá e coeficiente de potência são próximos entre todas as curvas, com exceção da curva com a menor velocidade, o que já era esperado visto que não há grandes variações entre as velocidades médias. A figura 15 mostra uma comparação entre os valores antes e depois da correção. Observa-se que após a correção o valor de  $C_p$  máximo passou de aproximadamente 1,0 para 0,4, juntamente com uma  $\lambda$  máxima de 6,0 para 4,5. Isso evidencia a importância da correção do efeito de bloqueio.

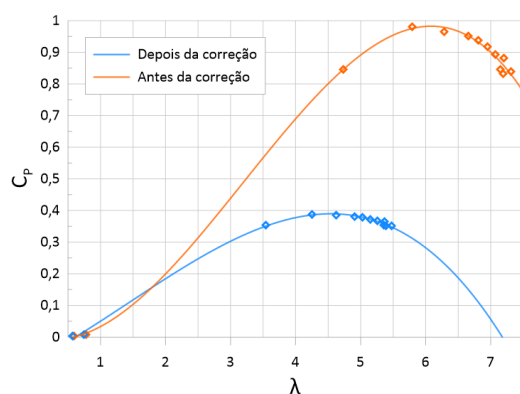


Figura 15. Comparação do coeficiente de potência,  $C_p$ , por Razão de ponta de pá,  $\lambda$ , antes e depois da correção com  $\bar{v} = 4,68$  m/s.

Dessa forma, pode-se definir que, para a turbina utilizada no experimento nas condições estabelecidas, entre velocidades médias de vento de 3,3 m/s a 6,4 m/s, ela terá seu maior rendimento em uma razão de ponta de pá próxima de 4,5, regime de trabalho que fornecerá o maior coeficiente de potência.

#### 4. Conclusões

Observa-se, portanto, que a metodologia desenvolvida para análise do desempenho de turbinas eólicas de pequeno porte, utilizando uma bancada de testes da fabricante Edibon, apresentou resultados satisfatórios, com valores abaixo do limite de Betz, cumprindo o objetivo desse estudo. Entretanto, vale ressaltar que a melhoria contante da coleta e análise dos dados é de vital importância visto que influenciam nos

resultados. Em primeira análise, destaca-se que no cálculo do coeficiente de potência, deve-se utilizar a potência de eixo, o que não foi possível devido a configuração atual da turbina. No entanto, sensores estão sendo instalados de modo a possibilitar essa medida, o que fornecerá melhor precisão nos resultados. Ademais, o escoamento gerado pela rotação do ventilador axial tem componentes de velocidades que não estão sendo contabilizadas no cálculo de potência disponível no escoamento, gerando um acréscimo significativo nos resultados, evidenciando a necessidade de redefinir o método de análise dessa grandeza. Por fim, o método de Glauert não foi validado para um índice de bloqueio tão alto quanto o do presente estudo, mostrando a necessidade de mais testes de modo a confirmar a sua eficácia para casos parecidos a esse. Conclui-se, portanto, que o presente estudo representa um significativo avanço no desenvolvimento de equipamentos eólicos, mas evidencia-se a importância de melhorias contínuas para se ter resultados cada vez mais satisfatórios.

#### 4.1. Agradecimentos

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), processo APQ-00653-22, edital 001/2022, referente ao projeto: “Análise Numérica e Experimental de Microgeradores Eólicos para Aplicações em Regiões Remotas no Brasil”, com registro na DPI UNIFEI número PVDI297-2022, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de nossa pesquisa. Agradecemos também à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e intelectual. E por fim, agradecemos também ao grupo TIES e ao grupo FDT - UNIFEI, pelo incentivo à pesquisa.

#### 5. Referências

- [1] ABEEólica - Associação Brasileira de Energia Eólica. (2024). Recuperado de <https://abeeolica.org.br/>
- [2] Ryi, J., Rhee, W., Chang Hwang, U., Choi, J., 2015. Blockage effect correction for a scaled wind turbine rotor by using wind tunnel test data. *Renew. Energy* 79, 227–235.
- [3] Pope, A., Harper, J.J., 1966. *Low Speed Wind Tunnel Testing*. John Wiley & Sons, New York.
- [4] Cockrell, D.J., 1980. Blockage Corrections for bluff Bodies in Confined Flows. ESDU80024.
- [5] Glauert H. Wind tunnel interference on wings. *Bodies Airscrews*; 1933. R M. No. 1566.

[6] Zilic de Arcos, F., Tampier, G. & Vogel, C.R. Numerical analysis of blockage correction methods for tidal turbines. *J. Ocean Eng. Mar. Energy* 6, 183–197 (2020).

[7] Duque, P. E.. (2023). Metodologia para a determinação do desempenho aerodinâmico de turbinas eólicas de eixo horizontal de pequeno porte em uma bancada eólica modelo EEE (EDIBON). 2023 <UNIFEI>

[8] FONSECA, F. de P. O. “Projeto de Instrumentação da Bancada de Ensaios Aerodinâmicos e Elaboração de Procedimentos Experimentais para Testes de Aerogeradores”. 2022 <UNIFEI>.

[9] Rabanal, A., Ulazia, A., Ibarra-Berastegi, G., Sáenz, J., & Elosegui, U. (2018). MIDAS: A benchmarking multi-criteria method for the identification of defective anemometers in wind farms. *Energies*, 12(1), 28.

[10] Betz A (1920) Das maximum der theoretisch möglichen ausnützung des windes durch windmotoren. *Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen* 20.