

GEÍSA AIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
JAIRE EDERSON PASSOS

ORGANIZADORES



Design pesem qui sa.

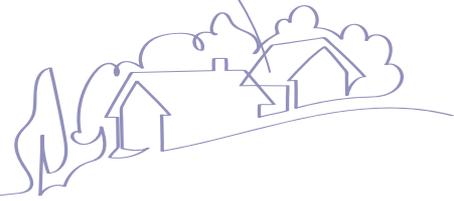
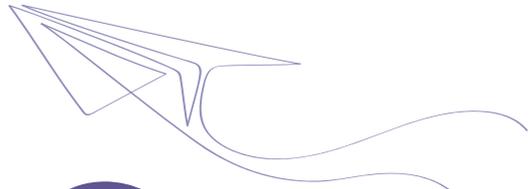


vol. 6



GEÍSA AIGER DE OLIVEIRA
GUSTAVO JAVIER ZANI NÚÑEZ
JAIRE EDERSON PASSOS

ORGANIZADORES



Design pesem qui sa.



vol. 6



D457 Design em pesquisa : volume 6 [recurso eletrônico] / organizadores Geísa Aiger de Oliveira, Gustavo Javier Zani Núñez [e] Jaire Ederson Passos. – Porto Alegre: Marcavisual, 2024.
247 p. : il. ; digital

ISBN 978-65-89263-84-5

1. Design. 2. Design de produto. 3. Sustentabilidade. 4. Inovação. 5. Design de serviços. 6. Gestão do design. 7. Tecnologia. I. Oliveira, Geísa Aiger de. II. Núñez, Gustavo Javier Zani. III. Passos, Jaire Ederson.

CDU 745.6

CIP-Brasil. Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
(Jaqueline Trombin – Bibliotecária responsável CRB10/979)

CAPÍTULO 14

Design de difusor compacto-flangeado para turbina eólica de pequena escala

Fernando Silveira Ximenes, Luis Henrique Alves Cândido

Resumo

Este capítulo relata o design de difusores aerodinâmicos para turbinas eólicas de pequena escala a partir de uma abordagem projetual desenhística/geométrica utilizando um dos 12 *Orthogons* (retângulos harmônicos) de Wersin. O difusor tem a finalidade de acelerar o fluxo de ar passante pela turbina, por meio do efeito das zonas de baixa pressão. A intensidade das zonas de baixa pressão depende da geometria do difusor. Foram projetadas diferentes geometrias e analisadas as áreas de pressão produzidas empregando-se a simulação computacional e testes em túnel de vento. Os parâmetros de projeto, aplicados em quatro modelos de difusores, foram o perfil aerodinâmico e a velocidade de partida (velocidade de vento mínima para rotacionar). Os experimentos demonstraram que, por meio da utilização de difusores, foi possível reduzir a velocidade de partida em 63% e aumentar as rotações por minuto (RPM) em 40%, em comparação com a mesma turbina eólica sem o difusor.

1. Introdução

Quando se discutem questões sobre energia eólica, o foco e o pensamento são muitas vezes direcionados para projetos de grande escala, como a instalação de extensos parques eólicos *onshore* (em terra) e *offshore* (no mar) com turbinas de grande porte. Parques eólicos com turbinas de grande porte podem causar efeitos climáticos localizados nos lugares onde são instalados, afetando os microclimas ao alterar as propriedades próximas à superfície, especialmente a elevação de temperatura devido às interações turbina-atmosfera, a velocidade do vento, os níveis de CO₂ e os fluxos de umidade (Wang; Prinn, 2010; Fiedler; Bukovsky, 2011; Rajewski *et al.*, 2014; Miller; Keith, 2018, 2019; Wu, 2021). A crescente demanda por energia exigirá um mix energético diversificado, equilibrado e integrando várias fontes de energia renovável, pois

uma única fonte de energia não conseguirá atender a todas as necessidades de energia elétrica (Miller; Keith, 2019).

Para Tummala *et al.* (2016), as turbinas eólicas de pequeno porte se mostram uma alternativa sustentável de geração de energia, capaz de atender às necessidades domésticas de energia sem afetar significativamente as condições climáticas como os aerogeradores de grande porte em extensos parques eólicos. Porém, alguns desafios tecnológicos permanecem abertos no desenvolvimento de turbinas eólicas de pequena escala. Um desses desafios é o desenvolvimento de sistemas que produzam uma maior potência e flexibilidade aerodinâmica, mesmo em áreas onde a velocidade do vento é baixa e suscetível a turbulências (Kannan *et al.*, 2013). Outro desafio é iniciar o sistema de rotor em baixas velocidades, pois ele depende do torque aerodinâmico produzido pelo vento que atua sobre as pás.

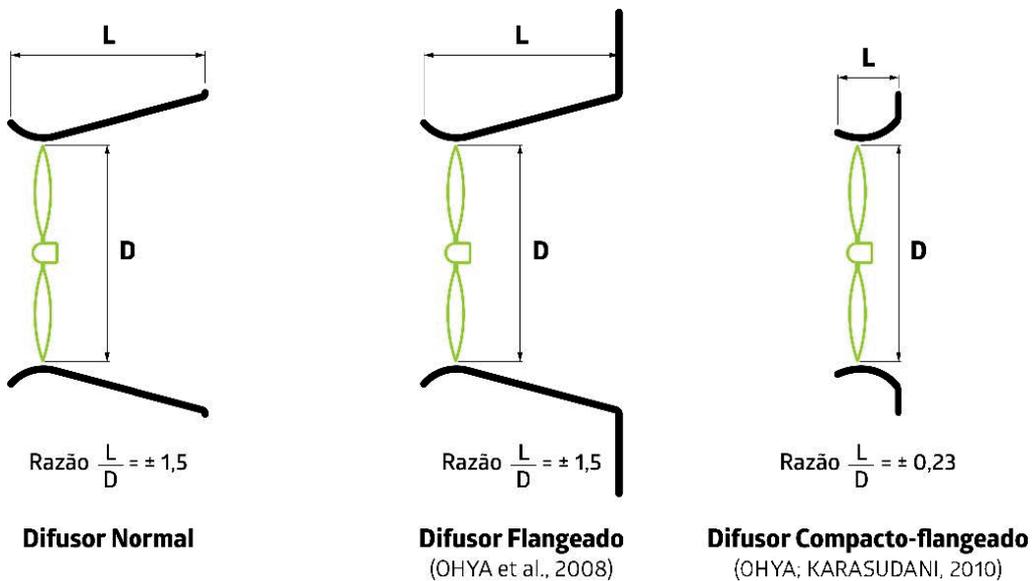
A potência do vento é proporcional ao cubo de sua velocidade e uma pequena elevação na velocidade proporcionará um grande aumento da geração de energia (Ohya *et al.*, 2002, 2004, 2008; Ohya; Karasudani, 2010). Um caminho para diminuir a inércia rotacional em baixas velocidades de vento e, conseqüentemente, melhorar a eficiência da geração de energia pela turbina eólica é explorar essa relação. Segundo Kannan *et al.* (2013), um dos conceitos mais promissores no campo da energia eólica é o desenvolvimento de sistemas de aumento de energia eólica, utilizando um duto ou difusor em volta do rotor para aumentar a geração de energia. Este conceito foi explorado por alguns pesquisadores (Foreman *et al.*, 1978; Igra, 1977, 1981; Gilbert; Foreman, 1983; Abe; Ohya, 2004; Abe *et al.*, 2005; Matsushima *et al.*, 2006; Ohya *et al.*, 2002, 2004, 2008; Ohya; Karasudani, 2010; Takahashi *et al.*, 2012) e a tecnologia resultante ficou conhecida como *diffuser augmented wind turbine* (DAWT).

Um difusor do tipo DAWT funciona acelerando a velocidade do vento que se aproxima da turbina eólica, controlando a expansão do fluxo de ar passante, numa relação convergente (entrada) e divergente (saída). A taxa de fluxo de massa de ar que passa através da turbina é aumentada em virtude da pressão subatmosférica significativa no plano de saída do difusor, devido à expansão controlada do fluxo de massas de ar (Foreman *et al.*, 1978; Igra, 1981; Abe *et al.*, 2005; Ohya *et al.*, 2002, 2004, 2008; Ohya; Karasudani, 2010).

Estudos conduzidos por Ohya *et al.* (2002, 2004, 2008) desenvolveram o conceito de difusor flangeado (abas). O design incorpora um flange ou aba na borda de saída do difusor, o que cria uma região de pressão muito baixa devido

à forte formação de vórtices, o sistema atrai mais fluxo de massa para a turbina (Ohya *et al.*, 2002; 2008), proporcionando um fator de aumento de potência de cerca de 4-5 vezes em comparação com turbinas eólicas sem difusor e com mesmo diâmetro de rotor e velocidade do vento (Ohya *et al.*, 2008). Estudos posteriores (Ohya; Karasudani, 2010) evoluíram o conceito de difusor flangeado e desenvolveram um difusor flangeado modificado de tamanho compacto, denominado *compact-type brimmed diffuser* ou *Wind-Lens Technology*. A figura 1 mostra o formato e a razão entre o comprimento (L) e o diâmetro do rotor (D) dos difusores abordados neste estudo.

Figura 1 – Formato dos difusores e a razão entre comprimento (L) e o diâmetro do rotor (D).



Fonte: Adaptado de Ximenes (2018).

As características geométricas do difusor são um dos principais fatores que influenciam no bom funcionamento aerodinâmico de uma turbina do tipo DAWT (Ohya *et al.* 2008; Ohya; Karasudani, 2010; Kosasih; Tondelli, 2012; Naji & Jabbar, 2024). Neste estudo, será apresentada uma abordagem projetual desenhística/geométrica destinada ao projeto de um difusor aerodinâmico do tipo compacto para turbinas eólicas de pequena escala (TEPE). A abordagem proposta utilizará um dos 12 *Orthogons* (retângulos harmônicos) de Wersin (1956). O difusor compacto-flangeado (*wind-lens*) desenvolvido por Ohya e Karasudani (2010) foi utilizado como referência geométrica. Diferentes perfis geométricos foram projetados para analisar as áreas de baixa pressão produzidas por estas geometrias

e usou-se a simulação computacional rápida e testes experimentais em túnel de vento. Os parâmetros de projeto a serem otimizados foram as rotações por minuto (RPM) e a velocidade de partida (velocidade de vento mínima para a turbina vencer o atrito das engrenagens e começar a rotacionar). Experimentos em túnel de vento foram realizados com uma turbina eólica de pequena escala para caracterizar o desempenho geral (turbina eólica + difusor). Foram observadas nesses experimentos uma velocidade de partida abaixo de 1,0 m/s e aumento das RPM acima dos 40%, se comparadas com uma turbina eólica nua (sem difusor).

2. Procedimentos metodológicos

Para este estudo foi selecionado o *compact-type brimmed diffuser* ou *Wind-Lens*, desenvolvido por Ohya e Karasudani (2010) como referência para desenvolver os perfis geométricos para difusores compactos utilizados neste estudo.

2.1 Difusor: design e construção

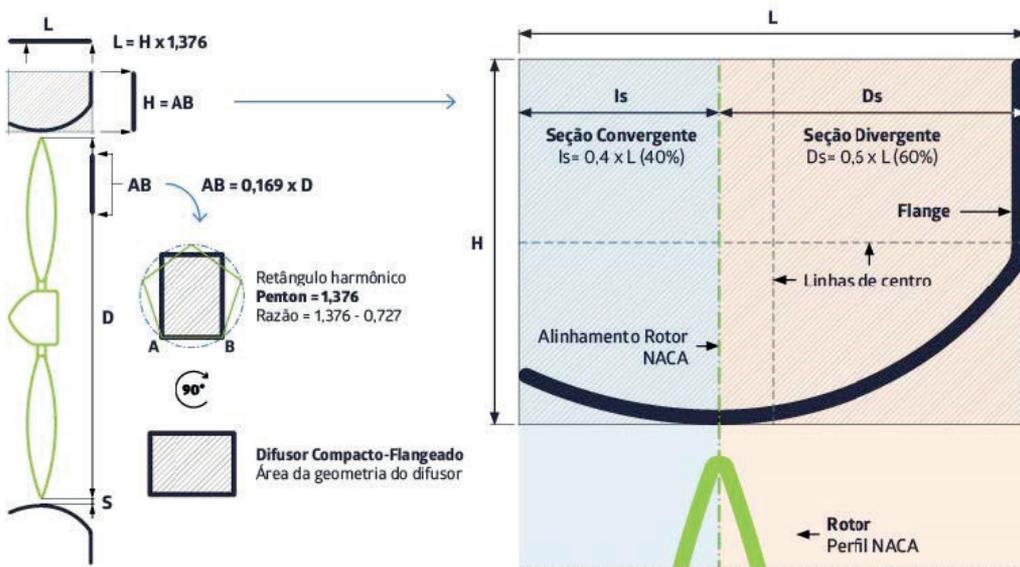
Os difusores *Wind-Lens* desenvolvidos por Ohya e Karasudani (2010) não possuem uma área de construção padronizada o suficiente, dificultando a reprodução e a escalabilidade. A curvatura do difusor *Wind-Lens* é construída matematicamente a partir de uma curva cicloide, mas os cálculos de construção não estão claros ou definidos nos estudos apresentados pelos autores. Propõe-se uma padronização construtiva baseada nos parâmetros e dimensões encontrados nas pesquisas de Ohya e Karasudani (2010) e Takahashi *et al.* (2012).

Uma área construtiva padronizada foi estabelecida para guiar o design dos perfis geométricos dos difusores. Esta área construtiva é baseada nos parâmetros e dimensões do difusor *Wind-Lens* de referência. A área construtiva é padronizada a partir do retângulo harmônico Penton, um dos 12 *Orthogons* de Wersin (1956). Sua relação com as dimensões L (comprimento) e H (altura) da área construtiva é de 1,376. Estas dimensões estabelecidas são próximas às encontradas no difusor desenvolvido por Ohya e Karasudani (2010).

A área de construção é dividida em duas partes, a parte de entrada e concentração do vento (seção convergente), representando 40% da largura total do difusor (L) e a área de saída e difusão do vento (seção divergente), representando 60% de (L). A altura do flange (H) oscila em 10% do diâmetro do rotor (D). O rotor e as pás ficam alinhados entre as áreas de entrada e saída do difusor. O diâmetro do rotor (D) é a medida inicial para a construção do difusor. Neste estudo utilizamos um diâmetro de rotor de 142 mm. Essa

é a medida do rotor da turbina eólica de pequena escala utilizada nos experimentos em túnel de vento, então a partir desta medida se estabelecem os parâmetros de configuração dos difusores. As especificações completas e detalhadas da malha construtiva utilizada neste estudo podem ser encontradas nos apêndices do trabalho desenvolvido por Ximenes (2018). A Figura 2 mostra a configuração da área construtiva padrão para o design da geometria dos difusores considerados neste estudo.

Figura 2 – Parâmetros de configuração da área de construção da geometria.



Fonte: Ximenes (2018).

A Tabela 1 mostra os parâmetros de configuração da área construtiva dos difusores, os valores foram estipulados a partir da medida inicial D (diâmetro do rotor).

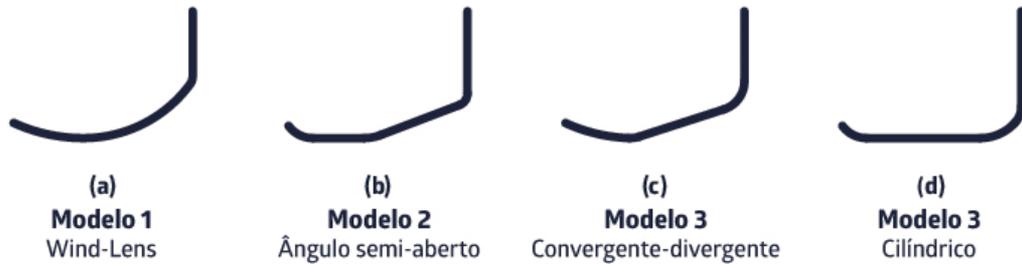
Tabela 1 – Parâmetros e valores de configuração para um difusor *Wind-Lens* de referência.

PARÂMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Diâmetro do rotor	D	142 mm
Diâmetro externo	Dt	194 mm
Comprimento da entrada	Is	13 mm
Comprimento do difusor	Ds	20 mm
Comprimento (Is + Ds)	L	33 mm
Altura do difusor	H	24 mm
Altura do flange	Hb	± 10% de D
Espaçamento da ponta de pá	S	2 mm

Fonte: Ximenes (2018).

Estabelecida a área de construção das geometrias dos difusores, projetaram-se três perfis geométricos diferentes a partir do modelo padrão (Modelo 1). A Figura 3 mostra as geometrias consideradas neste estudo.

Figura 3 – Geometrias de difusores desenvolvidas para este estudo.



Fonte: Adaptado de Ximenes (2018).

2.2 Simulações computacionais

Para este estudo foi escolhida a solução CFD Autodesk Flow Design para a simulação dos difusores. Foi escolhido um software computacional de mecânica dos fluídos otimizado para avaliação rápida do fluxo de ar em fases iniciais de projeto. O software CFD executa um solver (modelo de resolução) de fluxo transitório e incompressível que usa uma abordagem de método dos volumes finitos. A turbulência é resolvida pelo uso de um modelo LES (Smagorinsky Large Eddy Simulation) semelhante a outros softwares CFD. As simulações CFD com os difusores de diferentes geometrias têm como objetivo analisar as diferentes zonas de alta e baixa pressão produzidas pela geometria do difusor, como também verificar a intensidade dos vórtices produzidos pelo flange do difusor.

Como o difusor possui uma simetria radial, a simulação restringiu-se aos planos bidimensionais de pressão para mostrar a distribuição desta ao longo do fluxo. Isso foi útil para entender onde o vento incidente se aproxima do modelo (alta pressão) e onde ele acelera (baixa pressão). Os detalhes da simulação são os seguintes:

- a) Design: Modelagem tridimensionalmente em software paramétrico, considerando as dimensões da turbina eólica de pequena escala onde seriam acoplados para posteriores testes em túnel de vento físico. Arquivos em STL foram gerados para importação no software de simulação e posterior prototipagem 3D;
- b) Resolução da malha: Foram executadas simulações para obter dados de Pressão (Pa) com configuração de tamanho de malha (resolução) máxima disponibilizada pelo software (400);

- c) Velocidade do vento: A velocidade foi definida em 4 m/s;
- d) Dimensões utilizadas para o domínio da simulação numérica: Comprimento 8 vezes o diâmetro externo do difusor (D_t). Os comprimentos de entrada e de saída do difusor tem 2 e 6 vezes o diâmetro D_t , respectivamente.
- e) Dados para análise: Uma imagem da tela foi capturada após cinco minutos do início da simulação de cada difusor simulado.

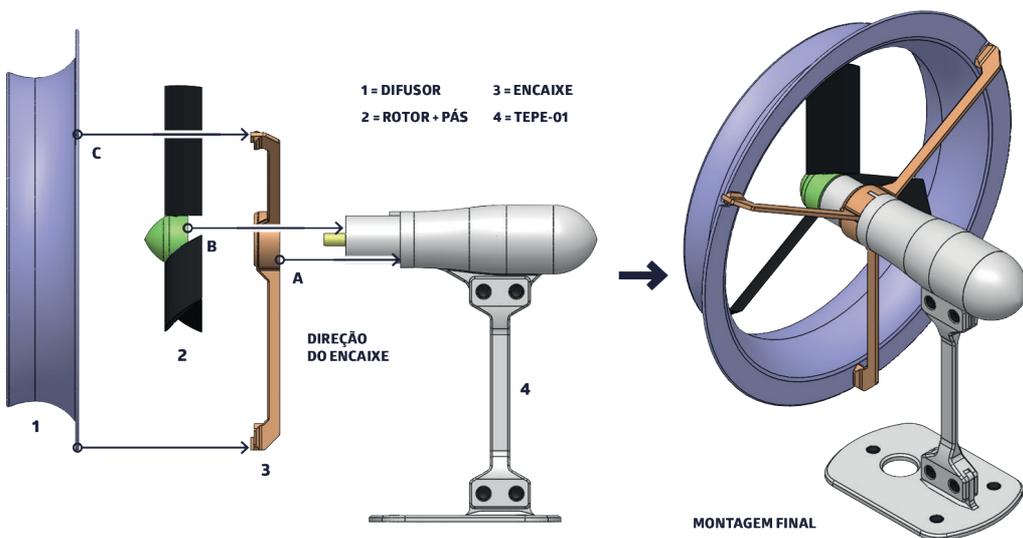
2.3 Experimentos em túnel de vento

As geometrias simuladas em software CFD foram testadas em túnel de vento de baixa velocidade com uma turbina eólica de pequena escala. Para os testes desenvolveu-se uma turbina eólica de pequena escala (TEPE), seguindo a nomenclatura estabelecida por Kishore e Priya (2013), baseada no diâmetro do rotor e define uma TEPE as turbinas eólicas com diâmetro de rotor entre 10 cm até 100 cm.

A TEPE para este estudo tem um diâmetro de rotor de 142 mm. Esta medida foi estabelecida considerando as dimensões do túnel de vento disponível para a realização dos testes e visando um mínimo efeito de bloqueio das paredes da seção de testes do túnel de vento no fluxo interno dos difusores testados. A TEPE foi projetada para ser usada com ou sem difusor acoplado.

Para as pás do rotor, optou-se por utilizar perfis aerodinâmicos NACA 6409 não torcidos com ângulo de ataque de 15 graus. Este é um perfil simples, do tipo côncavo-convexo. O perfil NACA 6409 é um excelente perfil aerodinâmico para baixas velocidades de vento, pois permite uma maior sustentação. A figura 4 mostra a configuração da TEPE projetada para os experimentos em túnel de vento.

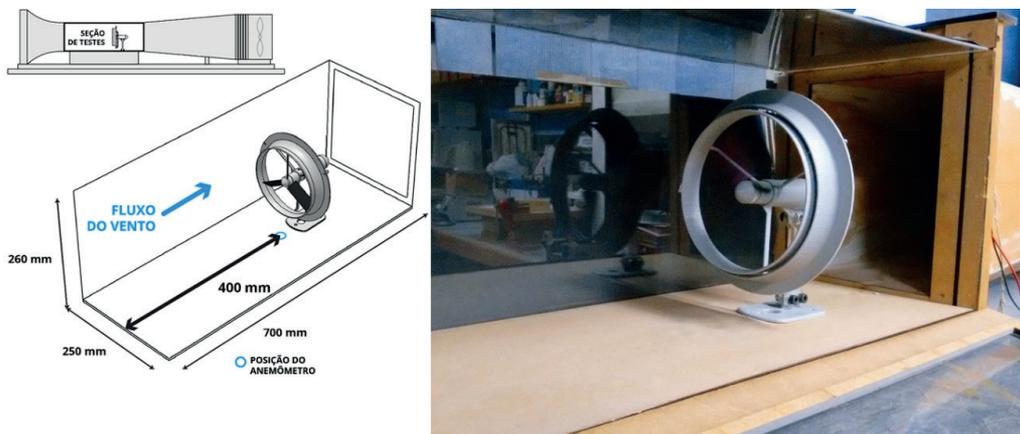
Figura 4 – Configuração de turbina eólica de pequeno porte.



Fonte: Ximenes (2018).

Esses ensaios experimentais servirão para caracterizar o desempenho geral (turbina eólica + difusor) e relacionar com os resultados encontrados nas simulações por CFD. Se a geometria do difusor concentrar com sucesso o vento passante através da turbina, ela aumentará as rotações por minuto e isso, por sua vez, melhorará a produção de energia da turbina. Serão analisados dois parâmetros, a velocidade de partida e as rotações por minuto (RPM). A velocidade do vento foi estabelecida em 4 m/s, e foi mensurada usando um anemômetro e controlada por meio de um regulador de tensão. A figura 5 mostra a configuração do túnel de vento.

Figura 5 – Configuração do túnel de vento.

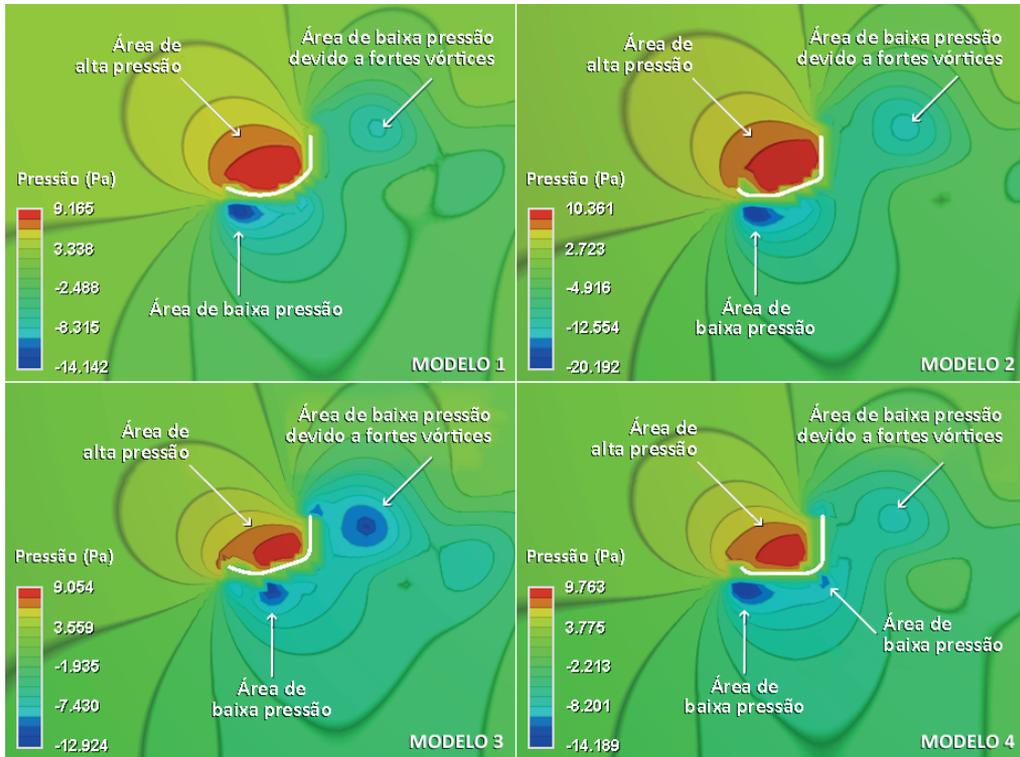


Fonte: Adaptado de Ximenes (2018).

3. Resultados

Os resultados de contornos de pressão em torno dos difusores selecionados são mostrados na Figura 6.

Figura 6 – Resultados de pressão em Pascal (Pa) para o projeto de geometrias selecionadas em 4 m/s.



Fonte: Adaptado de Ximenes (2018).

3.1. Resultados das simulações computacionais

A simulação realizada no Modelo 1 forneceu dados para comparação com as outras geometrias simuladas. A simulação mostrou onde se localizam as áreas onde o vento incidente se aproxima do modelo (alta pressão) e onde ele acelera (baixa pressão). As áreas de alta pressão estão em vermelho e localizam-se nas bordas externas, junto ao flange. As áreas de baixa pressão estão em azul e localizam-se na parte de entrada interna e no plano de saída do difusor. Possui vórtices de média intensidade no plano de saída do difusor.

A simulação realizada no Modelo 2 forneceu dados similares ao Modelo 1, porém com zonas de alta e baixa pressão mais intensas. As zonas de alta pressão tiveram um aumento na sua intensidade, ficando em média 45% maiores em relação ao Modelo 1 e as zonas de baixa pressão tiveram um aumento médio de mais 42%. Os vórtices tiveram um aumento médio de intensidade de mais de 50%. Esse aumento nas zonas de baixa pressão, teoricamente, implicará em uma velocidade de saída maior (maior RPM) do que modelo de referência.

A simulação realizada no Modelo 3 mostrou uma região de alta pressão significativamente elevada se comparada com o Modelo 1. A intensidade máxima das zonas de baixa pressão ficou em média 8% abaixo dos valores encontrados no Modelo 1. A área de baixa pressão encontra-se mais no centro da geometria do difusor, próximo aos vórtices na saída do difusor. Os vórtices produzidos na zona de baixa pressão na saída do difusor foram os mais proeminentes dentre os modelos simulados, tiveram uma intensidade média de mais de 50% em relação ao Modelo 1.

A simulação realizada no Modelo 4 não mostrou resultados significativos em comparação com o Modelo 1. Possui uma zona de alta pressão ligeiramente menor que o Modelo 1 e as zonas de baixa pressão no Modelo 3 são similares às encontradas no Modelo 1, com a diferença de uma segunda e pequena zona de baixa pressão na saída do difusor.

3.2. Resultados dos experimentos em túnel de vento

As rotações por minuto (RPM) foram mensuradas utilizando um tacômetro. Os resultados dos ensaios experimentais em túnel de vento são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados de experimentos em túnel de vento.

MODELO	RPM MÍNIMO	RPM MÁXIMO	RPM MÉDIO	VELOCIDADE DE PARTIDA
TEPE Solo	824	838	831	1,1 m/s
Modelo 1	1122	1136	1129	0,6 m/s
Modelo 2	1172	1190	1181	0,5 m/s
Modelo 3	1120	1132	1126	0,4 m/s
Modelo 4	1118	1130	1124	0,6 m/s

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 3 mostra a variação percentual de melhora dos RPM em comparação com uma TEPE sem difusor acoplado e em relação à velocidade de partida mostra a variação percentual da redução da velocidade necessária para a turbina eólica começar a rotacionar.

Tabela 3 – Variação percentual dos RPM em comparação com uma TEPE sem difusor.

MODELO	RPM MIN (%)	RPM MAX (%)	RPM MÉDIO (%)	VELOCIDADE DE PARTIDA (%)
TEPE Solo	--	--	--	--
Modelo 1	36,17	35,56	35,86	-45,45
Modelo 2	42,23	42	42,12	-54,55
Modelo 3	35,92	35,08	35,50	-63,63
Modelo 4	35,68	34,83	35,26	-45,45

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observou-se nos dados apresentados que uma TEPE com difusor acoplado tem um aumento médio entre $\pm 35\%$ a $\pm 42\%$ nas rotações RPM e a velocidade de partida começa com uma velocidade de vento muito baixa, a partir de 0,6 m/s, velocidade mais de 45% menor que uma TEPE sem difusor acoplado.

4. Discussão dos resultados e considerações finais

Os resultados da simulação computacional em comparação aos ensaios em túnel de vento com o difusor Modelo 1 serviram para caracterizar e comparar com os outros difusores testados.

O difusor Modelo 2 nas simulações por CFD mostrou que a geometria do difusor produziu zonas de baixa pressão mais acentuadas e isso refletiu nos resultados em túnel de vento físico que mostraram valores de RPM mais altos que o Modelo 1. A velocidade de partida do difusor Modelo 2 teve um resultado superior, precisou de uma velocidade de vento menor para fazer a turbina eólica começar a rotacionar.

O difusor Modelo 3 nas simulações por CFD apresentou zonas máximas de alta e baixa pressão diferentes do Modelo 1, com vórtices mais intensos no plano de saída do difusor. Os testes em túnel de vento revelaram que a intensidade dos vórtices no difusor Modelo 3 reduziu a velocidade de partida da turbina eólica, sendo necessário apenas 0,4 m/s para fazer a turbina eólica começar a rotacionar.

O difusor Modelo 4 nas simulações por CFD apresentou resultados semelhantes ao Modelo 1, com desempenho discretamente menor. Nos testes em túnel de vento, apresentou resultados similares nos RPM e velocidade de partida iguais. Em comparação com uma turbina eólica sem difusor, as geometrias mostraram um aumento médio de mais de 42% nas RPM e uma redução de mais de 63% na velocidade de vento necessária para a velocidade de partida.

Os resultados apresentados neste estudo motivam a continuidade das pesquisas com turbinas eólicas de pequena escala e oportunizam o desenvolvimento de novos estudos e experimentos na aplicação de difusores em turbinas de pequena escala e sua utilização em áreas onde são esperadas velocidades de vento mais baixas e padrões de vento complexos e turbulentos como, por exemplo, regiões urbanas.

A normatização da área construtiva é oportuna para o design de difusores, pois na literatura (Ohya; Karasudani, 2010; Takahashi *et al.*, 2012) sobre difusores compacto-flangeados os parâmetros apresentam-se flexíveis ou não estão claros e definidos. Essa normatização é importante para otimizar as informações necessárias para reprodução, fidelidade e escalabilidade dos difusores desenvolvidos neste estudo.

Referências

- ABE, Ken-ichi; OHYA, Yuji. An investigation of flow fields around flanged diffusers using CFD. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. United States, v. 92, Iss. 3-4, p. 315-330, 2004. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2003.12.003>>.
- ABE, K.; NISHIDA, M.; SAKURAI, A.; OHYA, Y.; KIHARA, H.; WADA, E.; SATO, K. Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. United States, v. 93, Iss. 12, p. 951-970, 2005. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2005.09.003>>.
- FIEDLER, B. H.; BUKOVSKY, M. S. The effect of a giant wind farm on precipitation *in* a regional climate model. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 4, p. 045101, 1 out. 2011. DOI: <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/6/4/045101>>
- FOREMAN, K.M.; GILBERT, B.; OMAN, R.A. Diffuser augmentation of wind turbines. **Solar Energy**. London, v. 20, Iss. 4, p. 305-311, 1978. DOI: <[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(78\)90122-6](https://doi.org/10.1016/0038-092X(78)90122-6)>.
- GILBERT, B. L.; FOREMAN, K. M. Experiments With a Diffuser-Augmented Model Wind Turbine. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 105, n. 1, p. 46-53, 1 mar. 1983. DOI: <<https://doi.org/10.1115/1.3230875>>
- IGRA, O. Compact shrouds for wind turbines. **Energy Conversion**. New York, v. 16, Iss. 4, p. 149-157, 1977. DOI: <[https://doi.org/10.1016/0013-7480\(77\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0013-7480(77)90022-5)>.
- IGRA, O. Research and development for shrouded wind turbines. **Energy Conversion and Management**. United States, v. 21, Iss. 1, p. 13-48, 1981. DOI: <[https://doi.org/10.1016/0196-8904\(81\)90005-4](https://doi.org/10.1016/0196-8904(81)90005-4)>.
- KANNAN, T. Saravana; MUTASHER, Saad A.; LAU, Y.H. Kenny. Design and flow velocity simulation of diffuser augmented wind turbine using cfd. **Journal of Engineering Science and Technology**. Malaysia, v. 8, n. 4, p. 372-384, 2013. ISSN: 1823-4690. <<http://hdl.handle.net/1959.3/377077>>
- KISHORE, Ravi Anant; PRIYA, Shashank. Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT). **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. Oxford, v. 118, p. 12-19, 2013. ISSN: 0167-6105. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.04.009>>
- KOSASIH, Buyung; TONDELLI, Andrea. Experimental Study of Shrouded Micro-Wind Turbine. **Procedia Engineering**. United States, v.49, p. 92-98, 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.10.116>>
- MATSUSHIMA, Toshio; TAKAGI, Shinya; MUROYAMA, Seiichi. Characteristics of a highly efficient propeller type small wind turbine with a diffuser. **Renewable Energy**. United States, v. 31, Iss. 9, p. 1343-1354, 2006. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2005.07.008>>
- MILLER, L. M.; KEITH, D. W. Climatic Impacts of Wind Power. **Joule**, v. 2, n. 12, p. 2618-2632, dez. 2018. <<https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.09.009>>

- MILLER, L. M.; KEITH, D. W. Corrigendum: Observation-based solar and wind power capacity factors and power densities (2018 Environ. Res. Lett. 13 104008). **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 079501, 1 jul. 2019. <<http://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf9cf>>
- NAJI, Mohammed Mohammad; JABBAR, Balasem Abdulameer. Diffuser augmented wind turbine: A review study. **AIP conference proceedings**, 1 jan. 2024. DOI: <<https://doi.org/10.1063/5.0191895>>
- OHYA, Yuji; KARASUDANI, Takashi; SAKURAI, Akira. Development of High-Performance Wind Turbine with Brimmed Diffuser. **Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences**. Tokyo, v. 50, n. 587, p. 477-482, 2002. DOI: <<http://doi.org/10.2322/jjsass.50.477>>.
- OHYA, Yuji; KARASUDANI, Takashi; SAKURAI, Akira; INOUE, Masahiro. Development of high-performance wind turbine with a brimmed-diffuser: Part 2. **Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences**. Tokyo, v. 52, n. 604, p. 210-213, 2004. DOI: <<http://doi.org/10.2322/jjsass.52.210>>.
- OHYA, Yuji; KARASUDANI, Takashi; SAKURAI, Akira; Abe, Ken-ichi; INOUE, Masahiro. Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**. **United Kingdom**, v. 96, Iss. 5, p. 524-539, 2008. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2008.01.006>>.
- OHYA, Yuji; KARASUDANI, Takashi. A Shrouded Wind Turbine Generating High Output Power with Wind-lens Technology. **Energies**. Switzerland, v. 3, p. 634-649, 2010. ISSN 1996-1073. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/en3040634>>
- RAJEWSKI, D. A.; TAKLE, E. S.; LUNDQUIST, J. K.; PRUEGER, J. H.; PFEIFFER, R. L.; HATFIELD, J. L.; SPOTH, K. K.; DOORENBOS, R. K.. Changes in fluxes of heat, H₂O, and CO₂ caused by a large wind farm. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 194, p. 175–187, ago. 2014. <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.03.023>>
- TAKAHASHI, Shuhei; HATA, Yuya; OHYA, Yuji; KARASUDANI, Takashi; UCHIDA, Takanori. Behavior of the Blade Tip Vortices of a Wind Turbine Equipped with a Brimmed-Diffuser Shroud. **Energies**. Switzerland, v. 5, p. 5229-5242, 2012. ISSN 1996-1073. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/en5125229>>
- TUMMALA, Abhishiktha; VELAMATI, Ratna Kishore; SINHA, Dipankur Kumar; INDRAJA, V.; KRISHNA, V. Hari. A review on small scale wind turbines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Amsterdam, v. 56, p. 1351-1371, abril 2016. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.027>>.
- WANG, C.; PRINN, R. G. Potential climatic impacts and reliability of very large-scale wind farms. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 10, n. 4, p. 2053–2061, 22 fev. 2010. DOI: <<https://doi.org/10.5194/acp-10-2053-2010>>
- WERSIN, Wolfgang Von. **Das buch vom rechteck: Gesetz und gestik des raumlichen**. Alemanha: Otto Maier Verlag Ravensburg, 1956. 88 p.
- WU, Sicheng. **Effects of wind turbine wakes on microclimate properties near the ground**. PhD dissertation, University of Delaware, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.58088/k2a3-m735>>
- XIMENES, Fernando S. **Design de difusor aerodinâmico compacto para uma turbina eólica de pequena escala**. Dissertação (Mestrado em Design) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, Brasil, 2018. 183 f. <<http://hdl.handle.net/10183/182436>>

Como citar este capítulo (ABNT)

XIMENES, F.S.. CANDIDO, L.H.A.. Design de difusor compacto-flangeado para turbina eólica de pequena escala. In: OLIVEIRA, G.G. de.. NÚÑEZ, G.J.Z.. PASSOS, J. E.. **Design em Pesquisa – Volume 6**. Porto Alegre: Marcavísal, 2024. p. 202-214. E-book. Disponível em <http://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>. Acesso em 30 de outubro de 2024 (exemplo).

Como citar este capítulo (Chicago)

XIMENES, F.S.. CANDIDO, L.H.A.. Design de difusor compacto-flangeado para turbina eólica de pequena escala. In: Design em Pesquisa – Volume 6 edited by Geísa Gaiger de Oliveira, Gustavo Javier Zani Núñez, Jaíre Ederson Passos, 202-214. Porto Alegre: Marcavísal. 2024. <http://www.ufrgs.br/iicd/publicacoes/livros>.