

# OBTENÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS ESTEIRAS HIDROCINÉTICAS CARENADAS E NÃO CARENADAS

Diego Leonardo Santos Cosme<sup>(a)</sup>, Tania Marie Arispe Angulo<sup>(b)</sup>, Marcelo Daige Prado Leite<sup>(c)</sup>, Edna Raimunda da Silva<sup>(d)</sup>, Thiago Junqueira Rezek<sup>(e)</sup>, Ramiro Gustavo Ramirez Camacho<sup>(f)</sup>

(a) Universidade Federal do Maranhão - Brasil - diegocosme@gmail.com

(b) Universidade Federal do Rio de Janeiro - Brasil - tani.arispe@gmail.com

(c) Universidade Federal de Itajubá - Brasil - marcelo.daige@unifei.edu.br

(d) Universidade Federal de Itajubá - Brasil - ednaunifei@yahoo.com.br

(e) Universidade Federal de Itajubá - Brasil - rezek@unifei.edu.br

(f) Universidade Federal de Itajubá - Brasil - ramirez@unifei.edu.br

## INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, as turbinas hidrocinéticas vêm ganhando relevância no cenário mundial de geração renovável, destacando-se como solução promissora para eletrificação de regiões remotas e nações em desenvolvimento dotadas de expressivo potencial hídrico. Contudo, os atuais níveis de eficiência energética e capacidade de geração, embora satisfatórios, ainda representam barreiras tecnológicas para sua implementação massiva (Puertas-Frías, 2022).

As turbinas hidrocinéticas dotadas de sistemas de difusão (DATT's – *Diffuser Augmented Tidal Turbines*) podem ser consideradas mais eficientes com base na maximização do coeficiente de potência superando o limite de Betz, entretanto, o desenho de conjunto (rotor, nacelle, difusor) deve permitir uma maior vazão passando pelo rotor para um ótimo salto de pressão total, definido como 8/9 da pressão dinâmica  $\Delta p_t = (8/9)p_{din}$ , por outro lado, a eliminação das regiões de separação das camadas limites e fluxos secundários, entre os mecanismos dissipativos de energia, conduz a um maior incremento de vazão (Rezek et al., 2023). Ibrahim et al. (2021), apresentou um estudo dos comprimentos das esteiras em turbinas com difusor (ou carenadas) aplicado em águas rasas com baixas velocidades de escoamento, proporcionando maior densidade

energética por unidade de área instalada, contudo, a utilização de difusores amplifica a formação de esteiras turbulentas reduzindo a eficiência de turbinas a jusante em arranjos em série.

Sendo assim, o presente trabalho apresenta uma análise numérica em CFD para caracterizar as esteiras considerando a turbina Yarama<sup>1</sup> com e sem difusor, além disso, um modelo simplificado de rotor, com base na teoria do disco atuador, permite quantificar o coeficiente de potência hidráulica.

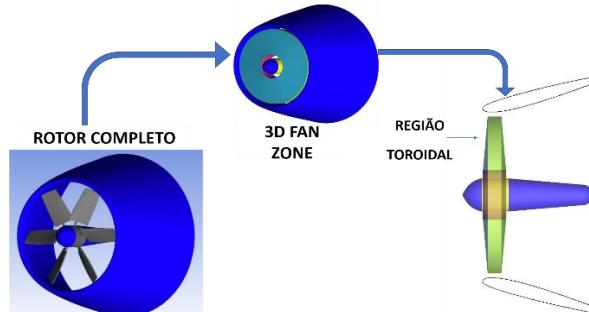
## METODOLOGIA

Foi adotado o projeto desenvolvido por (Rezek et al., 2023) onde o conjunto rotor, nacelle, difusor foi otimizado com objetivo de maximizar o coeficiente de potência ( $C_p$ ) resultando em uma maior concentração de potência de eixo, limitando o crescimento da nacelle, de forma a se obter uma máquina mais compacta operando com escoamentos de baixas velocidades de partida. Essa combinação de parâmetros torna o dispositivo especialmente adequado para operação em regimes hidrocinéticos de alta velocidade.

Para analisar as características das esteiras turbulentas é possível substituir o rotor pelo disco atuador (Arispe, 2023), utilizando o modelo 3D Fan Zone, disponível no FLUENT®, nesse caso o rotor é representado por um toróide (Fig. 1), onde são definidos o salto de pressão e a rotação.

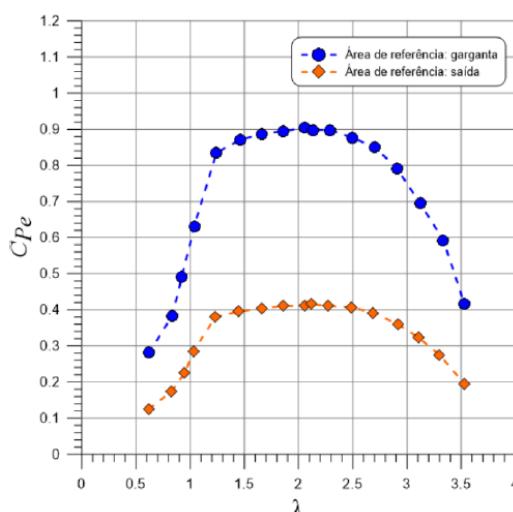
<sup>1</sup> Nome dado à turbina desenvolvida por Rezek.

A Figura 1 contém a geometria completa da turbina, ilustrando tanto o arranjo rotor-difusor, quanto sua representação simplificada através do modelo 3D Fan Zone, com destaque para a região toroidal.



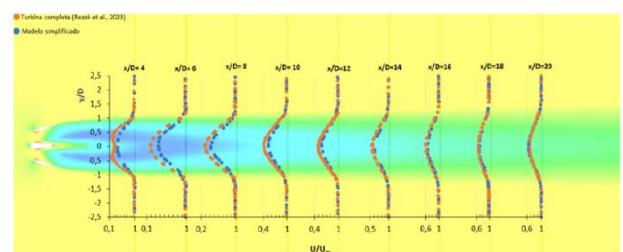
**Figura 1.** - Geometria da turbina com rotor completo, simplificado e da região toroidal  
 (adaptado de (Angulo, 2023)).

Na Figura 2, apresentada a curva de desempenho da turbina carenada, onde verifica-se o coeficiente de potência máxima de 0,9 correspondente ao coeficiente de ponta de pá igual a 2,0. Para o projeto da turbina foi considerado um valor de velocidade da corrente livre de 2,5 m/s.



**Figura 2.** – Curva de Comportamento  $C_p$  vs.  $\lambda$

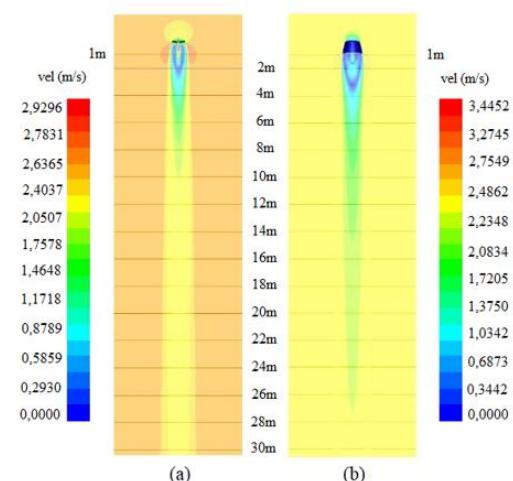
A Figura 3 apresenta os perfis de velocidade a jusante da turbina para os modelos, simplificado e completo, rotor contendo 6 pás, (vide Fig. 1), onde pode-se observar uma boa concordância nos perfis de velocidade, tendo com vantagem um menor tempo computacional.



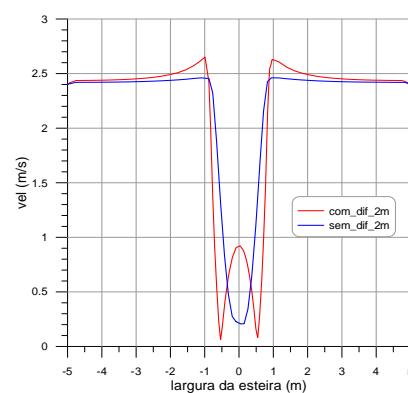
**Figura 3.** - Perfis de velocidade da esteira - modelos completo e simplificado.

## AVALIAÇÃO DAS ESTEIRAS

As esteiras do modelo simplificado, com e sem difusor, foram postas lado a lado como mostra a Fig. 4. No plano a jusante traçou-se linhas paralelas até 30m de distância onde foram obtidos os perfis de velocidades. Também pode observar os contornos de velocidade na esteira identificando-se que a esteira da máquina com carenagem apresenta uma esteira mais intensa com maior comprimento para sua dissipação.

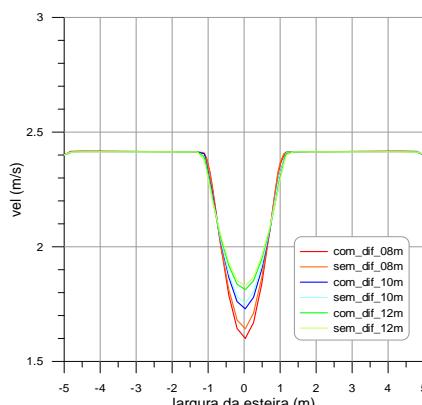


**Figura 4.** - Contornos de velocidade das esteiras:  
 (a) sem difusor e (b) com difusor.

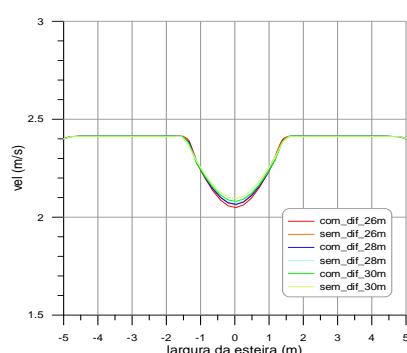


**Figura 5.** - Perfis de velocidade das turbinas com e sem difusor, 2m a jusante.

Na Figura 5 apresentam-se os perfis de velocidade com e sem difusor, 2m a jusante do rotor onde verifica-se que a turbina com difusor mostra a formação de um vórtice forçado. Por outro lado, na Figura 6, mostra os perfis mais distante onde ambos têm estabilidade, não apresentando regiões de vorticidade.



**Figura 6.** - Perfis de velocidade das turbinas com e sem difusor, de 8 a 12m a jusante.



**Figura 7.** - Perfis de velocidade das turbinas com e sem difusor, de 26 a 30m a jusante.

Verifica-se nas Figuras 6 e 7 que os perfis de velocidade das turbinas com difusor e sem difusor são similares, sendo que as velocidades são maiores para a turbina com difusor.

## CONCLUSÕES

Nesse trabalho apresentou-se uma análise do comportamento das esteiras de turbinas hidrocinéticas com e sem difusor através de um modelo simplificado que permite a substituição do rotor pelo disco atuador por meio do modelo Fan Zone (FLUENT 3D), com menor custo

computacional. As análises mostraram que na esteira próxima ao rotor, os perfis de velocidade são diferentes, entretanto, os perfis mais a jusante são similares, o que leva a conclusão que as esteiras são pouco influentes na distribuição de um parque hidrocinético. Assim sendo, a turbina hidrocinética com difusor gera maior potência.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) APQ-01865-18, APQ-01591-18 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) 408029/2022-6.

## REFERÊNCIAS

- C. M. Puertas-Frías, C. S. Willson e P. A. García-Salaberri, “Design and economic analysis of a hydrokinetic turbine for household applications” *Renewable Energy*, vol. 199, pp. 587-598, 2022.
- T. J. Rezek, R. G. R. Camacho e N. Manzanares-Filho, “A novel methodology for the design of diffuser-augmented hydrokinetic rotors ” *Renewable Energy*, vol. 210, pp. 524-539, 2023.
- T. M. A. Angulo , D. L. S. Cosme e R. G. R. Camacho, “Estudo de turbinas hidrocinéticas carenadas em canais com curvatura considerando a teoria do disco atuador em 3D,” em *V Latin American Hydro Power Systems Meeting– IAHR*, 2023.