

1. INTRODUÇÃO

A energia eólica é considerada uma das mais promissoras fontes naturais de energia, por ser renovável e possuir espectro de aplicação geograficamente amplo. Nesse conceito, a turbina Savonius é uma ótima opção para microgeração pois apresenta, entre outras qualidades, a aceitação de vento de qualquer direção. Uma turbina Savonius pode ser projetada por CFD, logo, é mister conhecer o grau de refinamento das malhas, parâmetros numéricos, condições de contorno e modelos de turbulência necessários que forneçam um resultado correto, economizando assim tempo de processamento e diminuindo os custos de investimento.

2. METODOLOGIA

Foram criados 5 graus de refinamentos para a geometria ilustrada na Fig. 1. Através do processamento de 11 malhas (no CESUP/UFRGS) de diferentes graus de refinamento, passos de tempo (Δt) e número total de passos de tempo (sempre totalizando cinco segundos de escoamento), foram calculados os valores médios de coeficiente de torque (C_m) por número total de passos de tempo. A velocidade de entrada no domínio era de 4m/s, com modelo de turbulência $K\omega$ -SST de segunda ordem e Reynolds de 274000.

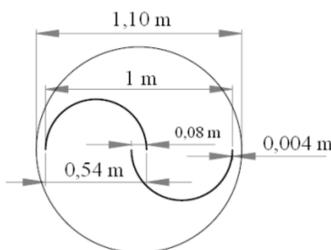


Figura 1. Dimensões do rotor.

Foi calculado então o GRID CONVERGENCE INDEX (GCI), Eq. 1, que através da extrapolação de Richardson fornece um valor de solução exata numérica, Eq. 2, com uma banda de confiança de 95% para a obtida solução.

$$GCI = \frac{FS}{r^p - 1} \left| \frac{f_2 - f_1}{f_1} \right| \quad (1) \quad f_{exato} = f_2 + (f_1 - f_2) \frac{r^p}{r^p - 1} \quad (2)$$

Onde FS é um fator de segurança (1.25 para GCI de três malhas), 'r' que é a razão de refinamento, 'p' o fator de convergência e 'f' a solução obtida na malha (1 a mais refinada). A Eq. 3 ilustra o cálculo iterativo para obtenção do coeficiente de convergência a partir de um chute inicial no valor de dois.

$$\hat{p} = \frac{\ln \left(\left(\frac{r_{12}^{\hat{p}} - 1}{r_{23}^{\hat{p}} - 1} \right) \left(\frac{f_3 - f_2}{f_2 - f_1} \right) \right)}{\ln(r_{12})} \quad (3)$$

3. RESULTADOS

A solução exata, f_{exact} , obtida e a proximidade com os coeficientes de torque médios encontrados para cada malha estão na Fig. 2. O GCI só pode ser calculado para as três malhas que apresentaram comportamento monótono, isto é, para as malhas menos refinadas com maior time step ($0,001\Delta t$). O valor de GCI encontrado foi de 0,55%, que relacionado com a solução exata forneceu um intervalo muito pequeno de tolerância para a solução, dado por $[f_{exact} (1-GCI), f_{exact} (1+GCI)]$.

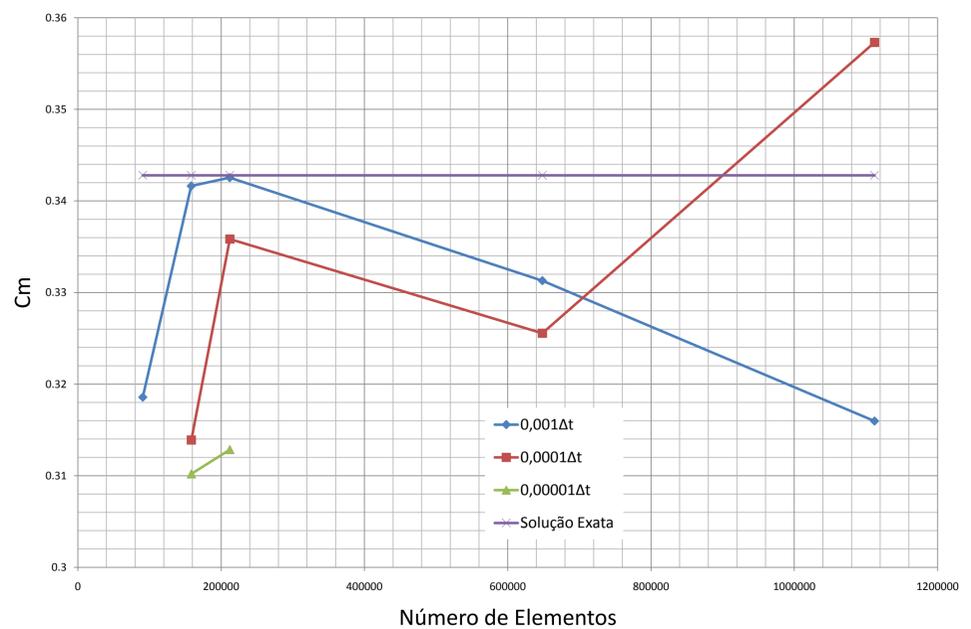


Figura 2. Coeficiente de torque versus número de elementos para malhas com diferentes passos de tempo.

4. CONCLUSÕES

A malha de ~90 mil elementos apresentou um erro de 8,5% em relação a solução exata. Já a malha de ~150 mil elementos apresentou um erro de apenas 1,2% em relação a solução exata, sendo esta a malha escolhida como ideal. Essa escolha é baseada não só na solução mas também em tempo de processamento, que para $0,001\Delta t$ foi em torno de 5 horas, frente a 10 horas para $0,0001\Delta t$ e uma semana para $0,00001\Delta t$. Cabe ressaltar que os resultados se aplicam para as determinadas condições de contorno.

5. BIBLIOGRAFIA

- AKWA, J.; "Análise Aerodinâmica de Turbinas Eólicas Savonius Empregando Dinâmica dos Fluidos Computacional", 2010.
PHILLIPS, T. S.; "Extrapolation-Based Discretization Error and Uncertainty Estimation in Computational Fluid Dynamics", 2012.
ROACHE, P. J.; "Quantification of Uncertainty in Computational Fluid Dynamics", 1997.
SCHWER, L. E.; "Estimating Discretization Error Using GCI", 2008.