ANÁLISE NUMÉRICA DO BLOQUEIO DE BOCAL CONVERGENTE VIA FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

J. F. T. de CARVALHO¹, P. S. SCHNEIDER² e L.M. da ROSA³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROMEC, Faculdade de Engenharia Mecânica

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PROMEC, Faculdade de Engenharia Mecânica

³ Universidade Regional de Blumenau, Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: filipe.carvalhosw@ufrgs.br

RESUMO – O presente trabalho apresenta um estudo numérico da dinâmica de fluidos dentro de uma turbina Tesla com discos estacionários. A turbina simulada corresponde a um protótipo de escala de laboratório, constituída por um bocal convergente, e as quantidades físicas avaliadas são a velocidade na garganta e na região de jato livre após o bocal e nos canais estreitos entre os discos. Os valores de velocidade na garganta do bocal da turbina são estimados por volta de número de Mach unitário para as condições simuladas.

1. INTRODUÇÃO

Turbinas de discos múltiplos (MDT) podem ser úteis como um dispositivo de recuperação de energia para fluxos de baixa disponibilidade através da geração de energia elétrica. A MDT foi inventada por Nicola Tesla em 1930, e tornou-se conhecida desde então como turbina Tesla.

A eficiência de uma turbina Tesla pode ser melhorada através da confecção de bocais mais eficientes ou com múltiplos bocais para alimentação do fluido. No presente trabalho a condição de máxima operação do bocal será analisada baseada no equacionamento para uma expansão isentrópica na garganta do bocal (Berchon, 2016).

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

O escoamento do fluido de trabalho através de bocais convergentes está limitado à condição sônica. A Equação 1 apresenta a razão de vazão mássica por área de passagem na garganta do bocal, para uma expansão isentrópica e limitada ao número de *Mach* unitário.

$$\frac{\dot{m}_t}{A_t} = \frac{P_1}{\sqrt{T_1}} \sqrt{\frac{k}{R}} \left[\frac{1}{\left[\frac{k+1}{2} \right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}} \right] \quad (1)$$

O número de Reynolds calculado para a região da garganta do bocal é de 327.787, o que indica um escoamento turbulento, foi calculado através da seguinte relação:

$$Re = \frac{UL}{\nu} \quad (2)$$

onde U é a velocidade de 309 m.s^{-1} na garganta do bocal, L é o comprimento de 20 mm do bocal, e $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ é a viscosidade cinemática de $1,88 \times 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ (Borgnakke, 2013).

O número de Reynolds calculado para a região do espaçamento de 1 mm considerando a velocidade média encontrada de 64 m.s^{-1} entre os discos é de 3.400 , o que sugere um escoamento laminar nessa região.

As condições de contorno adotadas para a presente simulação são apresentados na Tabela 1, para o ar como fluido de trabalho.

Tabela 1 – Condições de contorno da simulação

P (barg) descarga	T (K) descarga	P (barg) admissão bocal	T (K) admissão bocal	ρ (kg/m ³) admissão bocal	$\dot{m}_{\text{ar}}$ (g/s)	Número de Reynolds garganta	Número de Reynolds espaçamento discos
0	300	2,5	295	3,0	47,01	330.000	3.400

As condições de contorno utilizadas para representar o problema físico consistem em uma vazão mássica na face da admissão da turbina, condição de pressão ambiente na descarga da turbina, e a condição de parede – não deslizamento nas faces dos discos e demais faces da turbina.

O software utilizado foi o *Star-CCM+*, versão 12.04. Com este, foi simulado um escoamento monofásico, turbulento, considerando fluido compressível. Empregou-se o modelo de escoamento acoplado, em função de ser uma opção mais robusta e precisa no cálculo para altos números de Rayleigh e para escoamentos compressíveis, principalmente na ocorrência de ondas de choque. Embora, quando comparado com o modelo de escoamento segregado, apresente necessidade de maior poder computacional, pois necessita de um uso maior de memória *RAM*, o método acoplado foi utilizado para acoplar os campos de velocidade e pressão, com um esquema de segunda ordem utilizado para interpolar valores para os termos advectivos. As condições de contorno foram definidas para cada subdomínio, composto por um conjunto de faces. O modelo de turbulência *RANS Shear Stress Transport (SST)* foi empregado, considerando as equações de Navier-Stokes em média temporal. Simulações preliminares foram efetuadas com refinamentos de malha, com 2,00, 4,67 e 7,40 milhões de volumes. Através do método *GCI*, adotou-se a malha contendo 2 milhões de volumes, a qual apresenta erros abaixo de 1 %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados obtidos em simulação mostram que o bocal convergente pode levar a velocidades de fluido até a velocidade do som, o que corresponde ao número de *Mach* unitário.

O campo de velocidades do fluido paralelo aos discos ao longo de uma seção transversal foi analisado e exibido na Figura 1.

Figura 1 – Campo de velocidade do ar paralelo aos discos posicionada no centro do bocal

O estado do fluido pode ser calculado adotando a hipótese de gás ideal (White, 2010), começando com a velocidade do som c , dado por.

$$c = \sqrt{\gamma R T} \quad (3)$$

Com este valor calculado, o número de *Mach* obtido foi $Ma = 0,91$, considerando a velocidade máxima na garganta do bocal de 310 m.s^{-1} .

Esse valor indica um escoamento praticamente sônico, garantindo a hipótese adotada de escoamento compressível para número de *Mach* $> 0,3$.

Para verificar os valores na região do espaçamento entre os discos, o campo de velocidades é mostrado no corte transversal ao longo do eixo da turbina na Figura 2.

Figura 2 – Campo de velocidades plano eixo central YZ da turbina

Observa-se que a velocidade máxima encontrada entre os discos foi de aproximadamente 108 m.s^{-1} , e a velocidade média nesta mesma região variou entre 50 m.s^{-1} a 80 m.s^{-1} . O fluido acelera ao final dos canais estreitos, onde encontra uma região de baixa pressão, sendo este conduzido até os canais de descarga da turbina.

Na Figura 3 são apresentados resultados obtidos para o número de *Mach*, em um plano na região central do bocal.

Figura 3 – Número de Mach plano XY posicionado no eixo central da turbina

Observa-se que nesse plano o maior número de *Mach* chega ao valor unitário. De acordo com a Equação 1, isso sugere que o bocal está operando em sua máxima condição de operação.

Analisando os resultados apresentados acima, observa-se que com as condições de contorno utilizadas, a simulação foi capaz de prever a condição de máxima operação ou bloqueio do bocal analisado.

4. REFERÊNCIAS

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E.; Fundamentos da Termodinâmica. 8th ed. São Paulo: Blucher, 2013.

BERCHON, L.S. Estudo numérico da influência da geometria de bocais convergente-divergente em escoamentos supersônicos. UFRGS, Porto Alegre, 2016.

WHITE, F. M. Mecânica dos Fluidos. 6th ed. Amgh Editora: Porto Alegre, 2010.