



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA



Luiz Matheus Alves Leal

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO CONSTRUTIVO NO DESEMPENHO
DE UM VENTILADOR AXIAL

DOURADOS - MS

2022

Luiz Matheus Alves Leal

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO CONSTRUTIVO NO DESEMPENHO
DE UM VENTILADOR AXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Universidade Federal da Grande Dourados, como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia, sob orientação do Prof. Dr. Reginaldo Ribeiro de Sousa.

Área de concentração: 3.05.01.02-4 – Mecânica dos Fluidos

DOURADOS – MS

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 16:10 horas do dia 03 de NOVEMBRO de 2022, realizou-se no(a) SALA D-253, NO BLOCO D, NA UNIDADE II DA UFGD (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado A INFLUÊNCIA DO ÂNGULO CONSTRUTIVO NO DESEMPENHO DE UM VENTILADOR AXIAL de autoria do(a) discente LUÍZ MATHEUS ALVES LEAL, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

Aprovado

Reprovado

O(A) discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

DISCENTE

Nome: Luiz Mathus Alves Leal Assinatura: Luiz Mathus Alves Leal

BANCA EXAMINADORA

Orientador: PROF. DR. REGINALDO SOUSA Assinatura: [Assinatura]

Membro: RAMON E. P. SILVA Assinatura: [Assinatura]

Membro: ALLAN VICENTE ALBERTO CYMBURJO Assinatura: Allan V. R. Cymburjo

RESUMO

As máquinas de fluxo são dispositivos mecânicos utilizados para a conversão de energia mecânica em energia hidráulica e vice-versa. Para desenvolvimento e análise destes dispositivos, vários modelos matemáticos simplificados são utilizados, porém o método dos volumes finitos tem ajudado a projetar esses equipamentos, bem como a visualizar o fluxo do fluido e entender as perdas geradas no processo de conversão de energia. Este artigo tem como objetivo principal avaliar o desempenho de um ventilador axial de duas pás, através dos parâmetros de projeto influenciados pelo ângulo construtivo de saída e entrada do rotor. O propósito do estudo é fazer duas abordagens: o modelo analítico desenvolvido pela Equação de Euler e a simulação numérica com base no método dos volumes finitos utilizando o software Ansys Fluent, versão Student. Os resultados obtidos são características essenciais, principalmente para determinar a aplicação de uma máquina de fluxo: potência hidráulica, altura manométrica, vazão e curva de rendimento. Estes parâmetros são adaptados a variações do ângulo construtivo de saída e entrada do rotor e submetido a diferentes variações de rotação. Neste trabalho foi possível verificar o ângulo construtivo de 40° como o melhor entre os demais por atender melhor, genericamente, todos os parâmetros.

Palavras-chaves: Máquinas de fluxo, Ângulo construtivo, Triângulo de velocidades

ABSTRACT

Flow machines are mechanical devices used for converting mechanical energy into hydraulic energy and vice versa. To develop the analysis of these devices, several simplified mathematical models are used, however, the finite volume method have helped to design these devices, as well as to visualize the fluid flow and understand the losses generated by this movement. The main objective of this article is to evaluate the performance of a two-blade axial fan, through design parameters influenced by the rotor inlet and outlet angle. The purpose of the study is to make two approaches: the analytical model developed by Euler's Equation and the numerical simulation based on the finite volume method using the Ansys Fluent software, Student version. The results obtained are essential characteristics, mainly to determine the application of a flow machine: hydraulic power, head, flow and yield curve. These parameters are adapted to variations in the rotor input and output constructive angle and subjected to different rotation variations. In this work, it was possible to verify the constructive angle of 40° as the best among the others, as it generally meets all the parameters better.

Keywords: Flow machines, Constructive angle, Velocity triangle

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO ÂNGULO CONSTRUTIVO NO DESEMPENHO DE UM VENTILADOR AXIAL

Luiz Matheus Alves Leal ⁽¹⁾ (luiz.matheus.a.l@gmail.com), Reginaldo Ribeiro de Sousa ⁽²⁾
(reginaldosousa@ufgd.edu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD); Faculdade de Engenharia

RESUMO: *As máquinas de fluxo são dispositivos mecânicos utilizados para a conversão de energia mecânica em energia hidráulica e vice-versa. Para desenvolvimento e análise destes dispositivos, vários modelos matemáticos simplificados são utilizados, porém o método dos volumes finitos tem ajudado a projetar esses equipamentos, bem como a visualizar o fluxo do fluido e entender as perdas geradas no processo de conversão de energia. Este artigo tem como objetivo principal avaliar o desempenho de um ventilador axial de duas pás, através dos parâmetros de projeto influenciados pelo ângulo construtivo de saída e entrada do rotor. O propósito do estudo é fazer duas abordagens: o modelo analítico desenvolvido pela Equação de Euler e a simulação numérica com base no método dos volumes finitos utilizando o software Ansys Fluent, versão Student. Os resultados obtidos são características essenciais, principalmente para determinar a aplicação de uma máquina de fluxo: potência hidráulica, altura manométrica, vazão e curva de rendimento. Estes parâmetros são adaptados a variações do ângulo construtivo de saída e entrada do rotor e submetido a diferentes variações de rotação. Neste trabalho foi possível verificar o ângulo construtivo de 40° como o melhor entre os demais por atender melhor, genericamente, todos os parâmetros.*

PALAVRAS-CHAVE: MÁQUINAS DE FLUXO, ÂNGULO CONSTRUTIVO, TRIÂNGULO DE VELOCIDADES.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE ANGLE ON THE PERFORMANCE OF AN AXIAL FAN

ABSTRACT: *Flow machines are mechanical devices used for converting mechanical energy into hydraulic energy and vice versa. To develop the analysis of these devices, several simplified mathematical models are used, however, the finite volume method have helped to design these devices, as well as to visualize the fluid flow and understand the losses generated by this movement. The main objective of this article is to evaluate the performance of a two-blade axial fan, through design parameters influenced by the rotor inlet and outlet angle. The purpose of the study is to make two approaches: the analytical model developed by Euler's Equation and the numerical simulation based on the finite volume method using the Ansys Fluent software, Student version. The results obtained are essential characteristics, mainly to determine the application of a flow machine: hydraulic power, head, flow and yield curve. These parameters are adapted to variations in the rotor input and output constructive angle and subjected to different rotation variations. In this work, it was possible to verify the constructive angle of 40° as the best among the others, as it generally meets all the parameters better.*

KEYWORDS: *flow machine, constructive angle, velocity triangle.*

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da humanidade o desejo de controlar a natureza e seus fenômenos se fez presente. Um dos maiores avanços para que isso fosse possível, foi o desenvolvimento de tecnologias que auxiliaram a obtenção das diferentes formas de energia existentes, entre elas a energia mecânica. A mecanização de atividades simples, como captação e transporte de água, por exemplo, que “inicialmente foram desenvolvidas usando rodas de conchas e bombas de parafuso para elevar a água” (BRASIL, 2006), mas que viriam a se transformar em potentes rodas d’água, proporcionou um desenvolvimento ímpar na evolução das primeiras máquinas de fluxo. Para ventiladores, segundo Borges (2013), têm grande importância e utilização no meio industrial com objetivos diversos, entre eles, destacam-se exaustão, resfriamento, ventilação e secagem.

O conceito de máquina de fluxo para Henn (2006), é um equipamento composto por rotor e difusor, que promove a troca de energia entre um sistema mecânico e um fluido, transformando energia mecânica em energia de fluido ou energia de fluido em energia mecânica. Nesse tipo de máquina, “o fluido não se encontra preso confinado na carcaça, mas sim num fluxo através dela, sendo esse escoamento orientado por meio aletas e pás presentes no rotor” (GERMER, 2013). Adiante Germer (2013), também retrata que para lidar com a complexidade presente nesses escoamentos a utilização de considerações devem ser realizadas, juntamente com o uso do triângulo de velocidades, que se baseia no estudo teórico de vetores de velocidades presentes no fluxo e que pode ser aplicado em qualquer ponto do escoamento do rotor.

Para a elaboração desse trabalho, o método analítico é realizado com base na equação de Euler (equação fundamental das máquinas de fluido), mas com algumas considerações: número infinito de pás, espessura infinitesimal das pás, escoamento com fluido incompressível, escoamento em regime permanente e irrotacional, isenção de choque entre fluido e pás na entrada do rotor e vazão mássica constante. Enquanto o método numérico foi desenvolvido por meio do uso do software CFD ANSYS Fluent, versão Student.

O foco do trabalho verificará a influência do ângulo construtivo na saída, que é um parâmetro responsável pelo formato das pás no rotor. Uma comparação foi realizada, a fim de verificar a divergência de resultados obtidos pelos dois métodos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo definido para esse trabalho foi um ventilador de modelo axial de duas pás com 2 mm de espessura. Para geometria do rotor foi definido um diâmetro interno de 30 mm e um diâmetro externo, correspondente ao tamanho das pás, de 70 mm. Também foi definido a carcaça com um diâmetro de 150 mm e o tubo de escoamento com 160 mm de diâmetro. Para aplicação dos ângulos construtivos (β), onde os prefixos “4” e “5”, dizem respeito a entrada e saída do rotor, respectivamente; foram utilizadas

variações de ângulo de 30° , 40° e 50° em pás de formato reto. De mesma forma, para valores de rotação foram aplicados cinco valores, variando entre 350 rpm e 950 rpm.

Conforme Germer (2013), o estudo teórico do fluxo e as principais características do rotor são amparadas pelos vetores de velocidades de entrada de saída, sendo representados por um triângulo em um ponto qualquer do escoamento do rotor. Para aplicação deste, algumas considerações para que as linhas de corrente do fluxo sejam coincidentes com a pás, devem ser realizadas: número infinito de pás, espessura desprezível e regime permanente.

Como forma de visualização dos vetores analisados, pode-se observar na Figura 1, o triângulo de velocidades na geometria de entrada e saída do rotor:

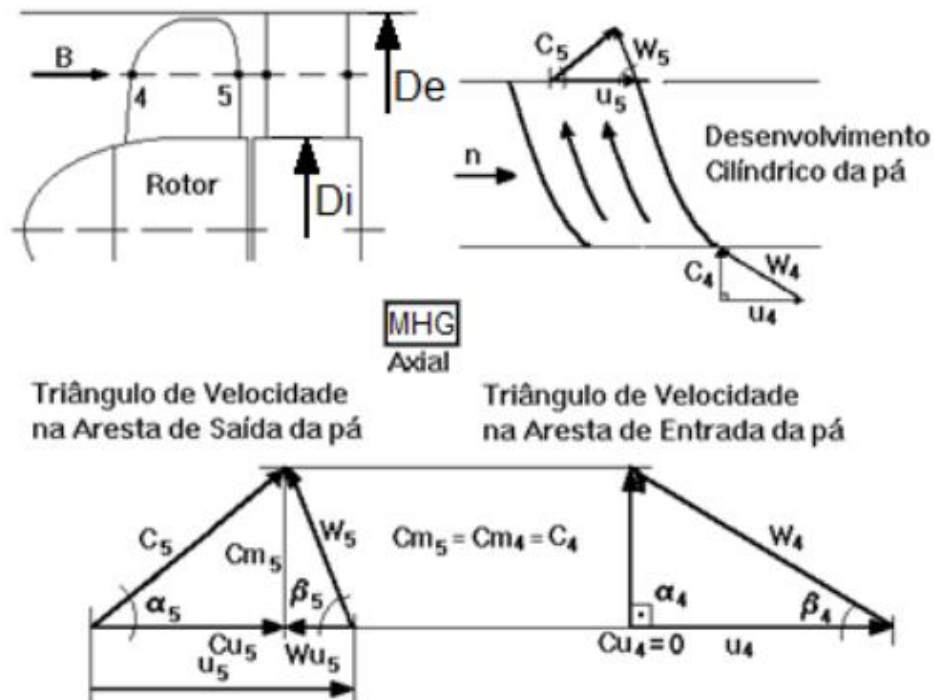


FIGURA 1. Triângulo de velocidades para máquina geradora axial. Fonte: Campos (2015).

Como definição das componentes presentes nos triângulos de velocidades na entrada e saída, temos:

c = velocidade absoluta do escoamento no ponto em estudo;

u = velocidade tangencial do rotor no ponto em estudo;

w = velocidade relativa do escoamento no ponto em estudo;

c_m = componente meridional da velocidade absoluta;

c_u = componente tangencial da velocidade absoluta;

α = ângulo formado pela velocidade absoluta e tangencial (ângulo do escoamento absoluto);

β = ângulo formado pela velocidade relativa e tangencial (ângulo construtivo).

2.1. Análise numérica

Partindo do software *ANSYS Student 2022 R2*, o desenho da geometria foi desenvolvido através da ferramenta *Fluid Flow (Fluent)* disponível na plataforma *Workbench*, mostrada na Figura 2. Em seguida, aplicando valores e parâmetros geométricos para dimensões do rotor, números de pás, ângulos e sentido do fluxo, foi feita a elaboração do desenho, utilizando-se da ferramenta *DesignModeler*, Figura 3.

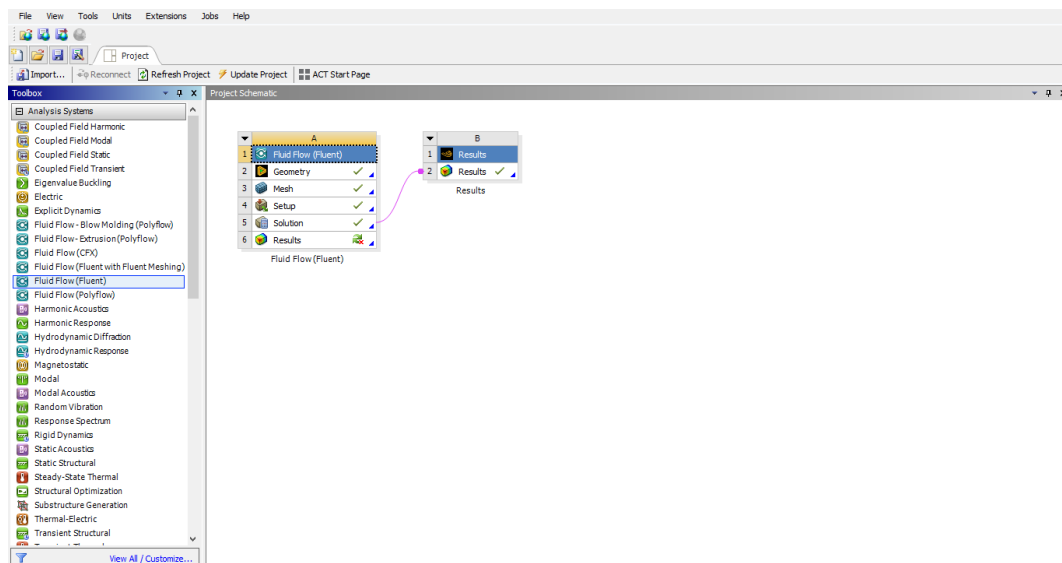


FIGURA 2. Setup Workbench.

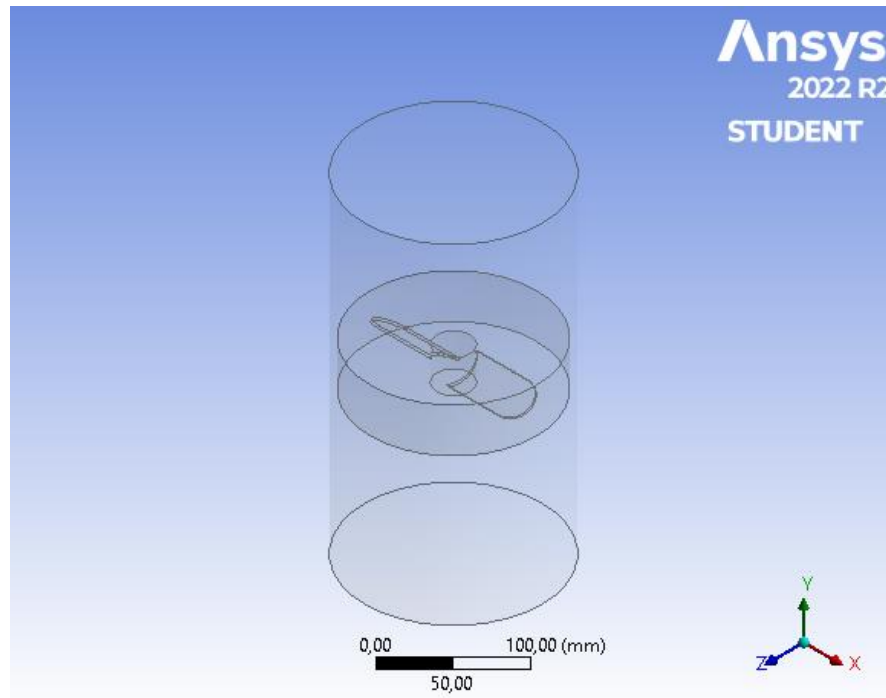


FIGURA 3. Geometria do ventilador axial para 30°.

Em seguida foi necessário a construção das malhas de estrutura e de camada limite, essa etapa foi realizada através do modo *Mesh*, onde o refinamento é empregado, como mostrado na Figura 4. Esse refinamento é importante, já que quanto maior for esse, mais preciso os resultados que serão obtidos posteriormente. Como foi utilizado a versão *Student*, que possui limitações de tamanho máximo de 512 mil elementos, dessa forma o melhor refinamento foi utilizado no rotor e carcaça, enquanto o tubo teve um refinamento menor. Ao final dessa etapa as estatísticas mostraram um valor de 299.814 elementos.

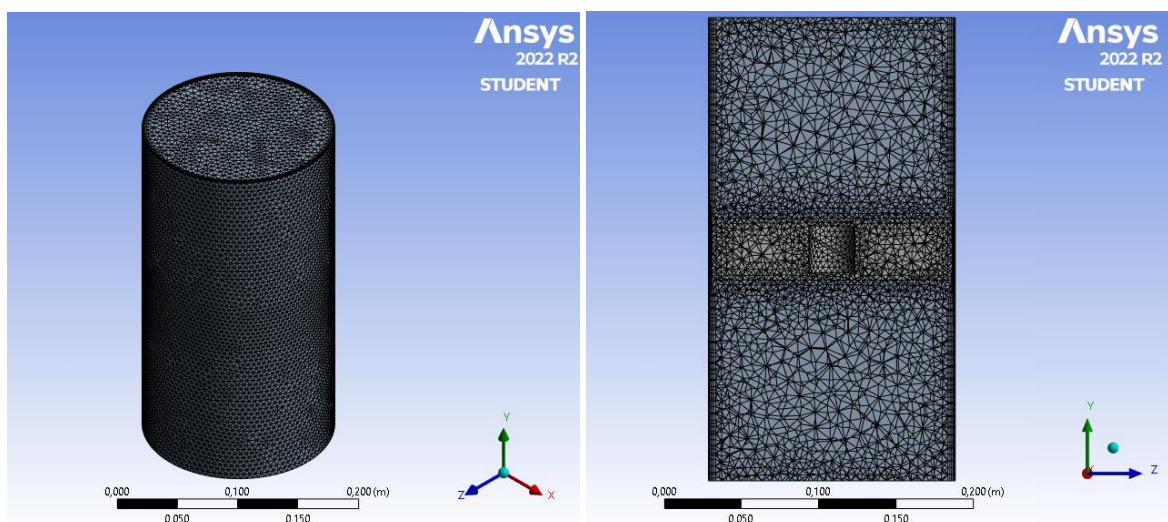


FIGURA 4. Refinamento de malha em vista isométrica e vista de secção.

Com as malhas geradas, o próximo passo são as configurações de setup para calcular todos os parâmetros envolvidos. Nesse processo foi utilizado a configuração 3D com uso de apenas 1 processador.

Uma vez dentro, primeiramente foi definido o modelo de viscosidade como k-epsilon, “considerada padrão em simulações industriais, devido a sua precisão, estabilidade e robustez” (GABBI, 2013). Para condições de zona de célula foi definido o ar como fluido de escoamento, além disso, foram empregados os valores de velocidade de rotação para o rotor. Em seguida foi definido como condição de fronteira 0 Pa como valor de pressão, em escala manométrica, tanto para os valores de entrada e quanto de saída, já que ambos estão abertos para atmosfera. Dessa forma o fluxo é orientado pela diferença de pressão criada pelas pás.

Como método de solução do acoplamento pressão-velocidade o esquema predefinido Coupled mantido. Para observação de convergência do método, foi plotado gráfico de velocidade para valores de entrada e saída, presente na Figura 5. Finalmente, a inicialização de solução foi realizada com método híbrido, com parâmetro de 2000 iterações. O número de iterações para convergência do método e o tempo de cálculo computacional variaram de acordo com os ângulos e velocidades de rotação.

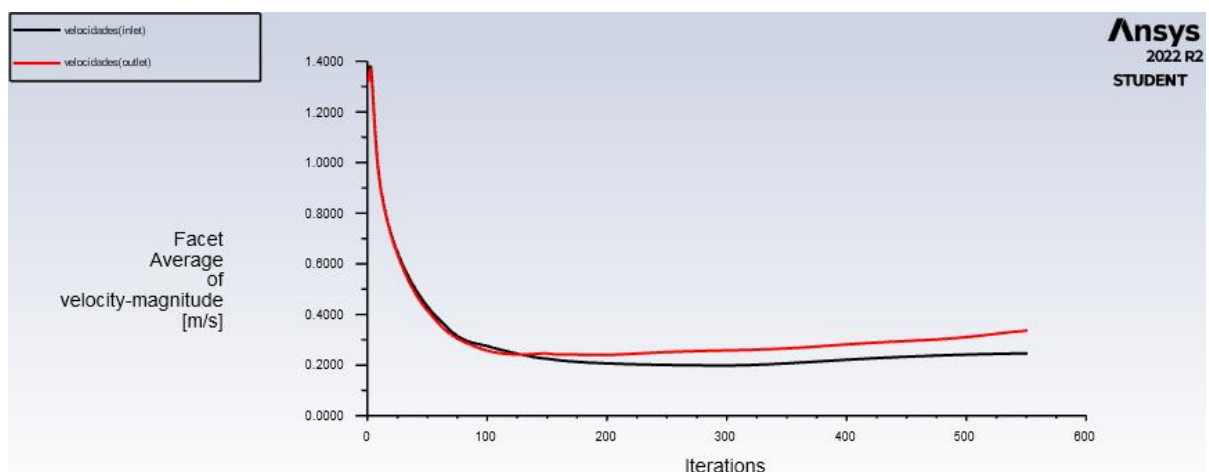


FIGURA 5. Velocidade de entrada e saída para 30° e 350 rpm.

Esses resultados são visualizados pelo *CFD-Post*, onde todos os valores de velocidade, pressão e vazão são obtidos, além da possibilidade de observação de comportamentos do escoamento. “Embora não se verifique na prática, foram considerados condições de vazão constante, viscosidade zero e fluido incompressível, para cumprimento das exigências de aplicação do teorema de Bernoulli” (GERMER, 2013). Além disso, conforme Fogal (2009), no caso dos ventiladores o fluido também é considerado incompressível, uma vez que o grau de variação de volume, quando submetido à pressão, é muito pequeno. Para obter o H calculado pelo teorema de Bernoulli, que é a altura calculada desde a seção de entrada até da saída da máquina, ou seja, que leva em consideração as próprias perdas hidráulicas da máquina, temos:

$$H = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (1)$$

Onde:

H = altura manométrica de elevação;

P = pressão estática do fluido, em Pa;

V = velocidade do fluido, em m/s;

γ = peso específico do fluido, em N/m³;

g = aceleração da gravidade, em m/s².

Em seguida, foi realizado cálculo da vazão em volume:

$$Q = VA \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão volumétrica, em m³/s;

V = velocidade média, em m/s;

A = área da seção, em m².

Por fim, com os valores obtidos anteriormente, foram encontrados os valores para potência hidráulica. A fórmula foi utilizada tanto para o método numérico, quanto para o método analítico, que será visto adiante.

$$P_h = \rho gQH \quad (3)$$

Onde:

P_h = potência hidráulica, em W;

ρ = massa específica do fluido, em kg/m³.

2.2. Análise analítica

Para essa análise é utilizada a equação fundamental das máquinas de fluxo, também conhecida como equações de Euler, para uma máquina com número infinito de pás. Seguindo a consideração de Henn (2006), como uma equação com escoamento em regime permanente, sem perdas de energia e com fluxo de massa constante, ou seja, partido da suposição de uma máquina ideal.

Através da observação do triângulo de velocidades na Figura 1, temos, segundo Germer (2013), para máquinas axiais, a igualdade da componente meridional “C_m” na entrada e saída devido a igualdade de áreas:

$$Q = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2)C_{m4} = \frac{\pi}{4}(D_e^2 - D_i^2)C_{m5} \quad (4)$$

Onde:

Q = Vazão que passa pela seção, em m³/s;

D_e = diâmetro externo, em m;

D_i = diâmetro interno, em m;

C_{m4} = velocidade meridional na entrada do rotor, em m/s;

C_{m5} = velocidade meridional na saída do rotor, em m/s.

Como próximo passo, a partir das componentes previamente calculadas e com vazão obtida, calculamos a altura manométrica total teórica para número infinito de pás, que é a altura calculada na saída do rotor. Segundo Germer (2013), pode-se avaliar o efeito do ângulo construtivo no funcionamento do rotor. Considerando a entrada sem turbulência ($\alpha_4=90^\circ$) tem-se que a altura teórica de elevação para número infinito de pás é dado por:

$$H_{t\infty} = \frac{u_5^2}{g} - \frac{u_5 \cot g(\beta_5)}{\pi D_5 b_5 u_5} Q \quad (5)$$

Onde:

H_{t∞} = altura teórica de elevação para número infinito de pás, em m;

u₅ = velocidade tangencial, em m/s;

g = aceleração de gravidade, em m/s²;

D₅ = diâmetro externo do rotor, em m;

b₅ = largura do canal, em m.

Como o valor de altura teórica foi obtido para uma situação ideal, considerando número infinito de pás; “para escoamento real deve-se considerar alterações provocadas por situações reais que não haviam sido consideradas” (GERMER, 2013). Dessa forma, essas alterações fazem altura teórica diminuir:

$$H_{t\infty} = aH_t \quad (6)$$

Onde:

H_t = altura teórica de elevação para número finito de pás;

a = fator de correção.

De acordo com Barbosa (2010), o valor de correção utilizando o método de Pfleiderer para bombas e ventiladores axiais, é obtido baseando-se na Equação 7:

$$a = 1 + r_m \Psi \frac{1}{Zc} \quad (7)$$

Onde:

$\Psi = k(1 + \sin \beta_5)$ com $k = 1$ a $1,2$;

r_m = raio à altura média da pá, em m;

Z = número de pás;

c = corda axial, em m.

Após a correção para o caso em estudo, que possui apenas duas pás, é possível obter o valor de altura teórica. Finalmente, utilizando-se da Equação 3, a potência hidráulica é novamente calculada para essa análise.

3. RESULTADOS

Os resultados obtidos entre os métodos utilizados foram plotados em gráficos que comparam o desempenho dos parâmetros de altura de elevação e potência hidráulica, entre cada um dos diferentes valores de rotação e ângulo construtivo. Lembrando que as considerações aplicadas para método analítico são diferentes das extraídas pelo método numérico, é possível observar uma grande diferença entre os resultados apresentados.

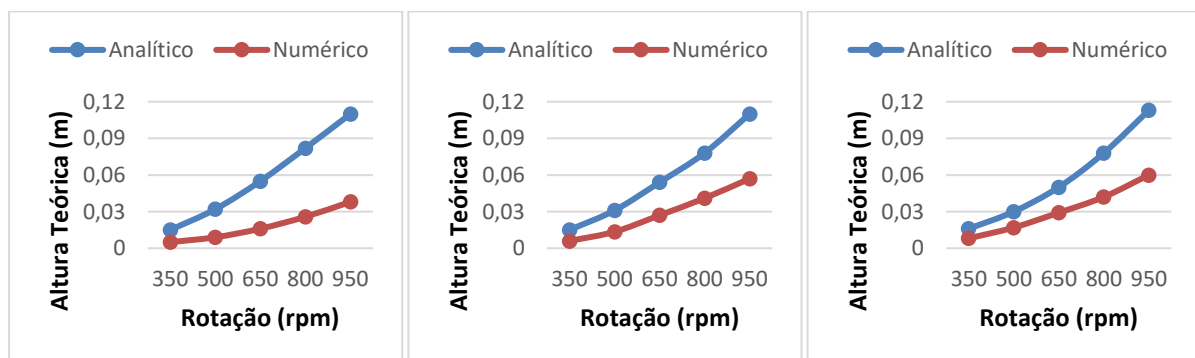


FIGURA 6. Curva de altura teórica x rotação para β_5 30°, 40° e 50°, respectivamente.

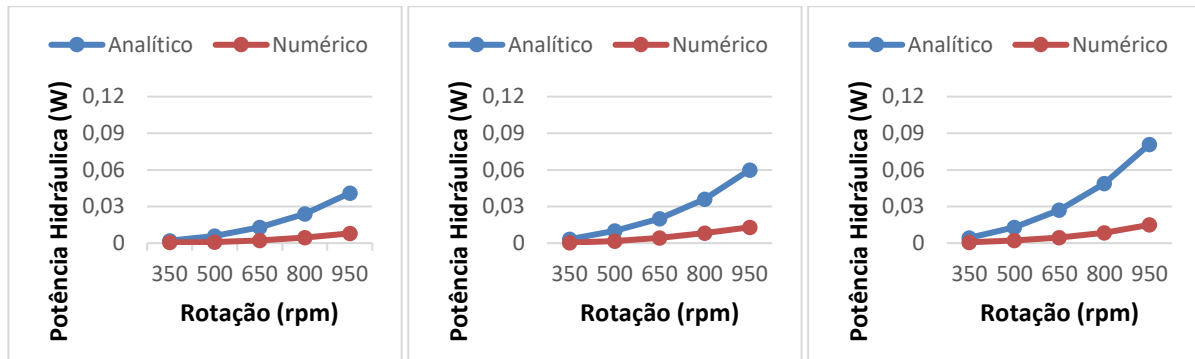


FIGURA 7. Curva potência hidráulica x rotação para β 30°, 40° e 50°, respectivamente.

Para caso de altura teórica, na Figura 6, os valores partem de pontos próximos à baixas velocidade de rotação e à medida que esses valores vão aumentando, a crescente da curva analítica é muito superior à curva numérica, uma vez que $H_t > H$. Dessa maneira, observa-se que à medida que a rotação aumenta as perdas também aumentam, fazendo com que o rendimento hidráulico seja menor.

Para curva de potência hidráulica, nas Figura 7, o comportamento é similar ao comportamento das curvas de altura teórica, porém com diferenças de valores entre pontos ainda maior.

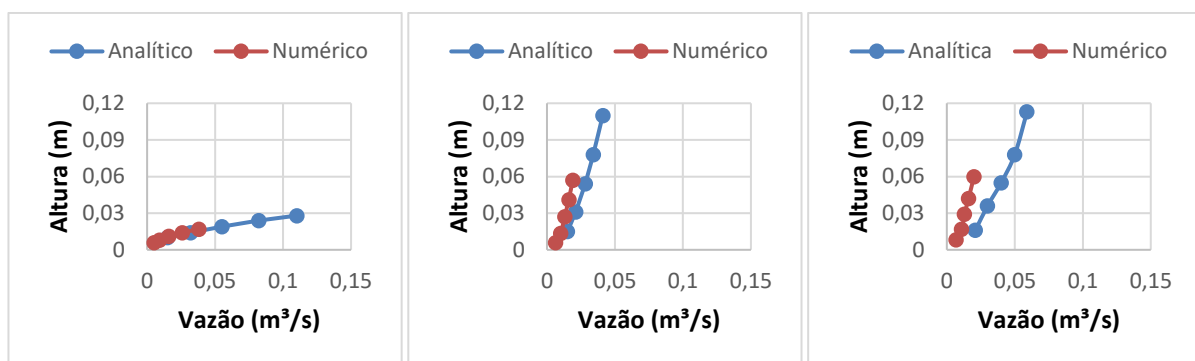


FIGURA 8. Curvas características HxQ para β 30°, 40° e 50°, respectivamente.

Diferentemente das anteriores, na Figura 8 os gráficos de curvas características demonstram comportamento de curva mais próximos para ângulo construtivo de 30°, sendo que à medida que os ângulos aumentam, existe uma maior distância entre curvas de cada método, além de uma menor vazão causada por perdas.

É perceptível através dos resultados apresentados uma diferença quantitativa entre os métodos apresentados, isso deve-se a geometria desenvolvida para método numérico. O ventilador de rotor axial com apenas duas pás não se mostrou muito bom, já que o baixo número de pás, além não guiar o fluido de forma satisfatória, não contribui muito para aumento de altura e de potência, que por sua vez se dá por conta do aumento da velocidade de rotação e ângulo construtivo de saída (β 5).

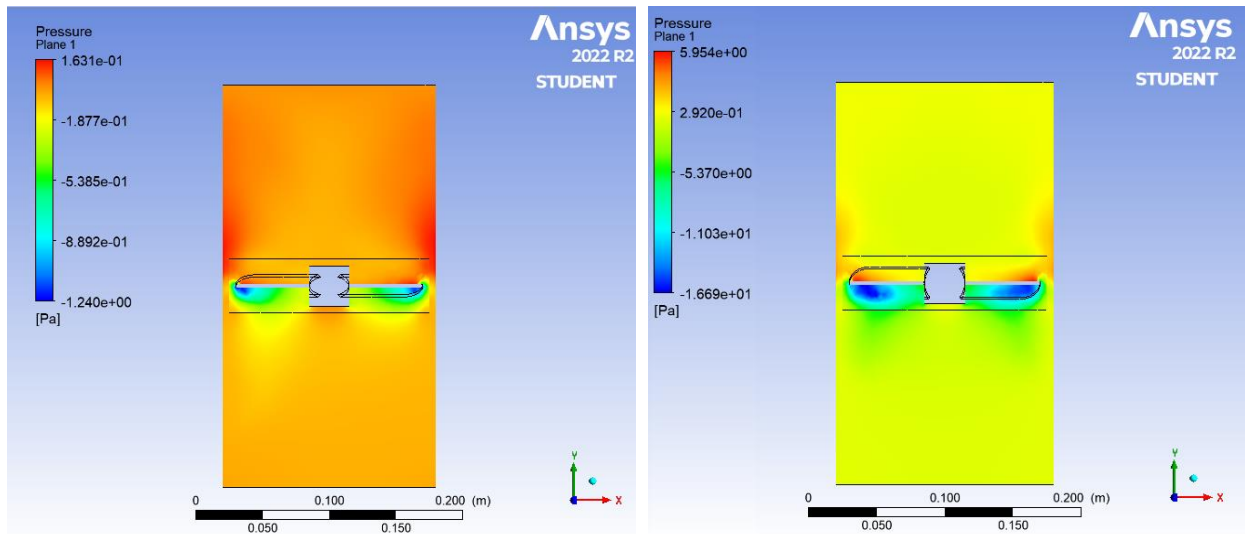


FIGURA 9. Campos de pressão para $\beta_5 30^\circ$ com 350 rpm e $\beta_5 50^\circ$ com 950 rpm, respectivamente.

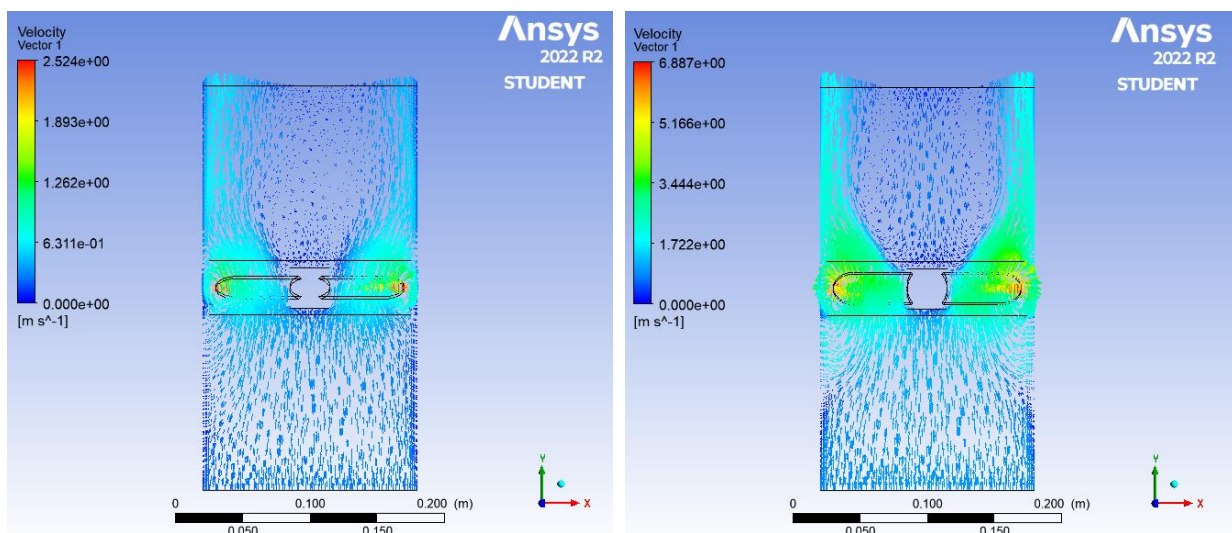


FIGURA 10. Vetores de velocidade para $\beta_5 30^\circ$ com 350 rpm e $\beta_5 50^\circ$ com 950 rpm, respectivamente.

Nas Figuras 9 e 10 é possível visualizar, respectivamente, aumento dos campos de pressão e velocidade. Conforme o aumento do ângulo construtivo e da velocidade de rotação, o que é natural uma vez que o rotor entrega energia ao fluido, também aumenta a presença dos vórtices na entrada do rotor, além de recirculação no próprio rotor, condições essas que geram perdas volumétricas que interferem nos resultados aplicados na análise numérica.

4. CONCLUSÃO

Por uma verificação geral a Figura 6 comunica que o ventilador apresentou resultados melhores para todos β_5 em baixas velocidades, uma vez que H e H_t tiveram valores muito próximos em 350 rpm e de acordo com aumento de velocidade, ocorre aumento de perdas hidráulicas através de influências externas, como por exemplo: deslocamento de camada limite, dissipação de energia por mudanças de direção e choque com as pás. Já a potência hidráulica, na Figura 7, mostrou que o método analítico apresenta nas curvas, grande crescente de acordo como o aumento de ângulo, porém não acompanhado pelos valores obtidos pelo método numérico, já que para atingir valor de potência, valores de altura e vazão são utilizadas, então os fatores de influência externas destes também se encontram presentes. Neste caso, β_5 de 50° é demonstrado como melhor resultado de comparação entre as duas análises.

Enquanto isso, na Figura 8, as curvas características mostram que o desempenho em β_5 de 30° foi melhor do ponto de vista de uma maior vazão volumétrica e mesmo com aumento da velocidade de rotação as curvas mantiveram-se próximas, diferente dos dois ângulos maiores, mostrando que a variação de angulação interferiu nos resultados observados. De mesma forma, a influência da angulação afetou diretamente nos baixos valores de altura, mesmo a maiores velocidades. Lembrando que, como retratado no parágrafo anterior, essas curvas também trazem consigo as perdas já presentes em outros parâmetros utilizados.

Dessa forma é possível concluir a influência direta trazida pelas mudanças de angulação nas pás do ventilador, gerando diversas alterações no escoamento de ar, como retratadas nos parágrafos anteriores. Entre as opções inspecionadas é determinado como melhor opção de ângulo β_5 de 40° , pois apesar de não possuir curvas de altura de elevação mais próximas, como em β_5 de 50° , nem curvas características de comportamento mais próximos, como os de β_5 de 30° ; foi o valor de ângulo que, de forma abrangente, melhor englobou aos parâmetros observados. Já para velocidade de rotação, valores mais baixos mostraram-se melhores na comparação entre os métodos.

Como sugestão para futuros trabalhos, proponho um modelo prático para fins de comparação entre resultados dos modelos analítico e numérico. Além disso, a utilização do software Ansys Fluent com uma licença de versão estendida de forma a não limitar o número de elementos presente na geometria seria indicada, uma vez que, uma geometria com melhor refinamento, seria uma mudança agregadora para melhores resultados.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. R. Máquinas de fluxo. ITA. São José dos Campos. São Paulo, Brasil, 859p., 2010.

BORGES, S. S. Análise da geração de ruído em ventiladores de fluxo axial composto por rotores centrífugos de pás radiais. Dissertação de mestrado - UDESC, 226p., 2013.

BRASIL, A. N. Máquinas termohidráulicas de fluxo. Brasil, 42p., 2006.

CAMPOS, M. C. Máquinas Hidráulicas. Curitiba, Paraná, Brasil, 89p., 2015.

FOGAL, M. L. F. Estudo teórico e experimental das curvas características de um ventilador aplicado em pulverização agrícola. Dissertação de mestrado - Unesp, 120p., 2002.

GABBI, R. Modelagem matemático do escoamento turbulento em canal axissimétrico com “Bluff-Body”. Dissertação de mestrado – Unijuí, 92p., 2013.

GERMER, E. Máquina de fluidos. UTFPR, Curitiba, Paraná, Brasil, 109p., 2013.

HENN, E. A. L. Máquinas de fluido. 2ª Edição. UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, 474p., 2006.