

# Experimental study of the opening angle with different rotors in a wind tunnel

## Estudo Experimental do ângulo de abertura com rotores diferentes em um túnel de vento

Article Info:

Article history: Received 2022-08-14 / Accepted 2022-10-10 / Available online 2022-10-13

doi: 10.18540/jcecv18iss7pp14770-01e

**Jean Carlos de Almeida Nobre**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8291-5092>

Universidade Federal do Pará -UFPA, Brazil

E-mail: [jean.nobre@ananindeua.ufpa.br](mailto:jean.nobre@ananindeua.ufpa.br)

**David Lohan Pereira de Sousa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-0377>

Universidade Federal do Pará -UFPA, Brazil

E-mail: [david.sousa@ananindeua.ufpa.br](mailto:david.sousa@ananindeua.ufpa.br)

**Luiz Claudio Fialho Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1390-5661>

Universidade Federal do Pará -UFPA, Brazil

E-mail: [lfialho@ufpa.br](mailto:lfialho@ufpa.br)

### Resumo

Este experimento tem como objetivo principal verificar o rendimento de um ventilador em um túnel de vento conforme a abertura da válvula de saída de ar, inserindo rotores diferentes um com 12 pás e o outro com 16 pás. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, para o desenvolvimento da experiência, seguem-se as seguintes etapas: liga-se o ventilador; mede-se a intensidade de corrente; mede-se a altura manométrica entre os pontos antes e depois dos rotores com os tubos em  $U$  e Pitot; abre-se a válvula em “0%” repete-se as etapas até atingir 100% de abertura com uma distância de 20 unidades (mm). Após a realização dessas etapas e a coleta de dados como alturas manométricas, dados dimensionais e dados fornecidos pela própria máquina acoplada ao Túnel de Vento. Com isso, realiza-se os devidos cálculos para encontrar o rendimento do ventilador utilizando como base principal a equação de Bernoulli onde encontrou-se: velocidade média, pressões, potência elétrica, potência cedida ao fluido e o rendimento.

**Palavras-chave:** Túnel de vento. Rendimento de um ventilador. Rotores.

### Abstract

This experiment has as main objective to verify the performance of a fan in a wind tunnel according to the opening of the air outlet valve, inserting different rotors, one with 12 blades and the other with 16 blades. The research was carried out at the Mechanical Engineering Laboratory of the Federal University of Pará, for the development of the experiment, the following steps are followed: the fan is turned on; the current intensity is measured; the head is measured between the points before and after the rotors with the  $U$  and Pitot tubes; the valve is opened at “0%” and the steps are repeated until reaching 100% opening with a distance of 20 units (mm). After carrying out these steps and collecting data such as manometric heights, dimensional data and data provided by the machine itself coupled to the Wind Tunnel. With this, the necessary calculations are carried out to find the efficiency of the fan using as main basis the Bernoulli equation where it was found: average speed, pressures, electrical power, power given to the fluid and the efficiency.

**Keywords:** Wind tunnel. Performance of fan. Rotors.

## 1. Introdução

Os túneis de vento nada mais são do que estruturas que propiciam a simulação do comportamento do ar em relação a diversas perspectivas. A função básica de um ventilador é fornecer energia necessária para mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. Parte desta energia é fornecida na forma de aumento da pressão estática, necessária para vencer as perdas do sistema, e parte na forma de pressão dinâmica, necessária para manter o ar em movimento. As curvas características de um ventilador demonstram o seu desempenho para uma dada massa específica do ar, essas curvas são adquiridas através de análises experimentais que possibilitam relacionar a eficiência da máquina com a sua potência. A experiência consiste em avaliar o rendimento de um ventilador ( $n$ ) em função da vazão.

## 2. Fundamentação Teórica

O túnel de vento tem uma grande importância para a parte aerodinâmica, fornecendo informações muito úteis para a estabilidade de muitas estruturas na construção civil, por exemplo, edifícios, pontes, plataforma de petróleo. Contribuem na previsão de desempenho de automóveis, submarinos, e principalmente é de suma importância para o setor aeronáutico. Este equipamento é extremamente utilizado no estudo de deslocamento de fluido sobre um perfil, desejando-se entender a atuação do escoamento neste objeto. O túnel de vento possibilita a compreensão de forças e fenômenos relacionados à aerodinâmica, desta maneira este equipamento é capaz de avaliar a forma como o fluido atua ao passar por determinadas superfícies. Assim sendo, permite a simulação das principais características da corrente de ar em contato com a superfície, para testar a aerodinâmica de muitos objetos científicos de aerodinâmica produzindo fenômenos como presença de *vortex*, força de sustentação e arrasto, onde o objetivo deste equipamento é simular o impacto da corrente de ar em toda a área do objeto em questão. Um túnel baseia-se praticamente onde o ar pode entrar (subsônico, supersônico e hipersônico), parte pelo objeto experimentado, controlado por um banco analítico do lado de fora. O primeiro túnel de vento, ou algo semelhante a um túnel de vento foi construído entre 1707 e 1751 pelo engenheiro e matemático chamado Benjamin Robins, que construiu um braço giratório para entender o efeito do vento sobre um determinado perfil aerodinâmico, para medir a força de arrasto onde realizou as primeiras experiências na aviação antes que os testes com túneis de vento pudessem ser projetados (CHANDLER, 2011).

O primeiro túnel de vento que se tem notícia, acionado por uma máquina a vapor, foi construído na Inglaterra em 1871, para a “*Aeronáutica Society of Great Britain*”, por um dos fundadores desta associação, Frank H. Wenham (GORECKI, 1988).

Os túneis de vento são formados por ventiladores, tubos para a circulação do ar, corredores para o escoamento e cinco áreas reservadas para os ensaios. Os túneis de vento podem ser classificados com base na velocidade do fluxo de ar na seção de teste (SANTOS, 1951).

Entre as camadas do fluido em escoamento há uma troca transversal de quantidade de movimento molecular ou viscoso, de tal sorte que as moléculas da camada mais rápida chocam-se com as da camada mais lenta, acelerando-as, enquanto que retardam-se recebendo os choques das moléculas mais lentas. Há a necessidade da aplicação da força viscosa para que seja mantido o gradiente de velocidade e, portanto, o escoamento do fluido viscoso (COIMBRA, 2015).

A propriedade de pressão do fluido pode ser ainda expressa na forma de pressões absolutas e pressões manométricas. A pressão absoluta é medida tendo como referência a pressão de zero absoluto, enquanto a pressão manométrica é medida tendo como referência a pressão atmosférica (VILANOVA, 2011).

A equação de Bernoulli é obtida a partir do teorema da conservação da energia mecânica, da relação entre trabalho mecânico e a energia dos corpos. Ela é provavelmente a equação mais famosa e mais usada em toda a Mecânica dos Fluidos. É sempre tentador querer usá-la, pois trata-se de uma equação algébrica que relaciona as variações de pressão com aquelas de velocidade e de elevação

em um fluido. Por exemplo, ela é usada para explicar a sustentação de uma asa de avião: em aerodinâmica, geralmente, o termo gravitacional é desprezível, então a equação indica que, onde quer que a velocidade seja relativamente alta (por exemplo, sobre a superfície superior de uma asa de avião), a pressão deve ser relativamente baixa e onde quer que a velocidade seja relativamente baixa (por exemplo, sob a superfície inferior de uma asa), a pressão deve ser relativamente alta, gerando uma sustentação substancial. (FOX *et al*, 2011)

Apesar da equação de Bernoulli ser uma das equações mais utilizadas na Mecânica dos Fluidos possui algumas limitações, tais como: ser aplicada a um escoamento em regime permanente, escoamento sem atrito, nenhum trabalho de eixo, escoamento incompressível, nenhuma transferência de calor, devendo ser aplicado a um escoamento ao longo de uma linha de corrente (ÇENGEL; CIMBALA, 2007).

A conservação de massa exige que a massa do sistema seja constante durante o escoamento, a massa de fluido que se desloca por uma seção de um tubo de corrente deve ser idêntica àquela que o abandona por outra seção qualquer. Sendo assim, quando o escoamento de um fluido passar por uma seção menor do que está se deslocando a velocidade aumenta tornando sua massa constante. Esse efeito é denominado como princípio de conservação de massa (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

As máquinas de fluxo são equipamentos que operam transformações de energia, extraíndo energia do fluido de trabalho e transformando-a em energia mecânica ou transferindo a energia mecânica ao fluido de trabalho. São classificadas em máquinas de fluxo geradoras e motoras. Define-se a primeira apenas substituindo energia elétrica por energia de fluido e a segunda em que a energia mecânica é gerada a partir da diminuição do nível energético de um fluido (HENN, 2006).

### 3. Material e Métodos

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará (LABEM). O foco da pesquisa é analisar o rendimento do ventilador em relação a abertura das válvulas e a quantidade de pás dos rotores usados. Para desenvolvimento da experiência, seguem-se as seguintes etapas: liga-se o ventilador; mede-se a intensidade de corrente; mede-se a altura manométrica entre os pontos antes e depois dos rotores com os tubos em  $U$  e Pitot; abre-se a válvula em “0%” repete-se as etapas até atingir 100% com uma distância de 20 unidades (mm), sendo que 0% significa uma abertura mínima para o escoamento do fluido (Ar). Após a realização dessas etapas realiza-se os devidos cálculos para encontrar o rendimento do ventilador.

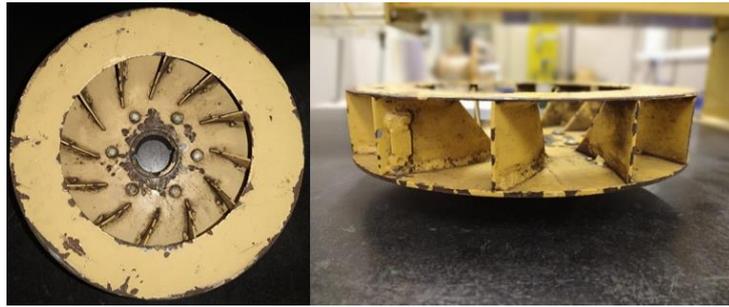
Para determinação da velocidade média de escoamento, utiliza-se um manômetro em  $U$  e um tubo de Pitot. A velocidade média de escoamento é determinada através da medição da altura manométrica medida no Pitot e a aplicação da Equação de Bernoulli. Para determinação da potência cedida ao fluido, utiliza-se um manômetro em  $U$  ligado às tomadas de pressão estática na sucção e descarga do ventilador. De posse da velocidade média de escoamento e da área da seção do duto, calcula-se a vazão e a altura manométrica, a aplicação da Equação de Bernoulli fornece a equação para a potência fornecida ao fluido e por fim encontra-se o rendimento do ventilador.

O rotor 1 é composto de 16 pás, como ilustra a Figura 1.



Figura 1 - Rotor 1. (Autores, 2022)

O rotor 2 é composto de 12 pás, como ilustra a Figura 2.



**Figura 2 - Rotor 2. (Autores, 2022)**

A Figura 3 ilustra o Tubo em U, onde sua unidade é expressa em milímetros (mm).



**Figura 3 - Tubo em U. (Autores, 2022).**

A Figura 4 ilustra a corrente no ventilador, em Amperes (A).



**Figura 4 - Sensor de Corrente. (Autores, 2022).**

A Figura 5 mostra o túnel de vento com 75 mm de diâmetro e todos os acessórios acoplados.



Figura 5 - Túnel de Vento. (Autores, 2022)

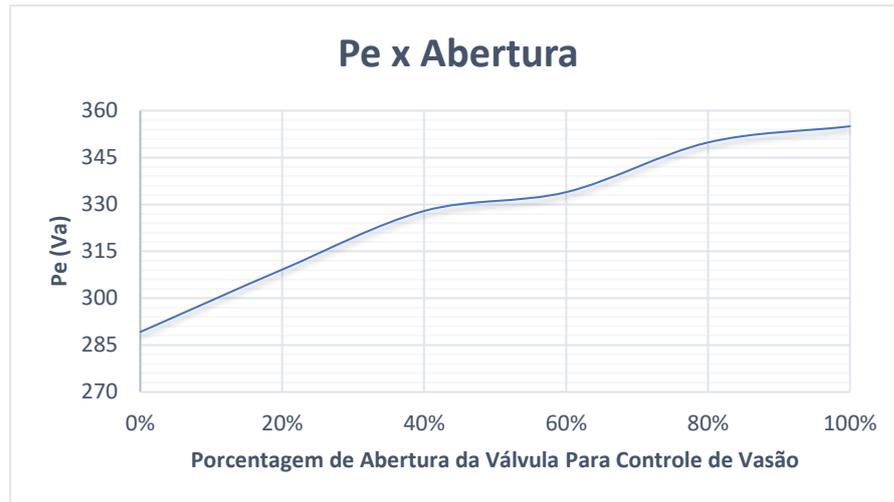
#### 4. Resultados e Discussões

Para o Rotor 1 encontrou-se os seguintes resultados em relação às alturas manométricas ( $H_{man}$  e  $X_{man}$ ), corrente ( $I$ ), potência elétrica ( $P_e$ ), potência cedida ao fluido ( $P_f$ ) e o rendimento, conforme a abertura da válvula ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados Rotor 1. (Autores, 2022)

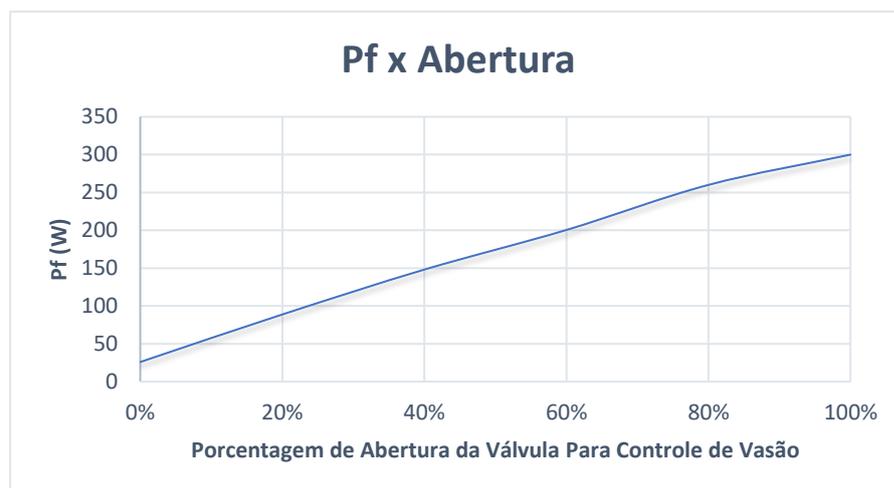
Abertura da Válvula	$H_{man}$ (m)	$X_{man}$ (m)	$I$ (A)	$P_e$ (Va)	$P_f$ (W)	Rendimento (%)
100%	0,214444	0,168644	2,9	355	300	84,50
80%	0,215714	0,150345	2,9	349,84	260	74,31
60%	0,215143	0,128448	2,8	333,93	200,44	60,02
40%	0,212623	0,212623	2,7	327,91	148,06	45,15
20%	0,205593	0,035085	2,4	309,16	88,76	28,71
0%	0,208500	0,010169	2,1	289,19	25,90	8,95

A Figura 6 mostra a relação de potência elétrica e abertura para o Rotor 1, mostra que conforme a válvula é aberta a potência elétrica aumenta.



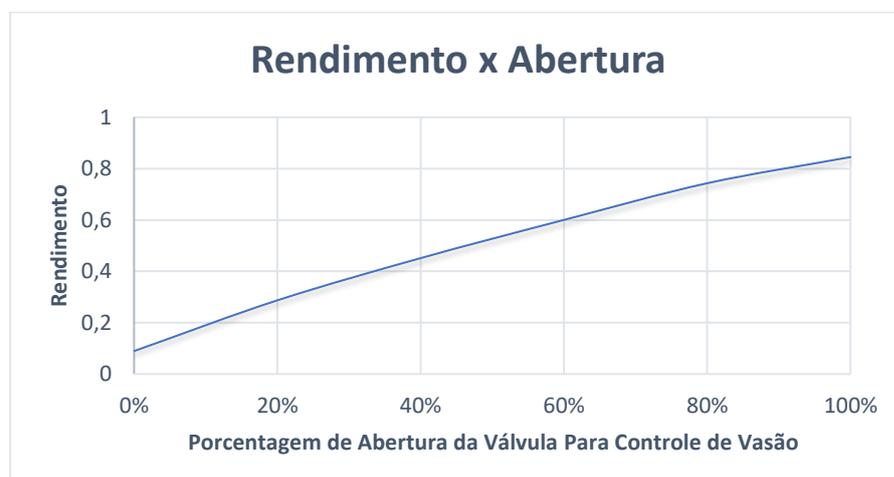
**Figura 6 - Relação entre  $Pe$  x Abertura. (Autores, 2022)**

A Figura 7 mostra a relação entre potência cedida ao fluido e abertura da válvula para o Rotor 1, mostra que a maior potência aplicada ao fluido tem crescimento constante até a abertura total válvula.



**Figura 7 - Relação  $Pf$  x Abertura. (Autores, 2022)**

A Figura 8 mostra a relação entre rendimento e abertura da válvula para o Rotor 1, mostra que o rendimento é crescente conforme a abertura da válvula.



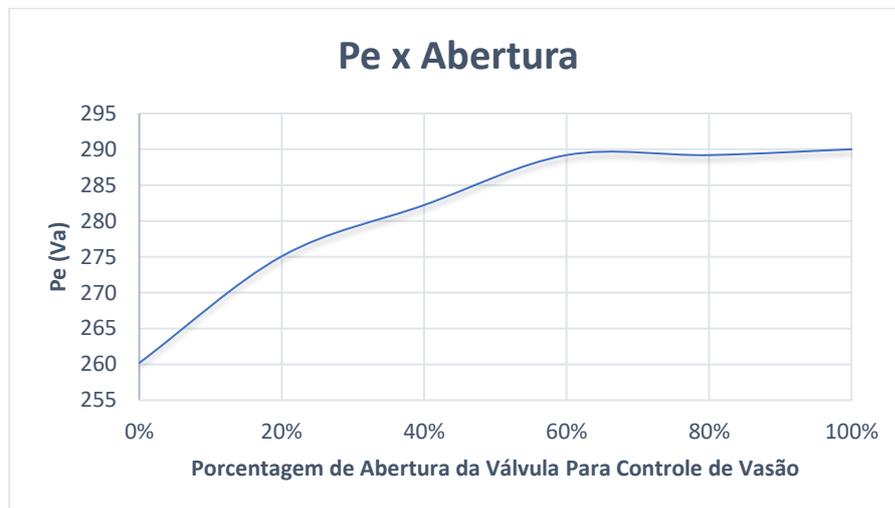
**Figura 8 - Rendimento x Abertura. (Autores, 2022)**

Para o Rotor 2 a Tabela 2 mostra os valores encontrados para as alturas manométricas, corrente, potência elétrica, potência cedida ao fluido e o rendimento, conforme a abertura da válvula.

**Tabela 2 – Resultados Rotor 2. (Autores, 2022)**

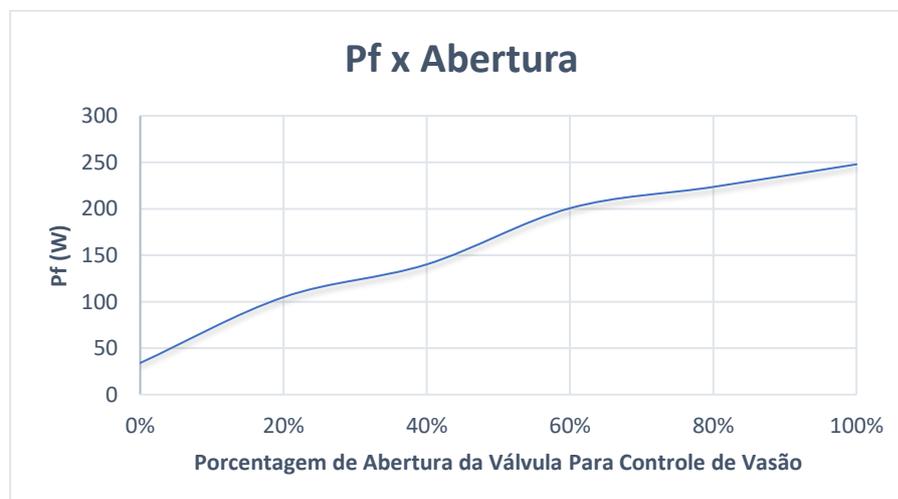
Abertura da Válvula	Hman (m)	Xman (m)	I (A)	Pe (Va)	Pf (W)	Rendimento (%)
100%	0,157759	0,120862	2,1	290	247,86	85,46
80%	0,117586	0,158621	2,1	289,19	223,50	77,28
60%	0,160345	0,107241	2,1	289,19	200,61	69,36
40%	0,163793	0,081552	2	282,22	140,16	49,66
20%	0,167931	0,045862	1,9	275,07	104,86	38,12
0%	0,165690	0,015000	1,7	260,19	34,06	13,09

Abaixo na Figura 9 tem-se a relação entre a potência elétrica e a abertura da válvula para o Rotor 2, que mostra um aumento da potência elétrica até 60%, a partir daí até 100% mostra que as potências são próximas umas das outras entre os intervalos de 20%.



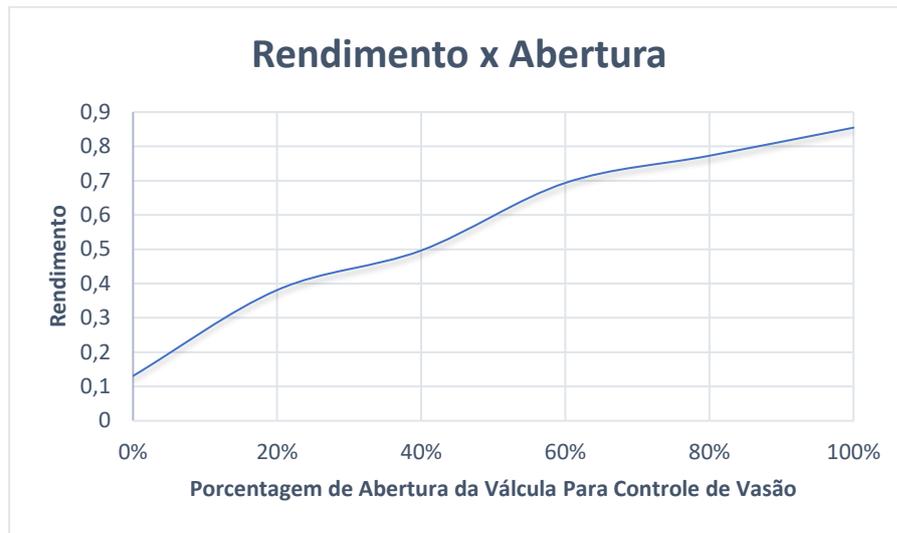
**Figura 9 - Relação de Potência Elétrica e Abertura no Rotor 2. (Autores, 2022)**

A Figura 10 ilustra a relação entre a potência cedida ao fluido e a abertura da válvula que mostra um aumento de potência cedida crescente conforme a abertura da válvula até 100%.



**Figura 10 - Potência Cedida ao Ar. (Autores, 2022)**

A Figura 11 mostra que o rendimento do ventilador é maior com a válvula 100% aberta.



**Figura 11 - Rendimento no Rotor 2. (Autores, 2022)**

As potências fornecidas ao fluido junto com a potência elétrica do motor foram calculadas com as equações vistas anteriormente no trabalho. Os resultados das potências, rendimentos e pressões estão ilustradas a partir da Figura 6 e vai até a Figura 11.

Analisando os gráficos acima, nota-se que as potências aumentam conforme a abertura, devido a maior vazão e corrente, percebe-se também que as pressões no Rotor 1 são maiores devido o número de pás, ou seja, quanto menor o número de pás menor a pressão no escoamento do fluido. Com isso, adotou-se uma margem de erros para os dados encontrados tanto para pressão, potência, vazão e rendimento, de 5% para mais ou para menos.

#### 4. Considerações Finais

A presente pesquisa é de suma importância para o meio industrial pois partindo do pressuposto de troca de rotores para uma melhor performance da máquina de trabalho em si, análises desse tipo podem beneficiar inúmeras áreas desde bombas, ventiladores, até uma melhor produção de energia eólica por exemplo, entre infinitas melhorias ao meio científico e industrial.

Na experiência, analisou-se que o equipamento apresentou valores coerentes tanto para o Rotor 1 e Rotor 2. Observa-se que o trabalho do ventilador aumenta de acordo com o decréscimo da altura manométrica e com o aumento da vazão, e a pressão diminui conforme o número de pás do rotor. O trabalho elétrico aumenta de acordo com a variação da corrente elétrica. O rendimento ventilador/motor é crescente com o aumento da abertura de válvula e, conseqüentemente, da vazão. Isso acontece devido o rendimento ser em função do trabalho do ventilador e do trabalho elétrico.

#### Referências

- Çengel, Y. A; Cimbala, J. M. (2007). *Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações*. São Paulo: McGraw-Hill.
- Chandler, Nathan. *How Wind Tunnels Work*. (2011). Disponível em: <<http://science.howstuffworks.com/Wind-tunnel.htm>>. Acesso em: 15 de junho de 2022.
- Coimbra, A. L. (2015). *Mecânica dos Fluidos*. Coppe UFRJ, Rio de Janeiro.
- Fox R. W., McDonald A. T., Pritchard P. J. (2011). *Introdução à mecânica dos fluidos*. 7 ed., LTD Rio de Janeiro.
- Henn, E. A. L. (2006). *Máquinas de fluido*. 2 ed., Santa Maria, Editora da UFSM.

- Gorecki, J. P. Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro. (1988). *Encit 88 – II Encontro Nacional de Ciências Térmicas*. Águas de Lindóia – SP.
- Munson, B. R.; Young, D. F.; Okiishi, T. H. (2004). *Fundamentos da mecânica dos fluidos*. São Paulo: E. Blücher.
- Santos, A.P. (1951). Projeto de um Pequeno Túnel Aerodinâmico. *Revista Politécnica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas*, São Paulo, nr. 434,p.46-54.
- Vilanova, L. C. (2011). *Mecânica dos Fluidos*. e-Tec Brasil, Santa Maria, RS.