

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
LEANDRO VIEIRA DIAS DOS SANTOS

**REVITALIZAÇÃO DO TUNEL DE VENTO VERTICAL DA
UNIVERSIDADE DE TAUBATE**

TAUBATÉ
2017

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
LEANDRO VIEIRA DIAS DOS SANTOS

**REVITALIZAÇÃO DO TUNEL DE VENTO DA
UNIVERSIDADE DE TAUBATE**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso Superior de
Engenharia Aeronáutica da Universidade
de Taubaté para a obtenção do diploma
de Engenheiro em Aeronáutica.

Orientador:

Prof. Mestre Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto

TAUBATÉ

2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

S237r Santos, Leandro Vieira Dias dos
Revitalização do túnel de vento vertical da Universidade
de Taubaté. / Leandro Vieira Dias dos Santos. - 2017.

36f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Aeronáutica) –
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto,
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Túnel de vento vertical. 2. Aeronáutica. 3.
Escoamento. 4. Fumaça. 5. Aerodinâmica. I. Título.

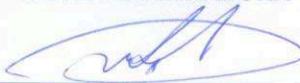
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
LEANDRO VIEIRA DIAS DOS SANTOS

**REVITALIZAÇÃO DO TUNEL DE VENTO VERTICAL
DA UNIVERSIDADE DE TAUBATE**

Trabalho de Graduação apresentado à
Coordenação do Curso Superior de
Engenharia Aeronáutica da Universidade
de Taubaté para a obtenção do diploma
de Engenheiro em Aeronáutica.

Taubaté, 27 de Novembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Msc. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto
Universidade de Taubaté



Prof. Msc. Paulo de Tarso de Moraes Lobo
Universidade de Taubaté

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter proporcionado este desafio aonde venho a concluí-lo com êxito.

À minha família que por esses anos todos de faculdade vem sempre me apoiando e me dando força para sempre continuar em frente, mesmo com tempos difíceis sempre pude contar com minha família me dando animo para seguir em frente até o fim desta jornada.

À Universidade e seu corpo docente por ter nos acompanhado e nos instruído conhecimentos durante todos os anos do curso.

Ao professor Pedro Marcelo Ferreira Pinto, meu orientador pelo apoio, pelas correções, que foi de grande importância para a conclusão deste trabalho.

A todos os colegas e amigos envolvidos direta e indiretamente nesta minha incrível jornada no curso de engenharia aeronáutica.

Aos meus pais, por todo o apoio e por serem meu suporte durante os momentos difíceis.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo a revitalização do túnel de vento vertical do laboratório de aeronaves da Universidade de Taubaté. O túnel de vento vertical tem por finalidade a realização de ensaios visuais do escoamento em superfícies através de um gerador de fumaça. A fim o desenvolvimento deste trabalho será realizada uma pesquisa bibliográfica afim do levantamento de informações sobre os diversos mecanismos de geração de fumaça aplicados a túneis de vento. O intuito é de verificar a viabilidade da aplicação de um mecanismo específico no equipamento da Universidade que se encontra desativado impedindo a utilização em aulas práticas. Espera-se com o desenvolvimento deste trabalho a revitalização do equipamento, a realização de testes práticos e o desenvolvimento de procedimentos de operação que serão de grande valia para a utilização nas respectivas aulas como material didático e a “construção” de um dispositivo de geração de fumaça com o intuito de produzir linhas de fumaça para visualização de escoamento no túnel de vento vertical. O dispositivo, máquina de Fumaça será responsável por fazer estudos de escoamento assim como observar o comportamento do escoamento do ar sobre um determinado perfil de asa em vista de poder planejar uma simulação computacional.

Palavras-chave: túnel de vento vertical; aeronáutica; escoamento; fumaça, aerodinâmica.

ABSTRACT

This work aims to revitalize the vertical wind tunnel of the aircraft lab of the University of Taubate. This vertical wind tunnel is intended to perform visual tests of flow on surfaces through a smoke generator. For the development of this work will be carried out a bibliographical research in order to collect information on the various mechanisms of smoke generation applied to wind tunnels. The aim is to verify the feasibility of applying a specific mechanism in the University equipment that is disabled, preventing the use in classes. The development of this work, the revitalization of the equipment, the realization of practical tests and the development of operating procedures that will be of great value for the use in the respective classes as didactic material, the "construction" of a generation device of smoke with the intention of producing smoke lines for visualization of flow in the vertical wind tunnel. The device, Smoke machine will be responsible for doing studies of flow as well as observe the behavior of air flow over a given wing profile in view of being able to plan a computational simulation.

Keywords: vertical wind tunnel; aeronautics; flow; smoke, aerodynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Túnel circuito aberto ventilador axial.....	15
Figura 2 - Túnel circuito aberto de ventilador	16
Figura 3 - Túnel de vento de circuito fechado	17
Figura 4 - Túnel de vento supersônico	19
Figura 5 - Área de ensaio túnel de vento.	22
Figura 6 - Túnel de vento vertical	Error! Bookmark not defined.
Figura 7 - Sistema de distribuição fumaça	26
Figura 8 - Câmara de calefação	27
Figura 9 – Distribuidor de fumaça	28
Figura 10 - Sistema de pressurização.....	30
Figura 11 - Visualizacao de escoamento no túnel de vento vertical.....	31
Figura 12 – Valvula de pressão do túnel de vento vertical	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Esquema de MACH dos tuneis de vento.....	19
Tabela 2 - Cronograma de desenvolvimento dos Túneis de Vento.....	20
Tabela 3 - Características compressor de ar comprimido SHUZL.....	30

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Túnel de vento historia	12
2.2. Tipos de túnel de vento	12
2.3. Túnel de vento subsônico ou de baixa velocidade	14
2.4.1 Túnel de vento circuito fechado	16
2.4.2. Túnel de vento transonico	17
2.4.3. Túnel de vento supersonico	17
2.4.4. Túnel de vento hipersônico	18
2.5. Túnel de vento de fumaça:	21
2.6. Mecanismo de fumaça	22
3. METODOLOGIA.....	24
3.1. Túnel de vento vertical.....	24
3.2. Evaporação da glicerina	25
3.3. Sistema de distribuição fumaça.....	25
3.4. Fumaça.....	26
3.5. Locais de estudo	27
3.6.sistema de linearização de fumaca.....	28
3.7. Sistema de pressurização	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	11
4.1. Emissão de poluente.....	32
4.2. Vazão da fumaça	32
4.3. Resultados do túnel de vento	33
5. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA	33

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como propósito a revitalização do túnel de vento vertical do laboratório de aeronaves da Universidade de Taubaté. O túnel de vento vertical executa ensaios visuais do escoamento em superfícies por meio de um gerador de fumaça. Para consecução deste trabalho será realizada uma pesquisa bibliográfica afim do levantamento de informações sobre os diversos mecanismos de geração de fumaça aplicados a túneis de vento. O intuito é de verificar a viabilidade em usar um mecanismo específico no equipamento da Universidade que se encontra desativado impedindo a utilização em aulas.

Deseja-se com o desenvolvimento deste trabalho, a revitalização do equipamento, execução de testes práticos e o desenvolvimento de procedimentos de operação que serão de grande valia para a utilização nas respectivas aulas como material didático.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Túnel de vento: história

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 ou 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 dessa associação, Frank H. Wenham (GORECKI, 1988), que descobriu que a maior parte da sustentação de um pássaro parecia ser gerada na frente, e Wenham concluiu que asas finas, longas e fixas - semelhante às asas dos aviões dos dias atuais - seriam mais eficientes do que asas baseadas em pássaros e morcegos. Seu trabalho foi apresentado à Royal Aeronautical Society of

Great Britain, e Wenham decidiu provar suas ideias construindo o primeiro túnel de vento do mundo.

No ano seguinte à criação das primeiras rotas comerciais no Brasil, surgiu a primeira legislação brasileira sobre o transporte aéreo e com ela surgiram algumas empresas aéreas no Brasil e a necessidade de estudos sobre o setor, incluindo a implantação de túneis de vento. O setor foi dominado basicamente por duas empresas, a francesa Compagnie Générale Aéropostale e a subsidiária da Lufthansa, a Condor Syndikat.

Em 1927 foi fundada por um alemão naturalizado brasileiro, a Viação Aérea Rio-Grandense S/A (VARIG). Em 1929, a subsidiária da Pan American Airways, a chamada Panair do Brasil foi autorizada a operar linhas internacionais no Brasil. Em 1933, foi criada por um grupo de empresários brasileiros, a Viação Aérea São Paulo (VASP), esta que operava linhas entre São Paulo, Ribeirão Preto, Uberaba, São Carlos e Rio Preto (CASTRO E LAMY, 1993).

No período pós Segunda Guerra, com a ideia de fundir várias empresas privadas que estavam prestes a falir, no Brasil ocorreu à incorporação das Aerovias, que foi a primeira companhia brasileira a operar rotas para os Estados Unidos (CASTRO, 1983). Em 1959 as três grandes companhias da época – VARIG, Cruzeiro e VASP – se uniram e fizeram um acordo para operar um conjunto um trecho que ligava Rio de Janeiro e São Paulo, dando origem a Ponte-Aérea (CASTRO e LAMY, 1993).

Em 1965 a maior companhia aérea brasileira da década de 1950 foi dissolvida, com isso a VARIG assumiu as rotas internacionais desta empresa, tornando-se assim a única companhia doméstica operando rotas internacionais em longo curso (SIMÕES, 2003).

Na década de 1960, a aviação comercial brasileira alcançou uma crise econômica de graves proporções. Devido a isso as empresas aéreas e o governo se juntaram para que pudesse estudar medidas que garantissem a continuidade dos serviços de transporte aéreo. As reuniões, chamadas Conferências Nacionais de Aviação Comercial (CONACS), aconteceram na década de 1960 e foi decidido que

conduziriam uma política de fusão de empresas para que se reduzisse o número máximo para duas explorando o transporte internacional e três explorando o transporte doméstico (DAC, 2003a) (SIMÕES, 2003). Iniciou-se assim o regime onde o governo intervia nas decisões da empresa.

Portanto, a partir da década de 1960, teve início a segunda fase da evolução política governamental para a aviação civil, com a aquisição dos primeiros aviões turbo hélice e jatos para a aviação civil brasileira (SIMÕES, 2003).

Devido a essas aeronaves maiores e mais modernas as empresas se viram forçadas a fazerem mudanças em suas linhas aéreas optando por cobrir apenas cidades onde houvesse maior expressão econômica. Assim de um total de 355 cidades servidas por linhas aéreas em 1958, somente 92 continuavam a ter o serviço em 1975 (CASTRO e LAMY, 1993). (O que reforça ainda mais o desenvolvimento de estudos como o que apresentamos aqui).

2.2. Tipos de túnel de vento

O túnel de vento é um experimento fundamental para a execução de ensaios por meio de uma reprodução da atuação do ar ao redor de uma estrutura. “Onde é estudado os efeitos do deslocamento de ar e como o objeto em questão irá se comportar com a força do vento, e quais são as condições em que este objeto poderá trabalhar. Este modelo de mecanismo é muito utilizado em laboratórios de pesquisa para analisar parâmetros de projetos aerodinâmicos em diversas áreas como, aeronáutica, mecânica, civil, entre outras. Segundo SANTOS(1951), geralmente os túneis de vento são formados por ventiladores, tubos para a circulação do ar, corredores para o escoamento e 5 áreas reservada para os ensaios. Os túneis de vento podem ser classificados com base na velocidade do fluxo de ar na seção de teste.

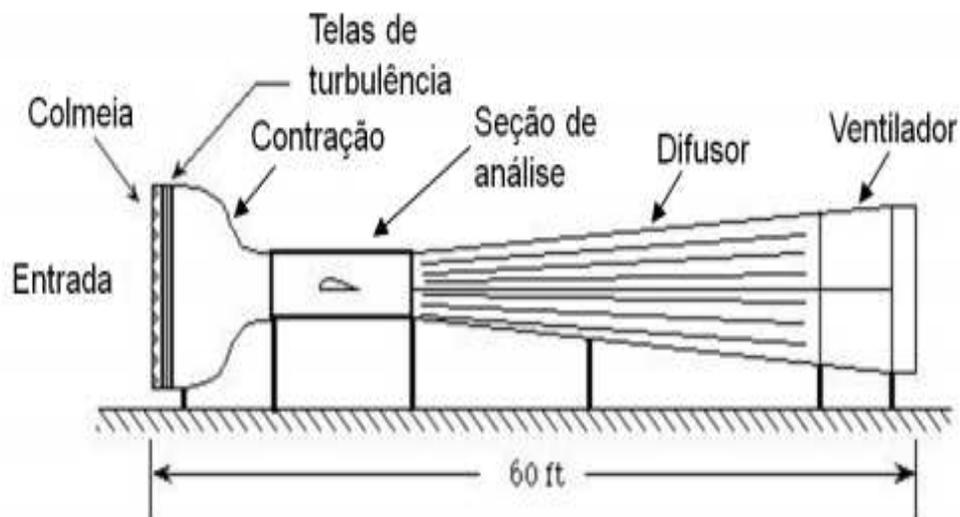
2.3 Túnel de vento subsônico ou de baixa velocidade.

Este modelo de túnel de vento tem a velocidade menor que MACH 0,4 é muito utilizado em universidades devido a sua simplicidade e velocidade reduzida de

vento. O túnel de vento subsônico de baixa velocidade tem um nível de turbulência baixa e uma ótima estabilidade de fluxo. Este modelo de túnel de vento, subsônico de baixa velocidade pode ser de circuito aberto ou fechado. Neste tipo de túnel de vento, circuito aberto, o ar é ejetado para fora do túnel após a passagem pelo túnel. A distribuição de velocidade nos túneis de vento de circuito aberto (figura 1) é uniforme. O número crítico de Reynolds para uma esfera é de cerca de 200.000 Re., nestes túneis, o que corresponde a um grau de turbulência consideravelmente baixa. A distribuição da velocidade e a inclinação do fluxo nos túneis de circuito aberto podem ser melhoradas e o grau de turbulência reduzido, usando um bico de dois estágios e instalando grades de alisamento especiais (colmeia) (POPE, 1996) As probabilidades de fragmentos de sujeira entrar junto ao ar são grandes. Segundo (Santos) podem ser encontrados em duas classes:

Túnel Suckdown: Com a entrada aberta para a atmosfera, o ventilador axial ou centrífugo é instalado após a seção de teste. Este tipo de túnel de vento não é o preferido porque o ar entra com turbulência significativa.

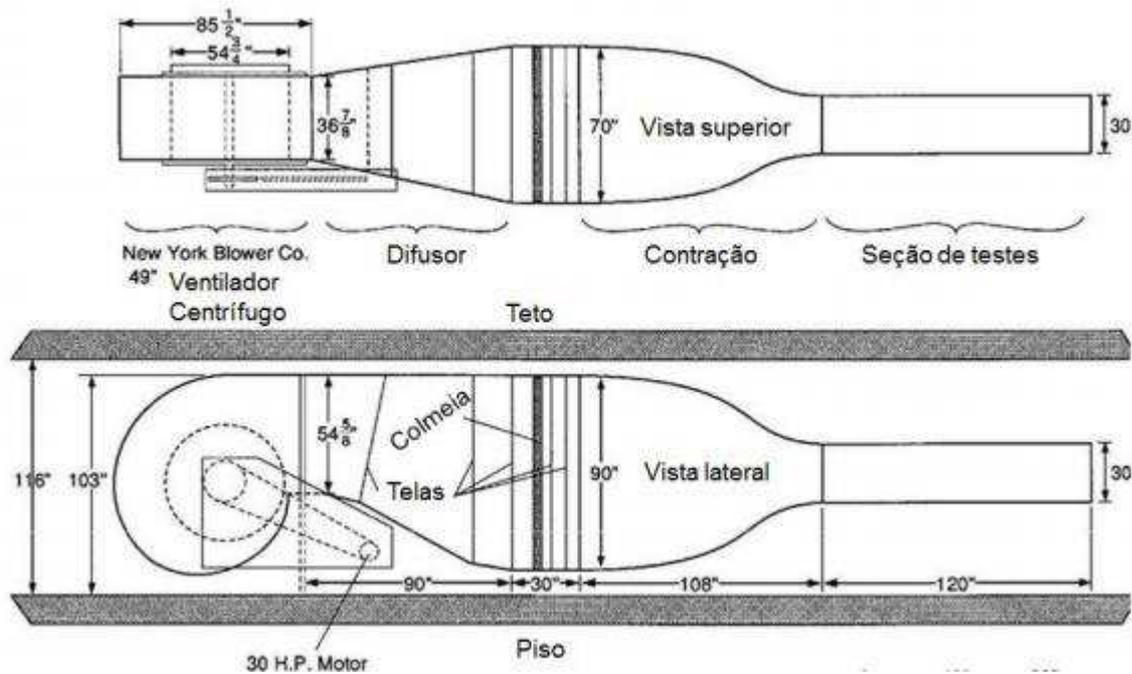
Figura 1 - Túnel circuito aberto ventilador axial



Fonte:, BRADSHAW, P.; MEHTA, R, 2014

- a) **Túnel Ventilador:** Um ventilador é instalado na entrada do túnel de vento que joga o ar no túnel. A turbulência é um problema também neste caso, mas os túneis com ventilador são muito menos sensíveis a ela.

Figura 2 - túnel circuito aberto de ventilador.



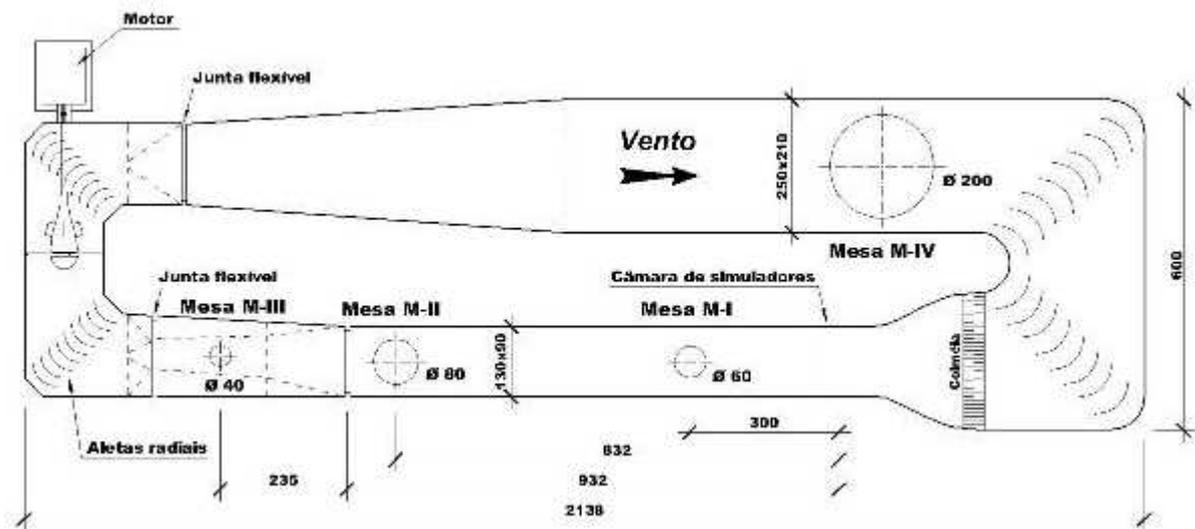
Fonte.: BRADSHAW, P.; MEHTA, R, 2014.

2.4. Túnel de vento circuito fechado.

O ar contorna no túnel em configuração ajustada. A probabilidade de fragmento que entram no sistema é muito baixa, e a corrente de ar é mais uniforme do que no túnel aberto. No seguimento da indústria da aerodinâmica usam-se estes equipamentos para fazer testes em protótipos de aviões, prédios, carros entre outros tipos de perfil. No túnel é possível controlar minuciosamente a corrente de ar, e as condições que influenciam nas forças no avião. Realizando medições precisas das forças sobre a amostra, pode-se calcular as forças usando técnicas especiais de diagnóstico, podendo assim entender o comportamento de um perfil aerodinâmico. Os túneis de vento são projetados com uma finalidade específica. Portanto, há

alguns tipos diferentes de túneis de vento e diversas maneiras de classificá-los. Os túneis de vento fechado possuem uma grande vantagem em relação aos túneis de vento aberto, pois necessitam de uma energia menor para movimentar o fluido no circuito. Normalmente o tipo de ventilador utilizado para essa configuração é o ventilado axial.

Figura 3 - túnel de vento de circuito fechado:



Fonte: Blessmann, 2011.

2.4.1. Túnel de vento transônico.

Nos túneis transônicos, o número de Mach da seção de teste varia de 0,80 para 1,2. Testes em túneis transônicos podem ser de curta ou longa duração. Dentro do túnel de operação há uma diferença de pressão que é criada por um ventilador ou um compressor, avaliado para operação contínua ao longo de um período. Já com os túneis de operação intermitente, o fluxo é causado pela pressão e a diferença entre a câmara de decantação e a saída do difusor, uma câmara de vácuo. O ar é altamente comprimido antes de cada teste e descarregado através de uma válvula de redução para a câmara de separação e sai através da seção de teste para a atmosfera (POPE, 1966). Estes tipos de túneis de vento se faz muito comum

na indústria aeronáutica, pois, grande parte dos aviões opera em torno desta velocidade (SANTOS 1951).

2.4.2 Túnel de vento supersônico.

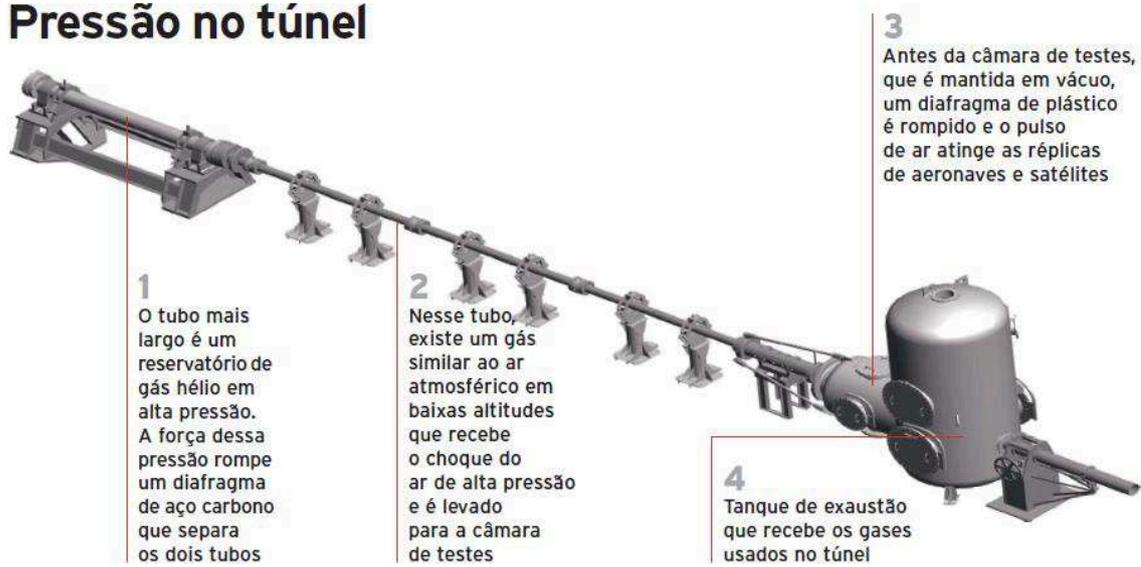
Os túneis de vento supersônicos são, por convenção, túneis com números de Mach operacionais acima de 1,2 ou 1,5. Como túneis transônicos, esses túneis podem ser para operação constante ou intermitente, e são projetados e equipados de acordo com especificações técnicas próprias. No entanto, o perfil aerodinâmico dos túneis supersônicos, desde a câmara de decantação até o difusor, é independente do método operacional e do tipo de unidade. Em geral, a seção de teste dos túneis supersônicos é retangular para facilitar estudos ópticos e simplificar o design do túnel. Os métodos modernos de projeto permitem obter um fluxo supersônico axial linear uniforme na saída do bico e na entrada da seção de teste com consumo de energia elevada. (POPE, 1966).

2.4.3. Túnel de vento hipersônico

Em túneis de vento hipersônicos podem ser obtidas velocidades de $M = 5$ até 25, que é o caso do túnel de vento hipersônico localizado no Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), em São José dos Campos (SP) batizado como T3. Esta gama de velocidades é suficiente para testes de aeronaves supersônicas e mísseis balísticos. Este túnel T3 não funciona com ciclo contínuo de corrente de ar ele trabalha com pulso de velocidade alta com duração de 100 microssegundos a 10 milésimos, opera em quatro fases, podendo ser observada na (figura 4).

Figura 4 - túnel de vento hipersônico:

Pressão no túnel



Fonte revista pesquisa, 2007.

Tabela 1 - Esquema de MACH dos tuneis de vento:

tipo de tunel de vento	velocidade de operação
tunel de vento de subsonico ou de baixa velocidade	$M \leq 0,4$
tunel de vento transonico	$0,8 \leq M \leq 1,2$
tunel de vento supersonico	$1,5 \leq M \leq 3,5$
tunel de vento hipersonico	$5,0 \leq M \leq 25$

Fonte GORLIN 1964

Tabela 2 - Cronograma de desenvolvimento dos Túneis de Vento.

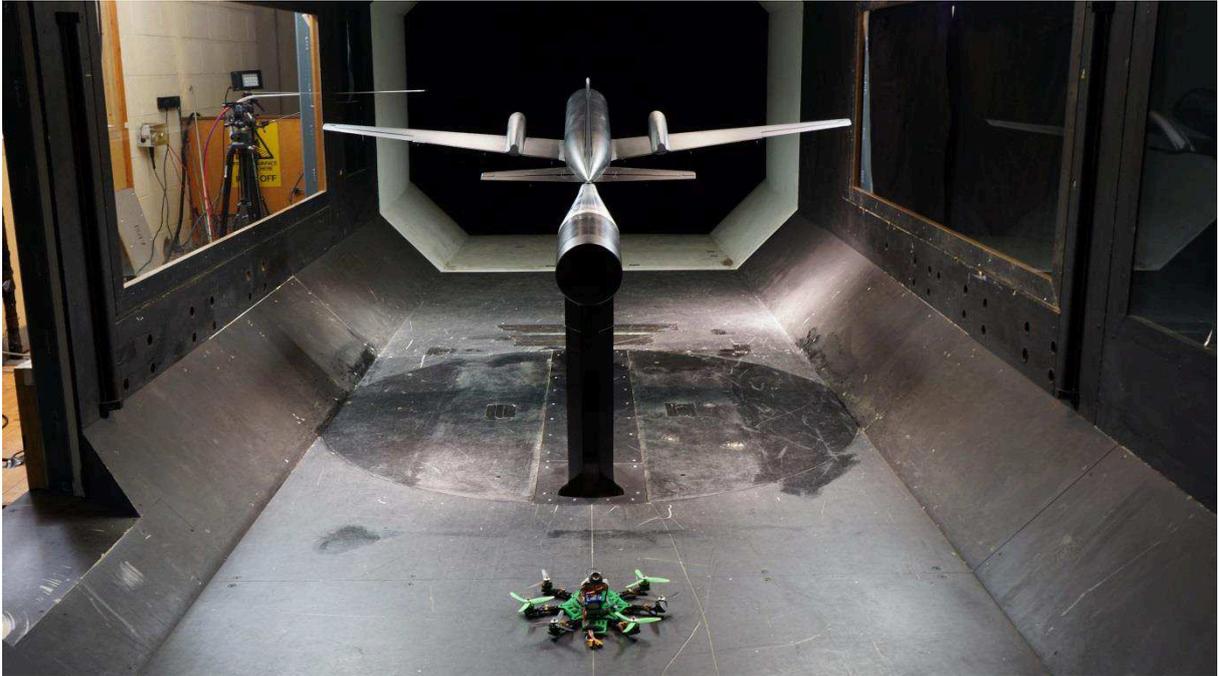
Data	Descrição	Desinens Criado	Localização
1871	primeiro tunel de vento	Frank Wenham	Grã-Bretanha
1897	tunel russo	KonstantinTsiolkovsky	russia
1901	Túnel de 16 polegadas	Irmãos Wright	Dayton, OH Universidade Católica.
1904	tunel russo	DimitriRiabouchinsky	moscol
1909	Primeiro túnel de loop fe chado	Ludwig Prandtl	Universidade de Gottingen
1912	Túneis gêmeos	Gustav Eiffel	Paris, França
1917	Primeiro túnel moderno	Ludwig Prandtl	Universidade de Gottingen
1923	Túnel de densidade variável	Max Munk	Langley Field
1927	Túnel Pesquisa	Max Munk	Langley Field
1931	Túnel FullScale	Smith DeFrance	Langley Field
1936	Primeiro túnel supersônico		Peenenemunde
1936	Kirsten túnel de alta velocidade	William Boeing	Universidade de Wisconsin
1938	Túnel de Altitude		Massachusetts Institute of Technology (MIT)
1939	Túnel de velocidade de 19 metros de altura		Langley Field
1942	Primeiro túnel supersônico EUA		Langley Field
1944	awt	Al Young Lou Monroe	NACA Lewis
1944	40– pelo túnel de 80 pés	Carl Bioletti	NACA Lewis
1948	8 – pelo túnel de vento 6- Foot Supersonic		NACA Lewis
1955	10 – pelo túnel de vento de 10 pés Supersonic		NACA Lewis
1955	Propulsão túnel de vento		AEDC

Fonte Elaboração de túnel de vento para aplicações de ensaios aerodinâmicos

2.5. Túnel de vento de fumaça:

O aprimoramento da mecânica de fluidos envolve a observação e estudo de os fenômenos físicos que formam a base da teoria experimental, a aerodinâmica serve para verificar a teoria existente, e também a sua extensão. O túnel de vento de fumaça é a ferramenta mais importante quando o assunto é o estudo de escoamento em superfície, onde permite a visualização das linhas de vento sobre um perfil aerodinâmico mostra o caminho percorrido pelo ar, utilizando um esquema de pulverização de fumaça. Estas instalações reproduzem as ações da corrente de ar em objetos ou corpos sólidos em uma divisão de teste facilitando o estudo dos efeitos aerodinâmicos por onde a corrente de ar é submetida no corpo de prova, onde o objetivo simular, em laboratório, as condições reais de operação de um objeto sujeito a uma corrente de ar, o ar é soprado ou aspirado por meio de um ventilador por um duto com, coifas, malhas, retificadores de perfil, e dispositivos que assegurem uma distribuição da velocidade desejada dentro da câmara de testes. Os túneis de vento são ferramentas muito importantes quando se trata de projetos aeroespaciais e pesquisas aerodinâmicas. Os ensaios neles realizados se estabelecem em atividades multidisciplinares e de grande nível de complexidade científico-tecnológica. O túnel de vento é uma ferramenta que gera um escoamento de um modo controlado (constante ou intermitente), com um grau de turbulência reduzida e repetitivo, aonde vem a interagir a amostra instalada na divisão de teste, com grau de turbulência reduzida e repetitivo. Assim, a finalidade constitui de fazer simulações escoamentos ao redor de um protótipo, determinando as cargas e interações aerodinâmicas sobre ele, e apurar se foram atingidos requisitos do projeto. O fluxo de ar no interior do túnel tem um escoamento do fluido incompressível (a massa específica do ar não varia com aceleração do escoamento). Em um túnel de vento a temperatura, a pressão dinâmica e barométrica, são grandezas que devem ser rigidamente controladas, por estes critérios.

Figura 5: - Área de ensaio túnel de vento



Fonte: Altax ,2015

2.6. Mecanismo de fumaça

Gelo seco: Gelo seco é também conhecido com dióxido de carbono solidificado ao ser resfriado a uma temperatura inferior a $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quando aquecido em temperatura ambiente, passa de imediato para gás de dióxido de carbono, sem que precise passar pelo estado líquido (processo conhecido por sublimação). O estado líquido só pode existir numa pressão superior a 5 atmosferas. Quando o ar quente passa pelo o gelo-seco, se faz de imediato uma nuvem branca que por densidade se faz permanecer ao rente ao solo, efeito em show e pecas teatrais. O gelo-seco tem principal utilidade em resfriamento.

Vantagem: O gelo seco é um material fácil de encontrar e tem um custo baixo, além de ser muito fácil de fazer fumaça bastando apenas misturar agua.

Desvantagem: A principal desvantagem fumaça de gelo seco para este trabalho é, a fumaça emitida pelo gelo seco é um pouco densa fazendo assim com que a fumaça fique no chão.

Álcool com glicerina:

Vantagem: A glicerina corporal com álcool é muito utilizada em festas devido ao seu baixo custo, o material é fácil de encontrar para compra e fácil de manipular para fazer gerar fumaça.

Desvantagem: A desvantagem da glicerina corporal com álcool é que a fumaça da glicerina pode deixar resíduos quando depositada em algum lugar ela deixa um pouco grudada o objeto.

3. METODOLOGIA

Nesta seção será descrito e apresentado todos os métodos utilizados para a execução deste trabalho aplicado nas falhas encontradas no túnel de vento vertical da Universidade de Taubaté.

Durante as pesquisas foram obtidas as informações e dados utilizados. Diante dos resultados através da revitalização do túnel de vento vertical será analisado:

3.1. Túnel de vento vertical

O túnel (figura 6) foi projetado pela empresa aero álcool na data de 28/09/2007 e doado para Universidade de Taubaté, com o propósito de a universidade realizar testes e ensaios. Estes equipamentos são bastante úteis para ajudar a expressar o funcionamento de um modelo, de acordo com o curso de Engenharia Aeronáutica ministrada na Universidade. Este túnel possui o dimensionamento exposto na tabela 1. A seção de ensaio possui o dimensionamento de 45 cm x 45 cm. A propulsão é obtida por um ventilador instalado na ponta do túnel com 5 HP, permitindo assim a visualização de linhas de corrente, fluxo ao redor e através de diferentes modelos, separação, turbulência e estol de um aerofólio e sua relação com o ângulo de ataque.

Figura 6 - Túnel de vento



Fonte: Próprio auto, 2017

3.2. Evaporação da glicerina

Ao início das pesquisas, foi feito o experimento no próprio sistema do túnel de vento da Universidade de Taubaté, de modo a conseguir fazer com que o experimento funcionasse.

A glicerina bidestilada utilizada no experimento apresenta uma grande quantidade de fumaça quando sua temperatura atinge 100°C gerando assim uma grande visualização de escoamento no túnel de vento.

Houve um pouco de dificuldade no experimento, de forma que, a glicerina obtém uma grande desvantagem quando libera fumaça, onde junto a fumaça também é emitido uma grande substância grudenta, podendo assim ocasionar entupimento dos bicos por onde fumaça é liberada. Assim sendo foram feitas algumas modificações no experimento, para que não haja o entupimento, e também é de extrema importância que, ao utilizar o túnel de vento, se faça a devida limpeza para que não haja entupimento de pico por conta de resíduos emitidos junta a fumaça.

3.3. Sistema de distribuição fumaça

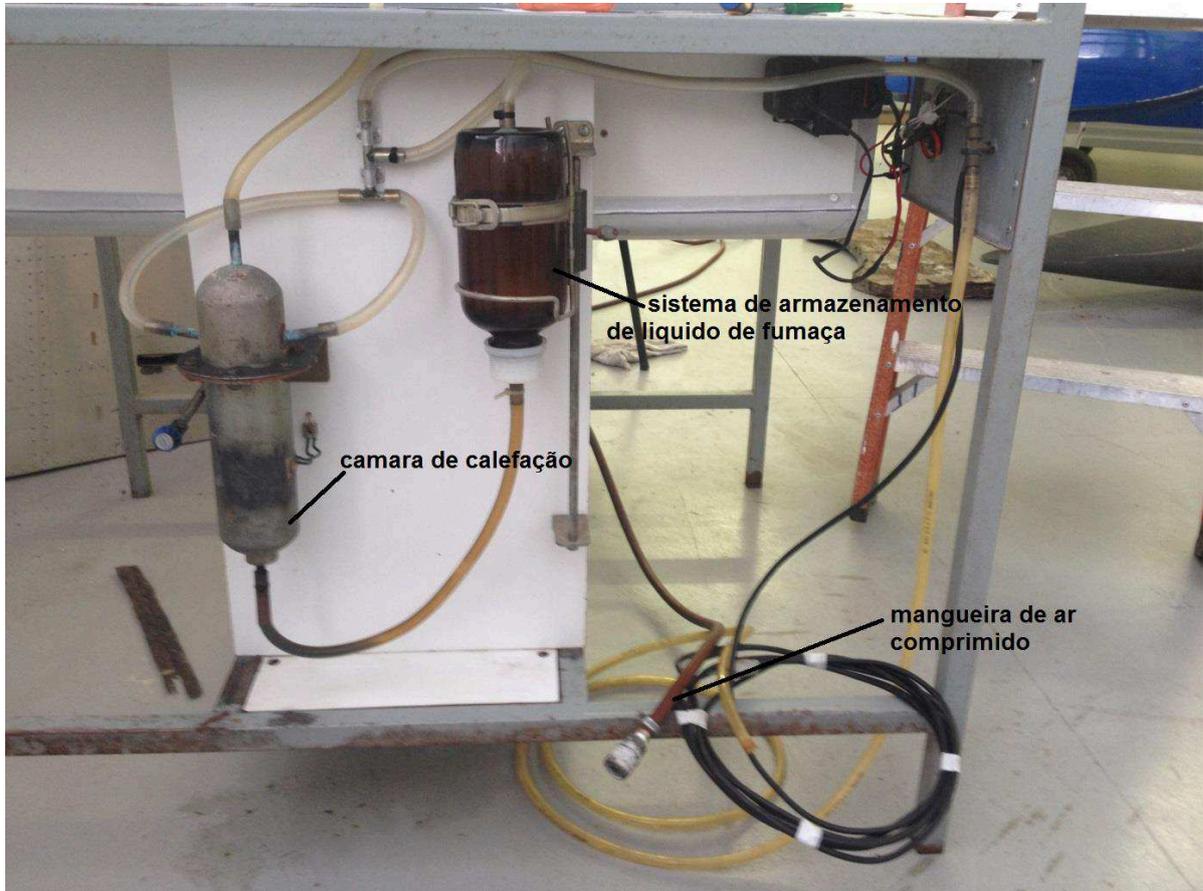
O sistema distribuição de fumaça é feito para o um sistema integrado do próprio túnel de vento, onde consiste em uma câmara de calefação (figura 7). E introduzido dentro desta câmara de calefação o líquido de glicerina água e álcool, que porventura, esta câmara é responsável pela fervura do líquido gerando assim a fumaça.

É realizado dentro desta câmara a pressurização com o intuito de maximizar a velocidade da fumaça gerada elevando-a assim para próximo à velocidade de escoamento do túnel, para assim diminuir o máximo possível à turbulência da fumaça dentro do túnel evitando que a fumaça se disperse.

O dispositivo utilizado no experimento tem duas “luvas” em alumínio e duas conexões em alumínio em formato “T” uma entrada de ar comprimido e uma saída de ar-glicerina para a câmara de calefação podendo ser visto na figura 08. Da

câmara de calefação tem mais duas entradas de ar pressurizado e uma saída de ar-fumaça de glicerina para o túnel de vento vertical.

Figura 7 - Sistema de distribuição fumaça



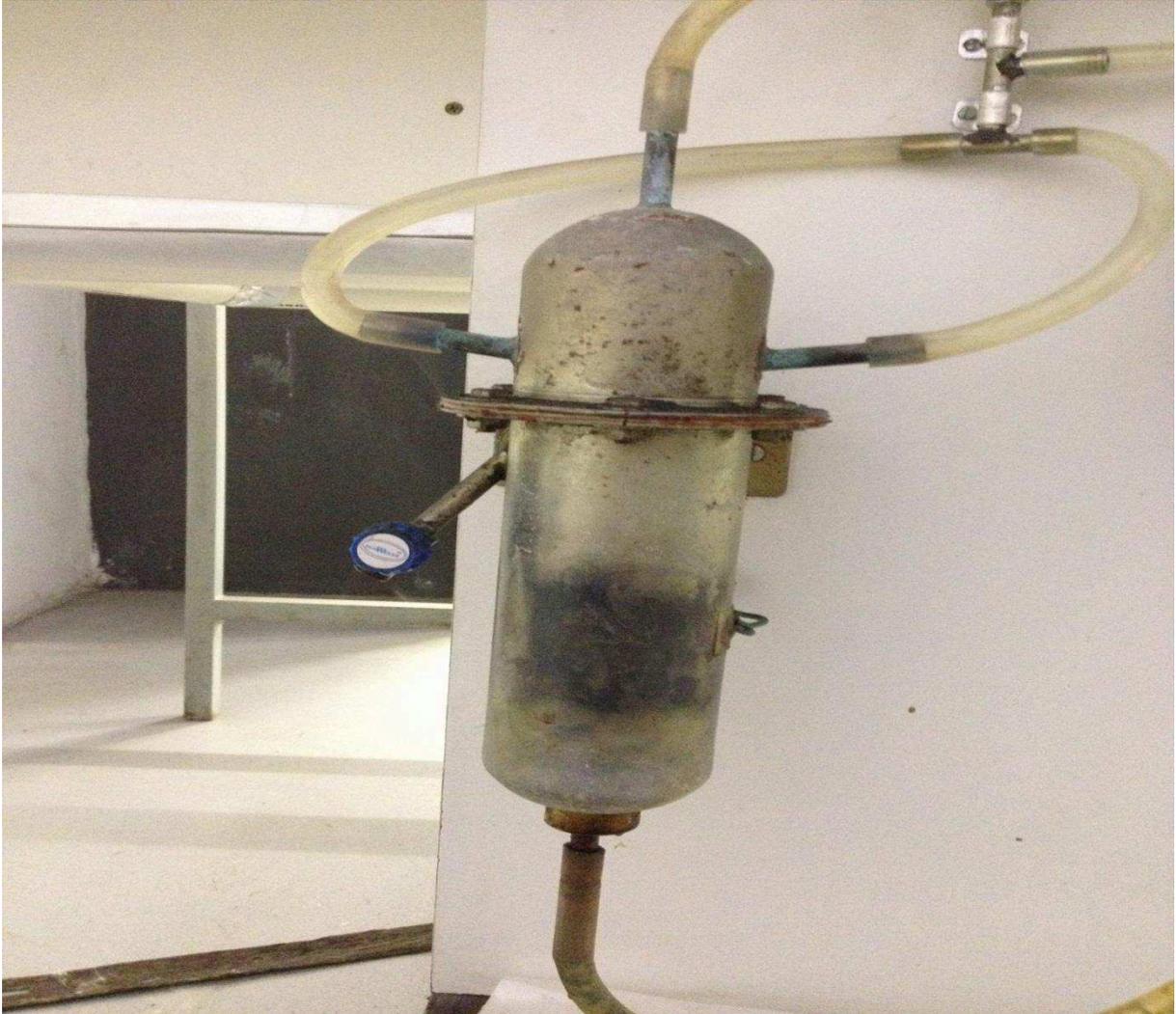
Fonte: Próprio autor, 2017

3.4. Fumaça

Para o sistema de fumaça, o líquido experimental (glicerina bidestilada, água, álcool) é colocado em um em uma câmara de armazenamento do túnel, onde tem uma entrada de ar pressurizado que empurra o líquido da câmara de armazenamento para a câmara de calefação responsável pelo aquecimento do líquido, exalando assim a fumaça.

A pressurização é de extrema importância para elevar a velocidade da fumaça para a velocidade de escoamento dentro do túnel fazendo assim com que a turbulência diminua evitando desse modo com que a fumaça se disperse como descrito por MACHADO (2007, p.10).

Figura 8 - câmara de calefação.



Fonte: Próprio autor, 2017

3.5. Locais de estudo

- Razão social: Universidade de Taubaté.
- Endereço: Rua Daniel Danelli, s/n, Jardim Morumbi, Taubaté – SP, CEP: 12060-440.
- CNPJ: 45176153/0001-22 Insc. Est.: Isenta
- Ramo de atividade: Educação, pesquisa e extensão.

3.6. Sistema de linearização de fumaça

Para o sistema de fumaça é requerido um duto de saída de ar que se assimila a um perfil de uma asa a fim de diminuir o coeficiente de arrasto, e diminuir a possível turbulência ao decorrer da análise, para que não cause intervenções indesejadas nos testes aerodinâmicos. Esse dispositivo faz com que a distribuição da fumaça linearizada passe pelo perfil analisado possibilitando a visualização das linhas de corrente através escoamento no túnel de vento.

É desejado que o distribuidor interfira o mínimo possível no escoamento já que o distribuidor de fumaça está localizado abaixo do perfil a ser analisado por conta disso o distribuidor precisa ter um formato aerodinâmico, pois irá aumentar a confiabilidade do experimento onde manterá a constância do escoamento suavizado, com a menor agitação possível.

O distribuidor de fumaça é feito com 51 (cinquenta e um) tubos de aço de 1 mm de diâmetro e um revestimento em cobre.

O ar pressurizado tem a saída da câmara de calefação jogando a fumaça para o distribuidor de fumaça tendendo a fazer com que a fumaça saia de forma laminar para o perfil em questão.

Figura 9 – Distribuidor de fumaça.



Fonte: próprio autor, 2017

3.7. Sistema de pressurização

O sistema de ar é feito pelo compressor de ar comprimido SHUZL pressão máxima de 120 lbf/pol² e deslocamento de 155 l/min localizado no laboratório de pneumática na Universidade de Taubaté.

Figura 11 – maquina de ar comprimido.



Fonte: próprio autor, 2017

Tabela 2 Características técnicas

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELO	DESLOC. TEÓRICO		PRESSÃO MÁX.		RESERV.		rpm	Ø POLIA (mm)		CORREIA		MOTOR ELÉTRICO			ÓLEO LUBRIFICANTE		PESO c/ Motor (kg)	PINTURA		
	pés ³ /min	l/min	lbf/pol ²	bar	Vol. geom. (l)	Temp. enchim.		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	cv	kW	Pólos	Tensão (V)	Volume (ml)			Ref.	
MSV 5,2 VL/60WL	5,4	155	120	8,3	60	6'	850	151	118	A42	A40	1	0,75	4	110/220 Monof.	300	2MS15 (Schulz)	71	RAL 5004 (Schulz)	
MSV 5,2 VL/130					145	12'														220/380 Trif.
WV 5,2/130					145	12'														
MSV8 VL/130	8,0	226,5			7'50"	1240	100	90	A39	1,5	1,1	2				WAYNOIL (Wayne)	72	RAL 3001 (Wayne)		

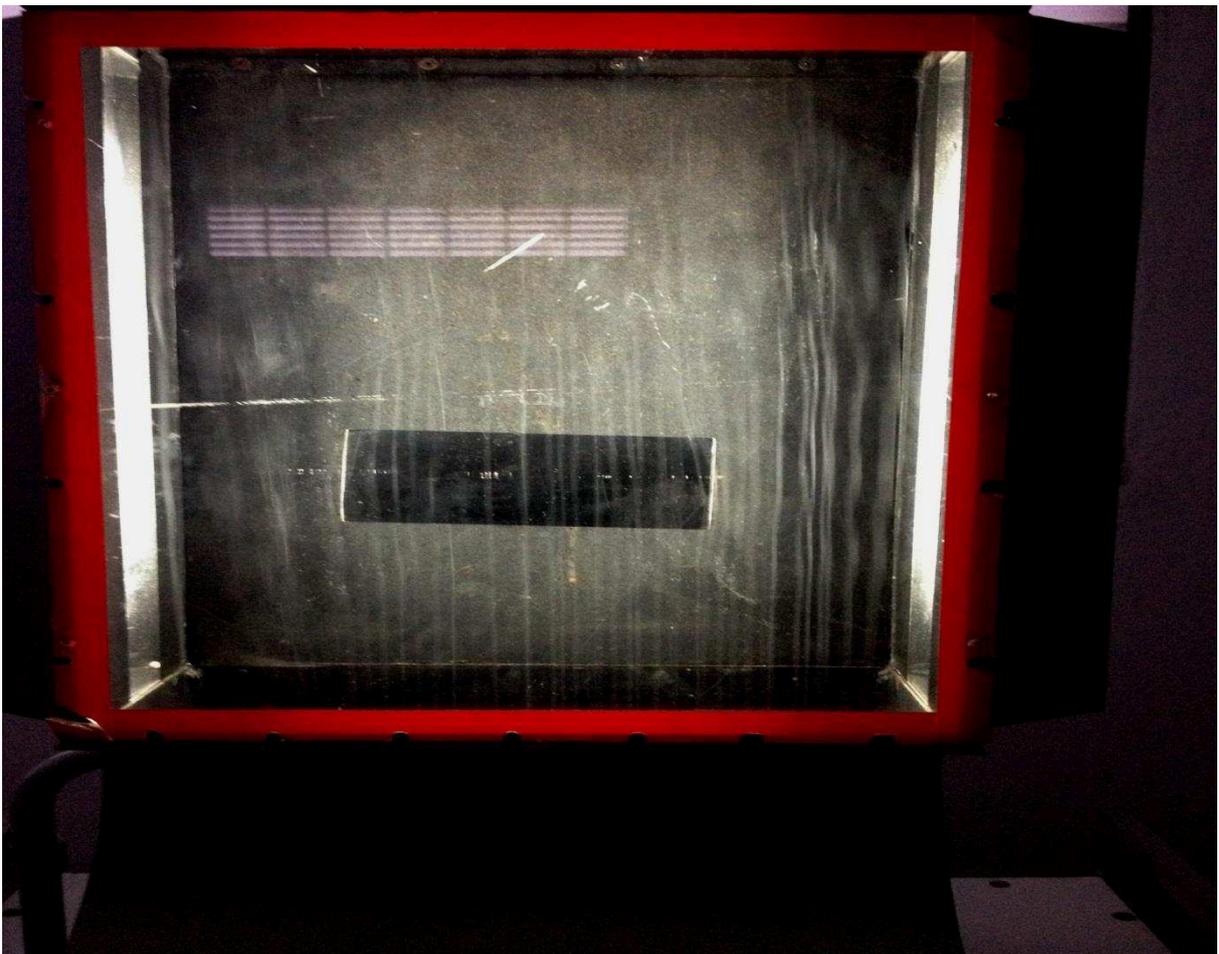
Fonte herrafersrl, 1991

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado previsto em pesquisa, o projeto de fumaça alternativa feito com glicerina água e álcool, teve um bom rendimento com capacidade de 600 ml do liquido ter um rendimento de (50 minutos seguidos de fumaça). Conforme o esperado a fumaça exalada da câmara de calefação tem uma tonalidade branca um pouco forte facilitando muito a visualização do escoamento no perfil desejado podendo ser vista na (figura 11).

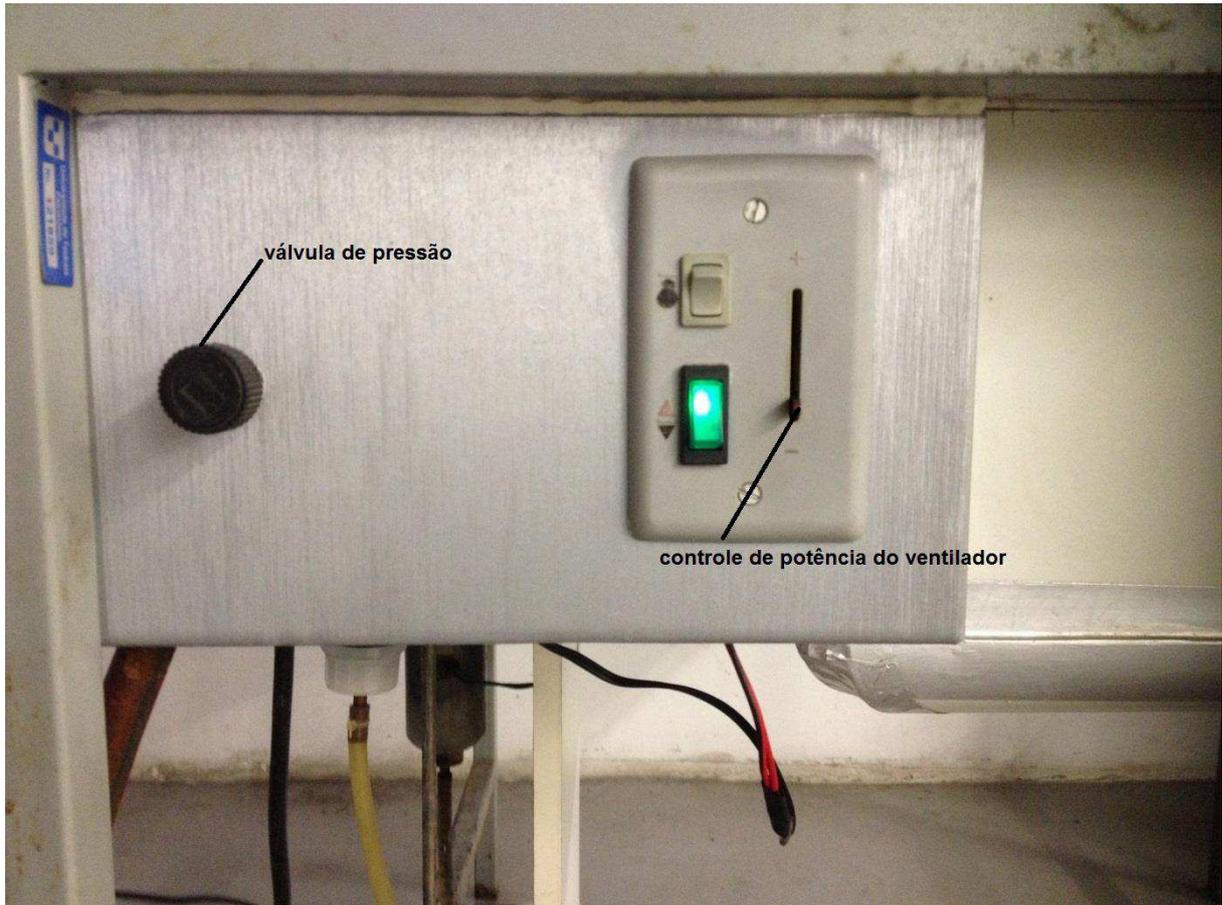
O sistema de distribuição teve um comportamento esperado liberando o jato de fumaça, e para evitar turbulência a entrada de ar tem de ser regulada manualmente na válvula de pressão do túnel (figura 12), buscado assim o melhor escoamento.

Figura 11 - Visualização de escoamento no túnel de vento vertical.



Fonte próprio autor, 2017.

Figura 12 - válvula de pressão de pressão do túnel de vento vertical.



Fonte: próprio autor, 2017.

4.1. Emissão de poluente

A fumaça emitida pelo túnel de vento não é tóxica, e não há nenhum tipo de agressão ao meio ambiente, porém a fumaça quando inalada por muito tempo causa um desconforto causando em algumas pessoas sintomas de enjoo. É necessário que o local onde estará localizado o túnel de vento, seja grande e bem arejado para que não haja o acúmulo de fumaça no local, ou que tenha um sistema de exaustão da fumaça de modo que possa ser jogado para o meio externo.

Esta fumaça quando fica retida uma grande proporção em um local fechado pode causar uma leve irritação nos olhos, e enjoo, porém não oferece risco à saúde.

4.2. Vazão da fumaça

A Fumaça expelida pelo processo químico além de não tóxico tem uma facilidade de dissipação dentro do hangar na universidade. A medida com que é aumentada a velocidade de escoamento a fumaça tem um comportamento incompreensível e muita turbulência

A desvantagem desse sistema é que é muito demorada a produção de fumaça quando o sistema de calefação se encontra frio, ao ligar a leva de 5 a 8 minutos na voltagem 220 V até que o sistema atinja uma temperatura que faça com que a fumaças entre em vigor.

4.3. Resultados do túnel de vento

Os resultados obtidos pelo túnel de vento são de muita valia para a compreensão do fenômeno aplicado ao curso de Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté já que este túnel de vento se encontrava desativado no hangar por conta de mau funcionamento, evitando assim com que os alunos conseguissem fazer testes e experimentos didáticos.

5. CONCLUSÃO

Dados os resultados obtidos a partir das pesquisas feitas, vemos que os líquidos glicerina, álcool e água são métodos alternativos para a geração de fumaça que não tem nenhum tipo de agressão ao meio ambiente, e sem oferecer risco a quem inalar esta fumaça.

Este material oferece uma grande ajuda para a visualização de escoamento, e tem uma grande vantagem, visto que é um método de geração de fumaça que tem um custo econômico muito baixo.

A duração de fumaça com este material pode oferecer uma durabilidade de aproximadamente uma hora de uso. Em ambiente fechado pode haver um acúmulo

dessa fumaça causando um leve desconforto, uma irritação nos olhos e ânsia de vômito também, porém apenas se houver um grande acúmulo dessa fumaça em um ambiente fechado. Por isso, se faz necessário o uso de exaustor para fazer a captura dessa fumaça ou seria muito recomendado que, o equipamento túnel de vento ficasse em um local bem arejado para evitar com que haja um grande acúmulo de fumaça dentro do laboratório.

O presente trabalho, além de lançar luz sobre a importância dos túneis de vento, enriqueceu sobremaneira a minha formação como engenheiro aeronáutico, revelando aspectos importantes sobre ensaios de escoamento tão importantes para a indústria aeronáutica, bem como para os estudos científicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDUX, Aldux. Tunel de vento. Disponível em: <<https://altax.net/blog/wind-tunnel/>>. Acesso em: 29 nov. 2015. Fig:05
- BARLOW J. B., RAE W. H., POPE A., 1999, “Low-Speed Wind Tunnel Testing”, 3rd Edition; John Wiley & Sons.
- BLESSEMANN, Joaquim. Tunel de vento Prof. Joaquim Blessemann. Disponível em: <<http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2011/12/tunel-de-vento-serve-para-diminuir-os-acidentes-causados-pelo-vento.html>>. Acesso em: 29 dez. 2011. Fig 03
- BRADSHAW, P.; MEHTA, R. WIND TUNNEL DESIGN. Disponível em: < <http://navier.stanford.edu/bradshaw/tunnel/>> Acesso em: 1 de maio de 2014. Fig 02
- CASTRO, N; LARNY, P. Desregulamentação do setor de transporte: o subsetor de transporte aéreo de passageiros. Texto para discussão n. 319. Brasília: IPEA, 1993.
- CHANDLER, Nathan. **How Wind Tunnels Work**. 2011. Disponível em: <<http://science.howstuffworks.com/Wind-tunnel.htm>>. Acesso em: 30 maio 2001.
- GOECKI, J. P. Túneis aerodinâmicos: passado, presente e futuro. Encit 88 – II Encontro Nacional de Ciências Térmicas. Águas de Lindóia – SP, 1988.
- GORLIN, S.m.; SLEZINGER, I.I. **Wind tunneus and their instrumentation**. Jerusalem: The U. S. National Aeronautics and Space Administration, 1964. 599 p
- MACHADO, Heitor. LUIS, João. OLIVEIRA, Roger. Visualização de escoamento s no túnel de vento. Porto Alegre, 2007. Trabalho final de disciplina de medições Térmicas SHUZL, SHUZL. Catalogo técnico. Disponível em: <http://www.herrafersrl.com.ar/material/despieces/cabezales/discontinuados/CT030_MSV5,2VL60 WL130-MSV8VL130-WV5,2 130_05-2000.PDF>. Acesso em: 01 set. 1991.
- OLIVEIRA, Marcos . **Túnel vai testar aeronaves muito mais rápidas que a velocidade do som** : História. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2007/05/74-75-hipersonico-135.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2007. “Fig 5”
- POPE, Alan; and HARPER, John J.: **Low-Speed Wind Tunnel Testing**. John Wiley & Sons, Inc., N. Y., 1966.
- Santos, A.P.- **Projeto de um Pequeno Túnel Aerodinâmico**. Separada da Revista Politécnica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, nr. 434,p.46-54, maio 1951.

SIMÕES, André Felipe. O transporte aéreo brasileiro no contexto de mudanças climáticas globais: emissões de CO2 e alternativas de mitigação. Tese, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

SHUZL, SHUZL. **Catálogo técnico.** Disponível em: <http://www.herrafersrl.com.ar/material/despieces/cabezales/discontinuados/CT030_MS5,2VL60 WL130-MSV8VL130-WV5,2 130_05-2000.PDF>. Acesso em: 01 set. 1991.