



PROJETO DO TÚNEL DE VENTO SUBSÔNICO DE PESQUISA DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Roberto M. Girardi

Nide Geraldo do Couto Ramos Fico Jr.

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

12.228-900 São José dos Campos, SP. E-mail: girardi@aer.ita.cta.br; nide@aer.ita.br

Olympio Achilles de Faria Mello

Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE - CTA). E-mail: oamello@directnet.com.br

Paulo Komatsu

Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER). E-mail: pkomatsu@embraer.com.br

Resumo. *O objetivo deste trabalho é descrever o projeto conceitual do túnel de vento de pesquisa do ITA. Este túnel é de circuito aberto e seção de testes fechada, com 1,0 m de altura e 1,2 m de largura. A velocidade máxima na seção de testes será aproximadamente 200 km/h e o nível de turbulência deve ser menor que 0,05%. Após uma descrição geral do túnel de vento, cada um de seus elementos é tratado com detalhe, fornecendo-se as informações que são usadas para a definição de dimensões e formas de cada uma das partes que constituem o túnel de vento. Como o túnel é de circuito aberto, os efeitos do vento atmosféricos são considerados e uma câmara amortecedora de tais efeitos é instalada no final do difusor. Depois de concluída sua construção, o escoamento da seção de testes deverá ser calibrado e, posteriormente, serão iniciadas duas pesquisas: (i) desenvolvimento do procedimento de ensaio de um perfil aerodinâmico em alto ângulo de ataque, minimizando-se efeitos tridimensionais e (ii) desenvolvimento de uma metodologia para estimativa do coeficiente de sustentação máximo de asas. Nestas pesquisas serão utilizadas técnicas modernas para medidas de velocidade e pressão, tais como LDV e PIV.*

Palavras Chave: *Túnel de Vento, Projeto Conceitual, Circuito Aberto*

1. INTRODUÇÃO

No segundo semestre de 2000, a EMBRAER tomou a firme decisão de investir recursos para resolver alguns problemas relativos aos ensaios realizados no túnel de vento do IAE-CTA, o qual possui uma seção de testes grande (2.5 x 3.0 m) e é acionado por um motor com 1.200 hp. Entre os problemas citados acima, dois foram escolhidos para serem estudados e resolvidos no prazo de três anos: (i) Desenvolvimento de uma metodologia de ensaios de perfis aerodinâmicos, que minimize os efeitos tridimensionais causados pela interação das extremidades do modelo com a camada limite nas paredes laterais da seção de testes do túnel de vento, onde o modelo é fixado e (ii) Desenvolvimento de um procedimento para fazer a estimativa do coeficiente de sustentação máximo ($C_{l_{max}}$) de uma asa a partir dos resultados experimentais obtidos para o perfil aerodinâmico usada na referida asa. Para resolver estes problemas será necessário a execução de um grande número de ensaios, com a utilização de um grande número de horas de túnel de vento. Além disto, várias configurações diferentes deverão ser testadas até que se chegue a uma solução aceitável. Devido a isto, é interessante fazer todo o trabalho de pesquisa e desenvolvimento em um

túnel de vento com menor dimensão e com menor potência que o túnel de vento do IAE-CTA, para reduzir os custos e, também, para reduzir o tempo de desenvolvimento.

Tendo por base as informações relatadas acima fica claro a necessidade de um túnel de pesquisa, com menores dimensões e potência. Este túnel será instalado no ITA, porém, deverá trabalhar em conjunto com o túnel de vento do IAE-CTA, com atividades nas áreas de pesquisa, desenvolvimento e calibração de anemômetros.

O túnel de vento proposto é do tipo circuito aberto (menores custo e prazo de fabricação) e possui seção de testes retangular, com 1,0 m de altura e 1,2 m de largura. Estas dimensões foram adotadas com base em duas questões: (i) relativa ao problema de interferência das paredes da seção de testes no escoamento sobre o modelo (efeito de bloqueio), considerando-se um perfil aerodinâmico com corda igual a 0,30 m e, (ii) relativa as dimensões de anemômetros de vento usados nas instalações aeronáuticas do país. A velocidade máxima deverá ser em torno de 70 m/s, a qual esta associada a um número de Reynolds (Re) da ordem de 10^6 , considerando-se como dimensão característica a corda do modelo mencionado acima. Este valor para o Re foi escolhido com base na experiência do pessoal da EMBRAER, que vem trabalhando muito na questão da extrapolação dos resultados experimentais para maiores valores de Re, relativos as dimensões e velocidade de vôo de suas aeronaves. O nível de turbulência do escoamento deve ser baixo, menor que 0,05 %, para que este túnel possa ser usado para a calibração de anemômetros.

O objetivo deste trabalho é apresentar as características de cada uma das seções do túnel de vento, levando em consideração o projeto dos dispositivos de redução de velocidade de flutuação (telas e colméias), o projeto da contração, da seção de testes, do difusor e finalmente do dispositivo, instalado no final do difusor, responsável por minimizar as perturbações causadas pelo vento atmosférico.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO TÚNEL DE VENTO

Na Fig. 1 é apresentado um desenho esquemático do túnel de vento de pesquisa do ITA. Como mencionado anteriormente a seção de testes (4) tem seção transversal retangular com 1,0 m de altura e 1,2 m de largura. Para auxiliar na redução do nível de turbulência do escoamento na seção de testes, foi adotada uma razão de contração (Rc) de 10:1. Deste modo a câmara de tranquilização (2) tem altura de 3,16 m e largura de 3,80 m.

O ar atmosférico é admitido no túnel através do coletor (1), que deve ser projetado de maneira a não causar perturbações no escoamento que entra na câmara de tranquilização (2). Para reduzir o nível de turbulência do escoamento e para garantir um perfil de velocidades uniforme na entrada da contração (3), são usados uma colméia e até quatro telas, que são instalados no interior da câmara de tranquilização, como mostrado na Fig. 1.

A contração (3) deve ser projetada de maneira que o escoamento no início da seção de testes (4) seja o mais uniforme possível e de maneira que não ocorra descolamento da camada limite sobre as superfícies da contração.

As paredes da seção de testes possuem janelas, onde serão fixados os modelos e aparatos experimentais auxiliares, tais como injetores para a energização das camadas limites das paredes laterais. Além disto, o uso de janelas transparentes permite a utilização de equipamentos de medida, baseados em dispositivos óticos, tais com a velocimetria a laser (LDV) e a velocimetria por imagem de partículas (PIV), técnicas que serão implementadas nas pesquisas mencionadas anteriormente.

O difusor é dividido em duas partes, elementos (5) e (7) na Fig. 1, as quais são interligadas pelo ventilador (6) que fornece a potência necessária para produzir o escoamento na seção de testes com a velocidade máxima especificada de aproximadamente 70 m/s. O projeto do difusor é uma parte sensível do presente trabalho, pois deve-se tomar cuidado com descolamentos da camada limite, causados pelo gradiente de pressão adverso que caracteriza este elemento.

Na Fig. 2 é mostrado a posição do túnel de vento no interior do anexo ao Laboratório de Engenharia Aeronáutica Prof. Feng. Pode-se observar que o ar que escoar pelo interior do túnel de vento é descarregado na atmosfera e, portanto, está sujeito às variações de direção e intensidade do

vento. Estas variações tem influencia no escoamento na seção de testes e, portanto, devem ser minimizadas para se garantir uma boa qualidade do escoamento. É exatamente para esta finalidade que se utiliza o elemento (8), mostrado na Fig. 1, chamado de câmara amortecedora dos efeitos do vento. Ainda na Fig. 2, pode-se observar que a parte do túnel de vento, onde o ar é admitido, está posicionado no interior do laboratório, sendo isto uma grande vantagem, pois minimiza os efeitos causados pelas variações do vento.

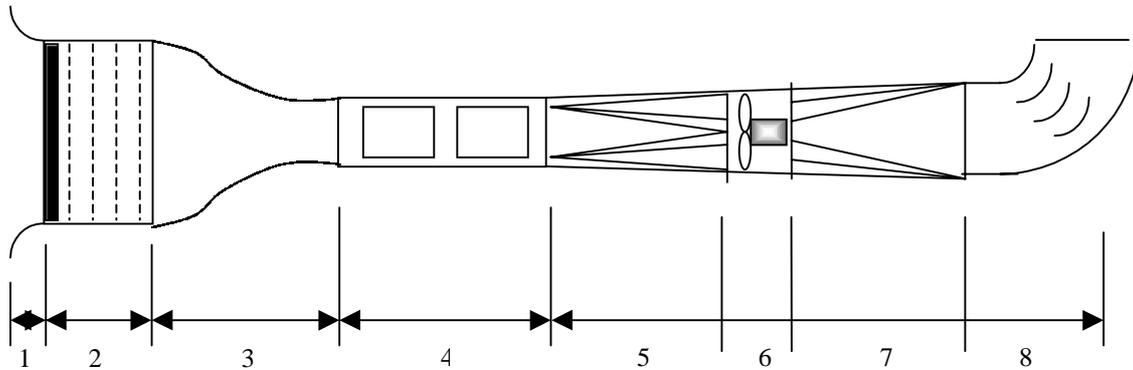


Figura 1: Vista geral do túnel de pesquisa do ITA e seus elementos.

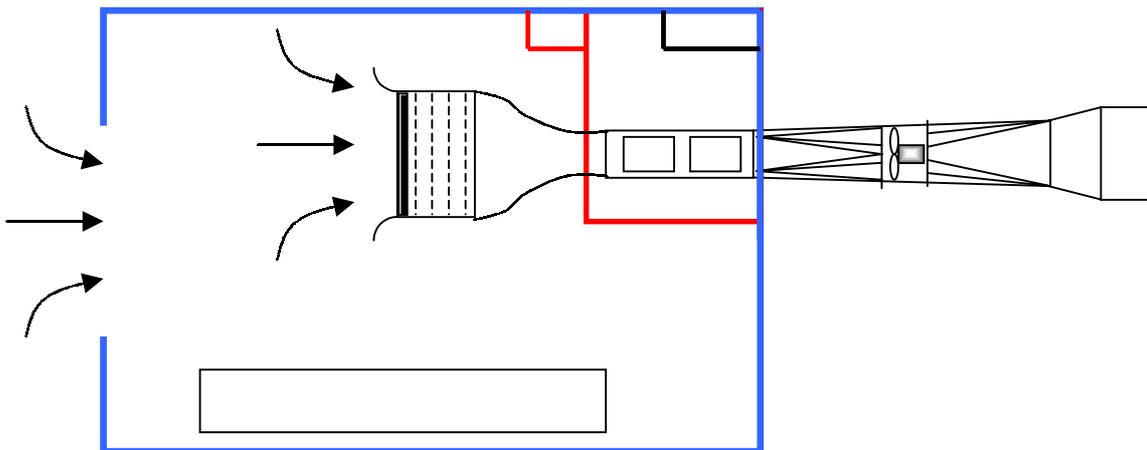


Figura 2: Vista em planta do anexo ao Laboratório de Eng. Aeronáutica Prof. Feng, com o túnel de pesquisa do ITA.

3. CARACTERÍSTICA ESPECÍFICAS DE CADA ELEMENTO DO TÚNEL DE VENTO

Após ter-se uma idéia geral do túnel de vento, são fornecidas informações detalhadas relativas a cada um dos elementos, descritos na seção anterior do presente trabalho.

3.1. Coletor

Como regra geral, o coletor pode ter a forma de um arco de circunferência (1/4 da mesma) com raio igual a 0,2 do diâmetro hidráulico da seção transversal da câmara de tranquilização. Esta regra pode ser aplicada com segurança quando a borda externa do coletor (seção de entrada) é localizada a uma boa distância de obstáculos, tais como parede, piso e teto do prédio, onde o túnel de vento é instalado. Infelizmente, este não é o caso do túnel de vento de pesquisa do ITA, devido a dimensão da altura da câmara de tranquilização e devido ao posicionamento no interior do laboratório, como

pode ser visto na Fig. 2. Desta forma, o projeto do coletor deve ter um tratamento especial e não será relatado no presente artigo.

3.2. Câmara de Tranquilização

Este elemento do túnel de vento tem a função de retificar o escoamento que foi admitido através do coletor, no sentido de uniformizar o perfil de velocidades e diminuir o nível de turbulência do escoamento no início da contração.

Em geral, telas e colmeias são utilizadas para retificar o escoamento. As colmeias são mais eficientes para reduzir as flutuações nas direções transversais ao escoamento, enquanto as telas são usadas para reduzir as flutuações na direção longitudinal (Rae & Pope, 1984). Estes dispositivos introduzem uma perda de carga razoável e devem ser instalados em uma região onde a velocidade do escoamento é baixa, como é o caso da câmara de tranquilização.

Colmeias são constituídas por um conjunto de células, as quais são caracterizadas por uma dimensão transversal (M) e por um comprimento na direção longitudinal (L_c). Para se especificar a colmeia usada em um túnel de vento pode-se recorrer ao trabalho desenvolvido por Loehrke & Nagib, 1976. Com base neste trabalho, pode-se especificar a colmeia a ser usada no túnel de pesquisa do ITA. Verifica-se que o tamanho da célula deve ser menor que 4,9 mm e que o comprimento L_c deve ser maior que 49 mm. A distância entre a colmeia e a próxima tela deve ser maior que 172 mm. A colmeia especificada é feita de aço inox (devido as pequenas dimensões), tem formato hexagonal, com tamanho da célula, $M = 4,76$ mm (3/16") e comprimento, $L_c = 50,8$ mm (2").

Telas são caracterizadas pelo tamanho da malha ("mesh size") e pelo diâmetro do fio usado na fabricação da malha (d). Um parâmetro importante é a porosidade da tela (β) definido como a razão entre as áreas vazada e total. Para se especificar as telas usada em um túnel de vento deve-se levar em consideração as informações fornecidas no trabalho de McKinney & Scheiman, 1981, onde se verifica: (i) que número de Reynolds (Re_d), baseado no diâmetro do fio (d), deve ser baixo, de preferência menor que 80 e (ii) que telas usadas para reduzir o nível de turbulência do escoamento devem ter $\beta > 0,57$.

Com base no critério do número de Reynolds, verifica-se que o diâmetro dos fios que constituem a malha da tela deve ter valor $d = 0,2$ mm. Para este valor não é possível a utilização de telas feitas com fios de material plástico. No mercado nacional existem alguns fabricantes de telas, feitas com fios de aço inox, com $d = 0,2$ mm e com porosidade $\beta = 0,67$, que satisfaz o vínculo mencionado acima. Para esta tela $Re_d = 85,5$ e o fator de perda de carga (K) é aproximadamente igual a 1,0. Segundo McKinney & Scheiman, 1981, verifica-se que a distância entre duas telas consecutivas deve ser maior que 110 mm.

Telas são elementos que acumulam muita sujeira e o projeto da câmara de tranquilização deve ser feito de maneira que permita fazer a limpeza das telas de uma maneira simples. No caso do túnel de pesquisa do ITA, a seção transversal da câmara de tranquilização possui dimensões de 3,16 x 3,80 m. Devido ao tamanho das telas e a problemas de esticamento das mesmas, adotou-se a solução de realizar a limpeza das mesmas montadas no interior da câmara de tranquilização. Para tanto, adotou-se uma distância de 700 mm entre cada um dos elementos que retificam o escoamento. Em uma das superfícies laterais da câmara de tranquilização serão feitas duas portas de acesso, de maneira que uma pessoa possa entrar entre dois elementos retificadores e realizar a limpeza.

Embora análises sobre a redução do nível de turbulência indique que apenas três telas serão suficientes para fornecer o nível de turbulência requerido no projeto, foi prevista a colocação de uma quarta tela, também posicionada a 700 mm de distância da terceira. A estação prevista para a quarta tela também pode ser usada para a instalação de dispositivos para geração e distribuição de particulado, necessário para as técnicas de medida com laser.

3.3. Contração

Segundo Morel (1975) a forma das paredes de uma contração com simetria axial pode ser dada através do acoplamento de duas cúbicas, no ponto definido pelas coordenadas adimensionais (x_c, y_c) . Estas cúbicas são descritas por

$$y = 1 + \frac{y_c - 1}{x_c^3} x^3 \quad (1)$$

$$y = \frac{y_c}{(1 - x_c)^3} (1 - x)^3 \quad (2)$$

onde $y = \frac{H - H_e}{H_t - H_e}$, $x = \frac{x'}{L}$, H_e , H_t e H são, respectivamente, as alturas da seção de testes, da câmara de tranquilização e da estação localizada em x . A variável x' é a coordenada dimensional na direção longitudinal da contração e L é o comprimento da mesma. As equações (1) e (2) são válidas para x variando nos intervalos $[0, x_c]$ e $[x_c, 1]$.

Para garantir que as duas curvas acima tenham uma união suave no ponto (x_c, y_c) deve-se impor que as inclinações de ambas as curvas sejam iguais. Deste procedimento resulta a relação $y_c = 1 - x_c$ que vincula os parâmetros x_c e y_c , transformando as equações acima em uma família monoparamétrica de curvas. Na Fig. 3 é mostrada uma vista em perspectiva da contração usada no túnel de pesquisa do ITA, que é caracterizada por ter $x_c = 0,28$ e comprimento $L = 4,95$ m.

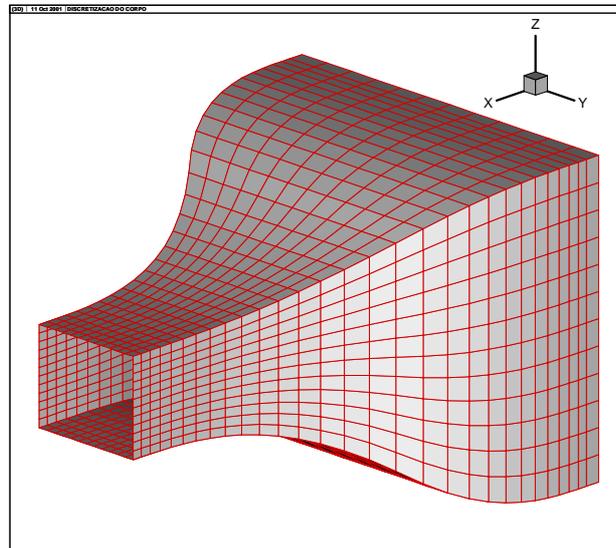


Figura 3: Vista em perspectiva da contração com $L = 4,95$ m.

3.4. Seção de Testes

No túnel de vento de pesquisa, descrito neste trabalho, a seção de testes tem um comprimento de 4,0 m e possui seção transversal retangular, porém, suas dimensões variam ao longo do comprimento: no início tem-se 1,0 m de altura e 1,2 m de largura e no final a altura é a mesma, porém, a largura é incrementada para 1,36 m. Como mencionado anteriormente, este aumento na

área da seção transversal é uma forma de compensar o crescimento da camada limite ao longo do comprimento da seção de testes, de maneira a manter constante o valor da pressão estática.

Para definir esta variação na área da seção transversal, foram utilizados códigos computacionais para a determinação da variação da espessura de deslocamento ao longo da seção de testes. A partir da diferença entre os valores das espessuras de deslocamento no final e no início da seção de testes é possível calcular o incremento de área em cada uma das paredes desta seção. Observou-se que o ângulo de divergência de cada uma das paredes é 0,5 graus, que coincide com o valor recomendado por Rae & Pope (1984). Para facilitar a construção e para se ter uma referência bem definida neste elemento do túnel de vento, adotou-se que as superfícies inferior e superior devem ser paralelas, enquanto a variação da área da seção transversal é feita através da divergência das superfícies laterais da seção de testes, como relatado acima.

Um detalhe importante é a quebra dos cantos da seção de testes, como mostrado na Fig. 4. Com isto evita-se a formação de escoamentos secundários, que incrementam a perda de carga e podem causar algum tipo de perturbação no escoamento. Além disto, os cantos podem abrigar lâmpadas normais (fluorescentes) ou ultravioletas, usadas para a visualização de escoamento, através da técnica que utiliza linhas muito finas coladas na superfície de um modelo. Por fim, estes cantos podem ser úteis no ajuste fino da distribuição de pressão ao longo da seção de testes, evitando-se o surgimento de uma força na direção longitudinal, semelhante ao empuxo.

Uma das características mais importantes em um túnel de vento de pesquisa é a flexibilidade de se alterar com facilidade a configuração a ser estudada. Além disto, a seção de testes deve permitir a introdução de sondas para medidas de parâmetros do escoamento e, também, deve permitir a implementação de técnicas de visualização e de medida através de metodologias óticas, como o LDV e o PIV. Balanças para medidas de forças e momentos podem ser instaladas para se fazer inúmeras medidas em aeronaves e em outros tipos de modelos.

Uma maneira de se ter a flexibilidade desejável é projetar a seção de testes com janelas removíveis, que podem ser opacas ou transparentes, como mostrado na Fig. 4. Adotou-se uma janela maior no centro, onde serão instalados os modelos no interior da seção de testes. As janelas anterior e posterior tem a finalidade de permitir a introdução de sondas e de fazer visualização do modelo e do escoamento, quando a janela central tiver que ser opaca. Na Fig. 4 é apresentada a vista lateral da seção de testes. Um conjunto semelhante de janelas é feito na superfície superior. Na outra superfície lateral e na superfície inferior, existe somente uma janela com as mesmas dimensões da janela central e posicionada no centro da seção de testes, como ocorre na superfície lateral mostrada na Fig. 4.

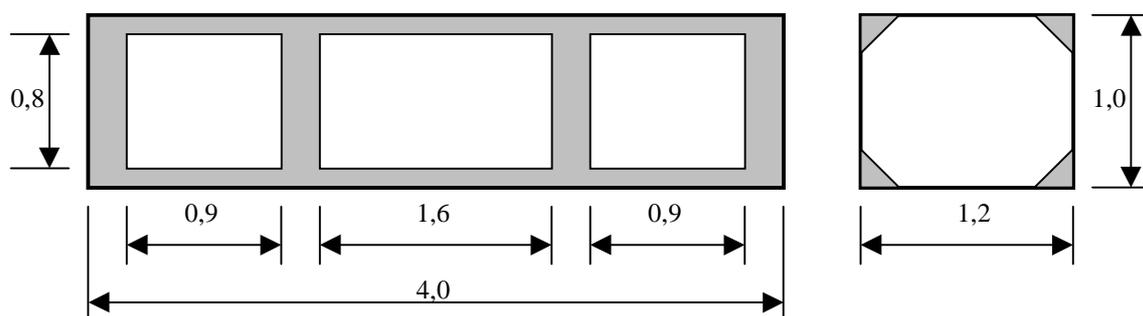


Figura 4: Vista lateral da seção de testes e sua seção transversal. Dimensões em metros.

3.5. Difusor

Como mencionado anteriormente, o difusor do túnel de pesquisa do ITA é constituído por duas partes, ligadas entre si através da seção do ventilador. Inicialmente foi cogitado instalar o ventilador no final do difusor, devido ao diâmetro de um ventilador disponível no mercado. No entanto, segundo Eckert et al (1976), o ventilador tem a propriedade de energizar o escoamento, no sentido

que o segundo difusor (instalado após o ventilador) pode ser considerado como um novo elemento e não como uma continuação do primeiro.

Existem limitações no ângulo de abertura de difusores, que podem ser consideradas através de um vínculo entre a razão de áreas, AR, (relação entre as áreas da saída e da entrada) e o comprimento adimensional do difusor (Ld/R_1), definido como a razão entre o comprimento (Ld) e o raio da seção circular equivalente da seção de entrada (R_1). Em Eckert et al (1976) foi feita uma coletânea de dados relativos à difusores implementados em túneis de vento e, com base nestas informações, foi definida uma relação entre AR e Ld/R_1 .

Outro aspecto importante no projeto de difusores é a perda de carga que ocorre neste elemento. Em Eckert et al (1976) são fornecidas expressões matemática que permitem uma boa estimativa da perda de carga em um difusor. Utilizando-se estas expressões e a relação entre AR e Ld/R_1 é possível criar um código computacional para analisar a performance de difusores. Em um primeiro estudo, os resultados mostram que a redução do diâmetro do ventilador (diminuição do comprimento do primeiro difusor) acarreta redução do comprimento total do difusor e da potência requerida e, portanto, resulta na diminuição dos custos inicial e de operação do túnel de vento. Obviamente não é possível reduzir demasiadamente o diâmetro onde deve ser feita a instalação do ventilador, devido a questão do espaço ocupado pelo motor do ventilador além de aspectos ligados a eficiência do equipamento. Com base em informações de fabricante de ventiladores e na análise precedente foi adotado, para este projeto, um ventilador com diâmetro $D_v = 2,14$ m. Especificado este parâmetro, o primeiro difusor pode ser totalmente definido, sendo caracterizado por: (i) Razão de áreas, $AR = 3,0$, (ii) comprimento $Ld_1 = 8,36$ m, (iii) comprimento adimensional, $Ld/R_1 = 13,52$. e (iv) ângulo de abertura do difusor $2\theta = 7,2^\circ$.

Em um segundo estudo, foi feita uma simulação, onde os parâmetros do primeiro difusor, assim como do ventilador, foram mantidos fixados nos valores relatados acima. O objetivo desta segunda simulação foi verificar qual é o impacto da relação de áreas (AR) do segundo difusor no seu comprimento, nas perdas que ocorrem neste elemento e na perda de energia cinética que é liberada para o ambiente. Com base nos resultados, o segundo difusor foi projetado com as seguintes características: (i) Razão de áreas, $AR = 2,3$, (ii) comprimento, $Ld_2 = 7,50$ m, (iii) seção de saída com área de $8,0 \text{ m}^2$ e (iv) ângulo de abertura do difusor $2\theta = 8,2^\circ$.

Definidas as dimensões, deve-se projetar a forma de cada um dos difusores, pois ambos são caracterizados por uma transição da forma de seção transversal: (i) retangular para circular no primeiro difusor e (ii) circular para quadrada, no segundo, de maneira a facilitar a construção da câmara amortecedora dos efeitos do vento, localizado no final do túnel. Para fazer a transição utiliza-se todo o comprimento de cada um dos difusores, de maneira que a mesma seja o mais suave possível.

3.6. Ventilador

A seção do ventilador é constituída basicamente pelo motor elétrico, pelo cubo e pelas pás do ventilador. No caso do túnel de pesquisa do ITA, o motor deve fornecer uma potência de eixo igual a 200 hp.

Na parte frontal ao cubo deve-se instalar um parabolóide de revolução ("spinner"), cuja finalidade é ajustar o escoamento na região da raiz das pás. Após o motor deve-se utilizar uma carenagem, com formato de elipsóide de revolução, com a finalidade de se evitar pulsação do escoamento gerado pela esteira do motor, que sem esta carenagem é um corpo rombudo, que apresenta uma ampla esteira e liberação de grandes estruturas vorticais, responsáveis pela pulsação do escoamento.

Para fixar o motor no interior da carcaça do ventilador (cujo diâmetro é 2,14 m) são usados suportes, que por sua vez são carenados por aletas diretoras, cuja finalidade é retirar a rotação introduzida ao escoamento pelas pás do ventilador.

Deve-se mencionar que a carcaça da seção do ventilador será fixada em uma base de concreto, sendo isto feito com a utilização de amortecedores de vibração, para evitar que a mesma seja transmitida para a seção de testes através do piso do laboratório.

A velocidade do escoamento no interior da seção de testes será controlada através da rotação do motor elétrico (não vai haver controle do passo das pás do ventilador, pois isto tornaria o custo bem mais elevado). Para tanto, será usado um controlador eletrônico de rotação (inversor de frequência), cujo sistema de controle não permita uma variação da velocidade na seção de testes maior que 1% da velocidade máxima. Este sistema deve ter uma interface com um computador, de maneira que este possa controlar a velocidade do túnel de vento, permitindo a automação dos experimentos.

3.7. Câmara Amortecedora dos Efeitos do Vento

Como mencionado anteriormente, o escoamento que passa pelo interior do túnel de vento é descarregado na atmosfera e, devido a isto, o vento pode causar perturbações no escoamento na seção de saída do túnel de vento, as quais são transmitidas a seção de testes.

Em Eckert et al (1976) foram estudados vários tipos de configuração para realizar o amortecimento dos efeitos do vento sobre o escoamento na seção de testes. Foram analisados dispositivos tanto para a entrada quanto para a saída do túnel de vento, no entanto, ambos os dispositivos foram ensaiados em conjunto ficando muito complicado a verificação do efeito de cada um dos dispositivos. Aparentemente, o vento possui maior efeito na entrada do túnel de vento, sendo isto uma vantagem da configuração adotada para o túnel de vento de pesquisa, pois a entrada esta localizada no interior do laboratório, que é uma região mais protegida do vento.

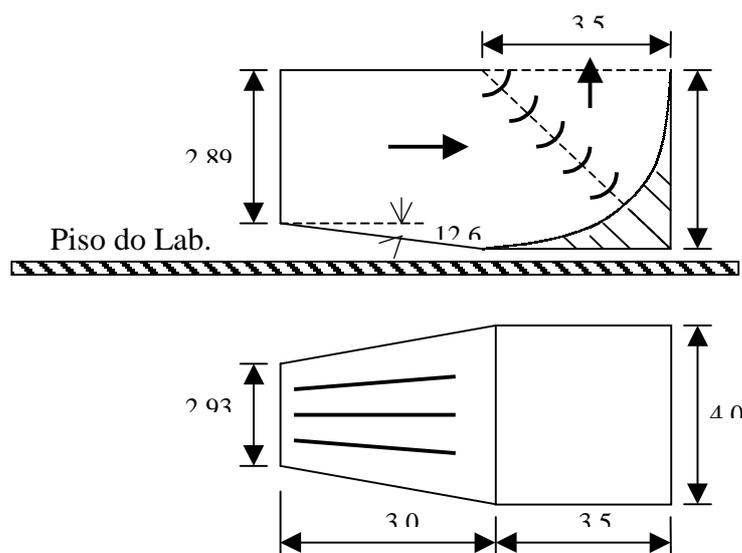


Figura 5: (A) Vista lateral e (B) vista em planta da câmara amortecedora dos efeitos do vento atmosférico. Desenho esquemático. Dimensões em metros

Entre as configurações testadas para a saída do túnel, a melhor realiza uma redução da velocidade do escoamento, através de um difusor curto com ângulo de abertura mais elevado e, em seguida, deflete este escoamento para cima. Esta deflexão parece deixar o escoamento no interior do túnel insensível em relação a direção do vento. Para realizar esta deflexão com o mínimo de perdas possível são usadas aletas diretoras, semelhantes àquelas implementadas nas esquinas de túneis de vento de circuito fechado, as quais podem ser projetadas usando-se os critérios descritos por Rae & Pope (1984).

Para evitar descolamentos e suas conseqüências no difusor com grande ângulo de abertura, utilizou-se três chapas divisorias (Cochran & Kline, 1958; Moore Jr. & Kline, 1958), que transformam o espaço interno deste elemento em quatro difusores com ângulo de abertura menor,

como pode ser visto na Fig. 5. Além disto, caso ainda ocorra algum tipo de problema (detectado nos ensaios de calibração do túnel), telas podem ser instaladas no início e no final do difusor; como relatado por Schubauer & Spangenberg, 1949.

Por fim, para evitar que pequenos animais entrem no interior do túnel de vento, deve-se instalar uma tela na seção de saída da câmara amortecedora. Além disto, em uma das paredes laterais deste elemento deve haver uma porta de acesso, que permita a entrada de uma pessoa para a realização de limpeza e inspeção dos elementos do túnel de vento, localizados após o ventilador.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi feita a apresentação da configuração adotada para o túnel de vento de pesquisa do ITA, caracterizada como um túnel de circuito aberto, com seção de testes fechada e formato retangular com 1,0m de altura e 1,2 m de largura e com velocidade máxima de aproximadamente 200 Km/h.

Para cada um dos elementos do túnel de vento foram relatadas as informações usadas para a definição das dimensões e da forma que foram adotadas no presente projeto. A velocidade do escoamento na seção de testes deverá ser medida por um tubo de Pitot, instalado em uma posição que não afete o escoamento sobre os modelos. O controle desta velocidade será feita de maneira manual ou automática, usando-se um micro computador, com placa de aquisição de dados.

Inicialmente não serão feitas medidas de força no túnel de vento, pois os recursos para aquisição de equipamentos foi direcionado para um sistema de velocimetria a laser (LDV), com três canais e para um sistema de velocimetria através de imagem de partículas (PIV). Além destes equipamentos, medidores de pressão e anemometria de fio quente serão implementados nas pesquisas requeridas pela EMBRAER, como mencionado no início deste trabalho.

Material metálico será usado em quase todas as partes do túnel de vento, com exceção de algumas onde será usado material composto.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela disponibilização de parte dos recursos para a construção deste túnel de vento (projeto: FAPESP 00/13769-0). A EMBRAER por ter acreditado no projeto e na utilidade que seus resultados terão e, também, por financiar toda a parte de infra-estrutura associada a um túnel de vento. Aos pesquisadores Ricardo Sant'Anna Alvim e Alfredo Canhoto e ao Eng. Sadahaki Uyeno pela inestimável colaboração.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cochran, D.L. & Kline, S.J., 1958, "Use of Short Flat Vanes for Producing Efficient Wide-Angle Two-Dimensional Subsonic Diffusers", NACA TN-4309.
- Eckert, W.T.; Mort, K.W. & Jope, J., 1976, "Aerodynamic Design Guidelines and Computer Program for Estimation of Subsonic Wind Tunnel Performance", NASA TN D-8243.
- Eckert, W.T.; Mort, K.W. & Piazza, J.E., 1976, "An Experimental Investigation of End Treatments for Nonreturn Wind Tunnels", NASA TMX-3402.
- Loehrke, R.I. & Nagib, H.M., 1976, "Control of Free-Stream Turbulence by Means of Honeycombs: A Balance Between Suppression and Generation", J. of Fluids Engineering, Vol. 98, Serie I, N. 3, pp. 342-353.
- Lumley, J.L., 1964, "Passage of a Turbulent Stream Through Honeycomb of Large Length-to Diameter Ratio". Journal of Basic Engineering, pp. 218-220.
- McKinney, M.O. & Scheiman, J., 1981, "Evaluation of Turbulence Reduction Devices for the Langley 8-Foot Transonic Pressure Tunnel", NASA TM-81792.
- Moore Jr., C.A. & Kline, S.J., 1958, "Some Effects of Vanes and of Turbulence in Two-Dimensional Wide-Angle Subsonic Diffusers", NACA TN-4080.

- Morel, T., 1975, "Comprehensive Design of Axisymmetric Wind Tunnel Contractions", J. of Fluids Engineering, pp. 225-233.
- Rae Jr., W.H. & Pope, A., 1984, "Low-Speed Wind Tunnel Testing", John Wiley & Sons, Second Edition, USA.
- Schubauer, G.B. & Spangenberg, W.G., 1949, "Effect of Screens in Wide-Angle Diffusers", NACA Report 949.

DESIGN OF THE SUBSONIC RESEARCH WIND TUNNEL OF THE AERONAUTICAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Roberto M. Girardi

Nide Geraldo do Couto Ramos Fico Jr.

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

12.228-900 São José dos Campos, SP. E-mail: girardi@aer.ita.cta.br , nide@aer.ita.br

Olympio Achilles de Faria Mello

Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE - CTA)

Praça Mal. Eduardo Gomes, 50, 12.228-900 São José dos Campos, SP

E-mail: oamell@directnet.com.br

Paulo Komatsu

Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER)

E-mail: Pkomatsu@embraer.com.br

***Abstract.** The objective of the present work is to present the conceptual design of the ITA research wind tunnel. This is an open circuit wind tunnel with a 1,0 by 1,2 m closed rectangular test section. The maximum velocity at the test section is approximately 200 km/h and the turbulence level must be lower than 0.05%. After a wind tunnel general description, each of its elements are detailed treated. Dimensions and shapes are furnished as well as the way they were obtained. In the open circuit wind tunnel the wind effects must be considered and a damping chamber, located at the tunnel exit end, is designed to minimize the disturbances in the test section flow. Two research programs will be conducted after the test section flow calibration is performed: (i) development of a wind tunnel test procedure for aerodynamic profiles at high angle of attack, minimizing three-dimensional effects and (ii) methodology development for wing maximum lift coefficient estimation, based on experimental results obtained for profile tests. Advanced measurement techniques will be used in these research programs, for measuring velocity, like LDV and PIV, as well as, electronic pressure scanners.*

Key Words: wind Tunnel, Conceptual Design, Open Circuit