

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO EXPERIMENTAL PARA CALIBRAÇÃO DO NOVO TÚNEL DE VENTO AERODINÂMICO DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA -ITA

Marcelo Assato

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acáias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, assato@ita.br

João Paulo da Paz Sena

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acáias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, jpsena@ita.br

Roberto da Mota Girardi

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acáias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, girardi@ita.br

Resumo No ano de 2002 iniciou-se o projeto de desenvolvimento de um túnel aerodinâmico que pudesse complementar os equipamentos existentes no Centro Técnico Aeroespacial – CTA. Esse túnel foi projetado através de uma parceria entre o ITA, FAPESP, CTA/IAE e Embraer. Finalmente, em 2003 o túnel, que foi instalado nas dependências do Laboratório de Engenharia Aeronáutica Feng do ITA, foi finalizado. A partir daí surgiu a necessidade de calibração do mesmo, cujo objetivo é conhecer as características do escoamento na seção de testes e, eventualmente, em outros pontos do circuito aerodinâmico. As características que foram investigadas são: nível de turbulência e uniformidade do escoamento.

Inicialmente foram feitas medidas do nível de turbulência e velocidade média na seção de tranquilização do túnel de vento e entrada do túnel de vento.

As medidas dos níveis de turbulência e velocidade média foram obtidas através de um anemômetro de fio quente do tipo CTA (Constant Temperature Anemometer). Os dados obtidos são lidos diretamente em um ambiente computacional, interfaciado por uma placa de aquisição de dados.

Palavras-chave: anemometria de fio quente, nível de turbulência, túnel de vento

1. INTRODUÇÃO

Durante o projeto do novo túnel de vento aerodinâmico do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) optou-se pelo desenvolvimento de um túnel de circuito aberto, não só pelo baixo custo de produção, mas também pela mais rápida velocidade de implantação se comparado com um túnel de circuito fechado. No entanto, a qualidade de escoamento de sua seção de testes é potencialmente afetada pelas condições do ar externo. Esta sensibilidade é crítica em testes de baixa velocidade.

Os requisitos para a qualidade de escoamento do novo túnel de vento do ITA são muito rigorosos, tanto que o nível de turbulência deve ser de aproximadamente 0,05% do escoamento médio. Para garantir que o nível de turbulência desejado e uniformidade do escoamento sejam alcançados o túnel possui uma contração de 10:1, uma colméia e três telas, com a possibilidade de instalação de mais uma caso seja necessário. Além disso, esse túnel possui seu bocal de entrada, contração, câmara de tranquilização e seção de testes dentro de um prédio anexo ao Laboratório de Engenharia Aeronáutica do instituto, Ldwig Feng.

No trabalho deverá ser feita uma série de investigações a respeito da qualidade do escoamento do referido túnel de vento. Essa investigação deve iniciar com a medida do nível

de turbulência e uniformidade do escoamento, através de um anemômetro de fio quente, na entrada do circuito aerodinâmico do túnel de vento (bocal de entrada e câmara de tranqüilização), posteriormente deve-se avaliar a qualidade do escoamento na seção de testes do túnel de vento.

Devemos realizar estudos acerca da influência da porta de entrada do laboratório em relação ao túnel de vento, uma vez que existe uma assimetria entre a porta e o bocal de entrada. Sugestões para solução deste efeito devem ser mostradas. A utilização de visualização com laser e fumaça faz parte deste estudo, além de medidas de nível de turbulência com anemometria de fio quente.

2. APARATO EXPERIMENTAL

Nesta seção serão descritos os equipamentos utilizados em todo o processo experimental.

2.1 Túnel de Vento

Definitivamente o túnel de vento é o melhor equipamento para realização de experimentos em aerodinâmica. Sua utilização teve um aumento crescente a partir do início do século 20, onde se observou que a quantidade de ensaios com diferentes metodologias e modelos, poderia ser realizado com um considerável baixo custo. Segundo Pope e Harper^[6] os túneis de vento oferecem um modelo rápido, econômico e preciso de pesquisa aerodinâmica. No entanto, a prática de uso desse equipamento não se limitou ao ramo aeronáutico, sendo aplicado também na construção civil (estudo sobre escoamentos em edifícios), indústria automobilística, indústria naval, e etc.

O túnel usado nos ensaios referentes a este trabalho é do tipo circuito aberto, localizado no anexo do Laboratório de Engenharia Aeronáutica Feng do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com capacidade de velocidade de até 200 Km/h e nível de turbulência de 0,05%.

Para uma melhor visualização do referido túnel de vento deve-se analisar cada componente do mesmo, definindo melhor cada detalhe da Fig.(1).

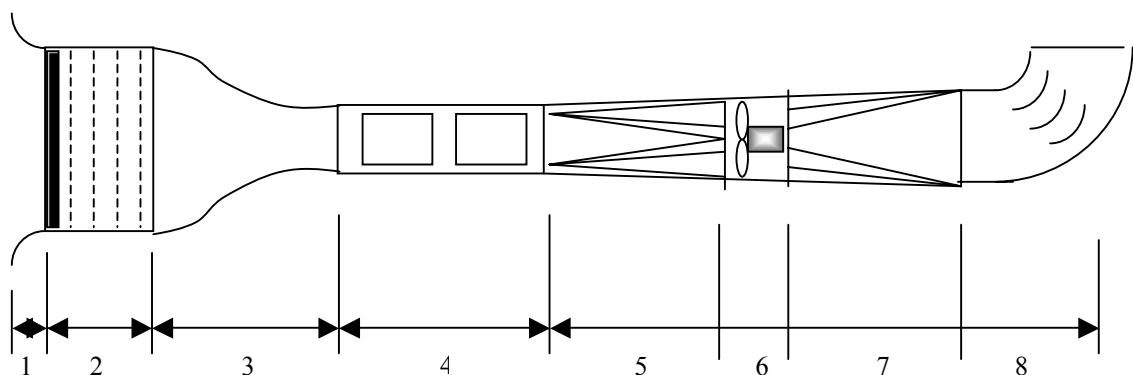


Figura 1. Vista com detalhes do túnel de vento do ITA

O coletor de ar (1) é o primeiro componente do túnel de vento, aqui toda a massa de ar é captada para posteriormente ser sugada para o seu interior.

A Câmara de tranqüilização (2) é responsável pela retificação do escoamento, ou seja, internamente deve-se ter superfícies capazes de uniformizar o escoamento diminuindo assim

da melhor maneira possível o nível de turbulência antes da contração. A câmara de tranqüilização possui seção transversal com dimensões de 3,16m x 3,80m.

Foi utilizada uma composição de colméia e telas para efetivar a uniformização na câmara. As colméias são mais eficientes para reduzir as flutuações nas direções transversais ao escoamento, enquanto as telas são usadas para reduzir as flutuações na direção longitudinal, segundo Rae e Pope. A colméia especificada é feita de aço inox (devido às pequenas dimensões), tem formato hexagonal, com tamanho da célula, $M = 4,76 \text{ mm (} \frac{3}{16} \text{"})$ e comprimento, $L_c = 50,8 \text{ mm (} 2'' \text{)}.$

Foram realizadas análises sobre a redução do nível de turbulência, indicando que apenas três telas seriam suficientes, afastadas 700 mm uma das outras, para fornecer o nível de turbulência requerido no projeto. No entanto, 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. A contração (3) usada no túnel de pesquisa do ITA, é caracterizada por ter $x_c = 0,28$ e comprimento $L = 4,95 \text{ m.}$

O elemento a ser descrito agora é a seção de testes (4), Fig.(2), que 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. 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.

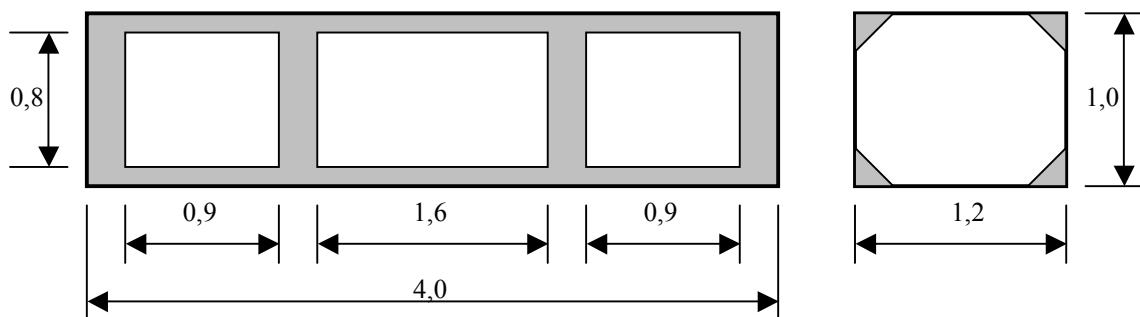


Figura 2. Vista da seção de testes

Posteriormente definem-se os difusores (5 e 7), que têm a função de expandir o escoamento, provocando a menor perturbação possível. O ventilador (6) utilizado no túnel de vento possui potência de 200 HP capazes de gerar a velocidade anteriormente relatada de 200 Km/h, com seu diâmetro possuindo 2,14m. A velocidade do escoamento no interior da seção de testes é controlada através da rotação do motor elétrico. Para tanto, utiliza-se um controlador eletrônico de rotação (inversor de freqüência), cujo sistema de controle não permite uma variação da velocidade na seção de testes maior que 1% da velocidade máxima. Este sistema possui uma interface com um computador, de maneira que este possa controlar a velocidade do túnel de vento, permitindo a automação dos experimentos.

Finalmente, o túnel de vento possui uma câmara amortecedora (8) dos efeitos do vento, pois, 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 à seção de testes.

2.2 Anemômetro de Fio Quente

O anemômetro de fio quente foi utilizado para medir a velocidade média e rms do escoamento entre as seções dentro da câmara de tranqüilização (telas e colmérias). No trabalho iremos utilizar um anemômetro do tipo CTA (Constant Temperature Anemometer), cujo funcionamento baseia-se no fato de que a resistência da sonda será proporcional à temperatura do fio quente, ou seja, no conjunto do anemômetro de fio quente existe uma ponte completa de Wheatstone, que de acordo com a passagem do escoamento na sonda, sofre uma troca de calor variando a resistência desta ponte, de tal forma, que o fenômeno físico é lido em termos de voltagem.

Para a calibração do anemômetro de fio quente foi montado o esquema mostrado na Fig.(3), no qual contém um manômetro Betz, que permite que a velocidade do fluxo de ar comprimido seja conhecida através de variação de pressão no calibrador. Tal fluxo, conhecido, segue para a sonda com o fio aquecido (250°C) de diâmetro $5\mu\text{m}$, cuja saída está conectada ao módulo de medida 56C01 CTA, o qual posteriormente envia valores de tensão ao sistema de aquisição de dados National Instruments SCB100.

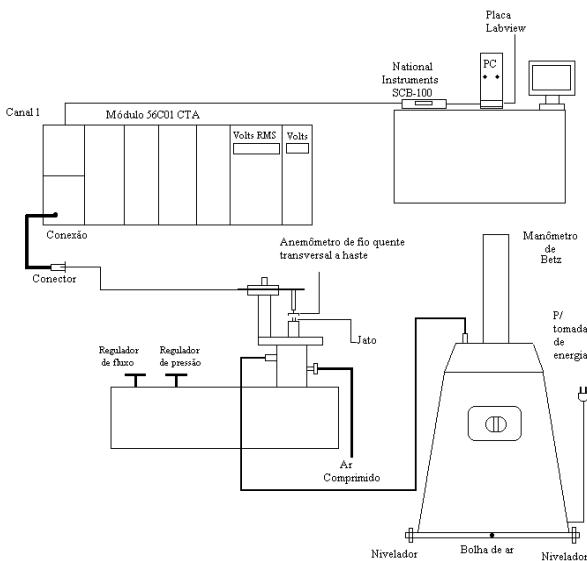


Figura 3. Montagem para calibração do anemômetro.

A Figura (4) mostra uma curva de calibração do fio quente. Após ajuste de zero, balanceamento da ponte, cálculo de resistência do fio, suporte e cabo, ajuste de overheat, realiza-se aquisição de dados dentro da faixa de velocidade do escoamento que pretende-se usar, veja Fig.(4a). É importante realizar a linearização da curva, desta forma, tem-se uma relação linear entre a velocidade do escoamento e a voltagem, conforme mostra a Fig.(4b).

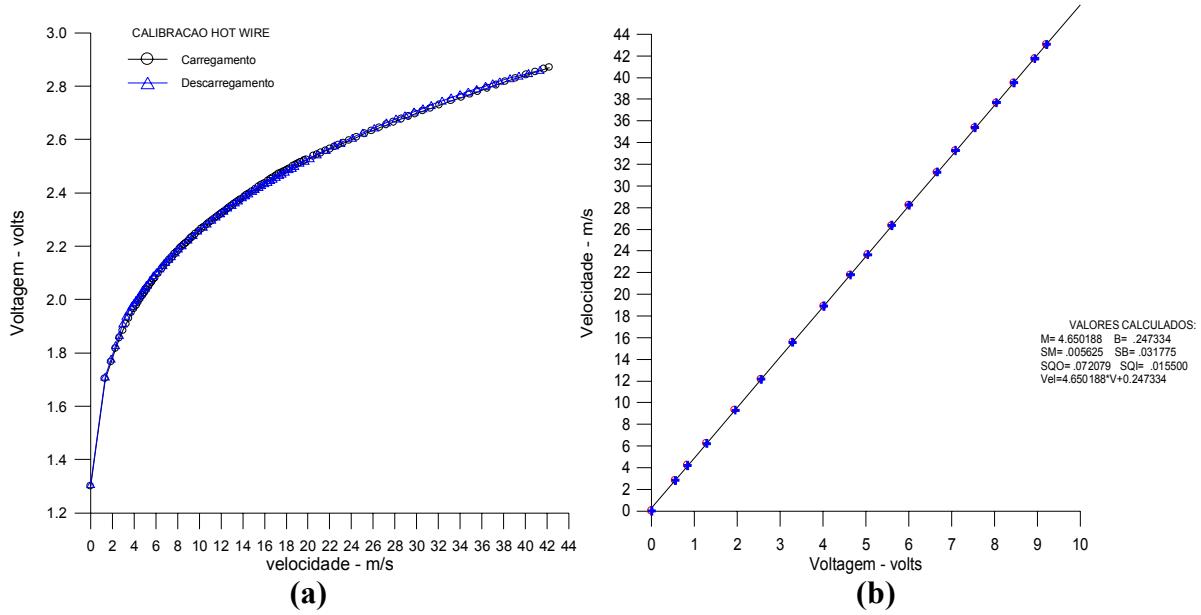


Figura 4. (a) Curva de calibração do fio quente. (b) Curva de calibração linearizada.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Fig.(5) temos os resultados encontrados para velocidade em toda a entrada do circuito aerodinâmico, para uma rotação de 400 rpm. Inicialmente, observamos uma queda desta velocidade após os conjuntos colméia-tela, gerada pela perda de carga provocada por estes dispositivos. Também verificamos que a velocidade varia em toda a extensão transversal (y) do túnel de vento. Do ponto inicial (0.0) para o final (1.0) existe uma perda de velocidade expressiva.

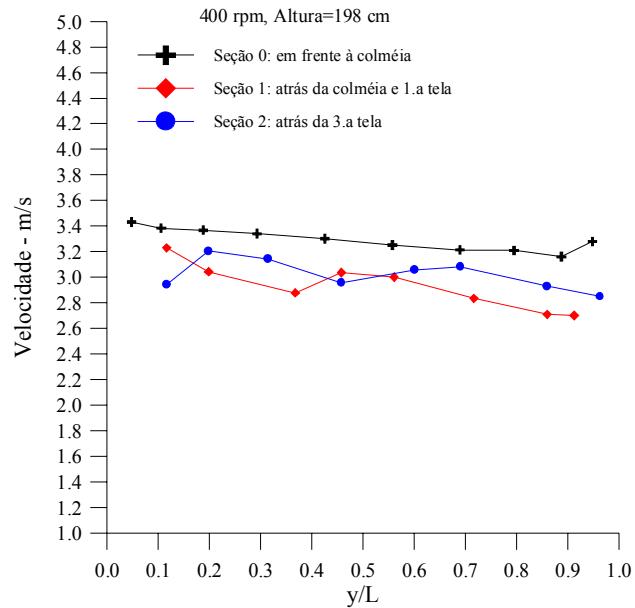


Figura 5. Distribuição de velocidade no túnel de vento (400 rpm).

A queda de velocidade é justificada pelo posicionamento da sonda de fio quente. Na última medida da sonda de fio quente (1.0), a mesma encontrava-se próxima da parede do

túnel de vento, já a primeira medida (0.0), encontrava-se em um ponto mais afastado da parede do túnel de vento, daí justificando-se a perda de velocidade pela condição de não-deslizamento.

Na Fig.(6) é apresentado o comportamento do nível de turbulência na seção transversal da entrada do túnel de vento, para uma rotação de 400 rpm do ventilador do túnel. Primeiramente na estação S0 verificamos que nas medidas das extremidades ocorre um aumento do nível de turbulência. Neste ponto ocorre a influência direta dos vórtices gerados na porta de entrada do laboratório onde está instalados o túnel de vento, e outros vórtices que são gerados em uma pequena zona de recirculação de ar, também dentro do laboratório.

Na seção S1 o nível de turbulência ainda é elevado, porém, o escoamento já se encontra bem mais comportado. Quando analisamos a seção S2 que vem logo após a terceira tela, o nível de turbulência cai para valores bem mais baixos do que os apresentados em outras seções, comprovando a efetividade do conjunto colméia-tela.

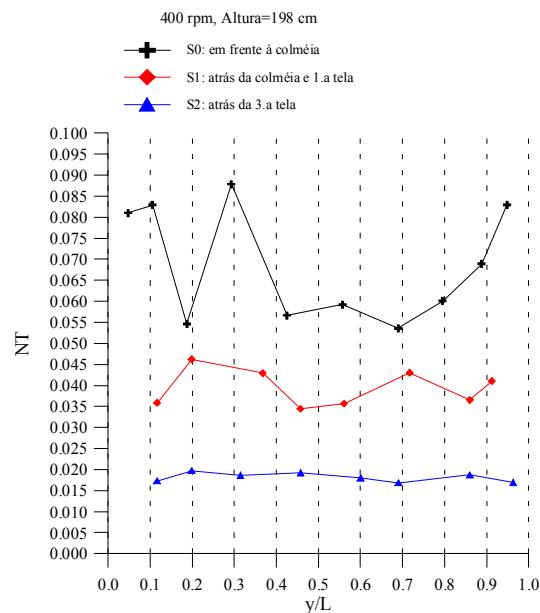


Figura 6. Distribuição do nível de turbulência no túnel de vento (400 rpm).

Para uma rotação de 800 rpm do ventilador do túnel de vento, Fig.(7), verificamos que os valores para velocidade nas três seções são praticamente equivalentes, mostrando que para altas velocidades o fator perda de carga não interfere de maneira expressiva no escoamento.

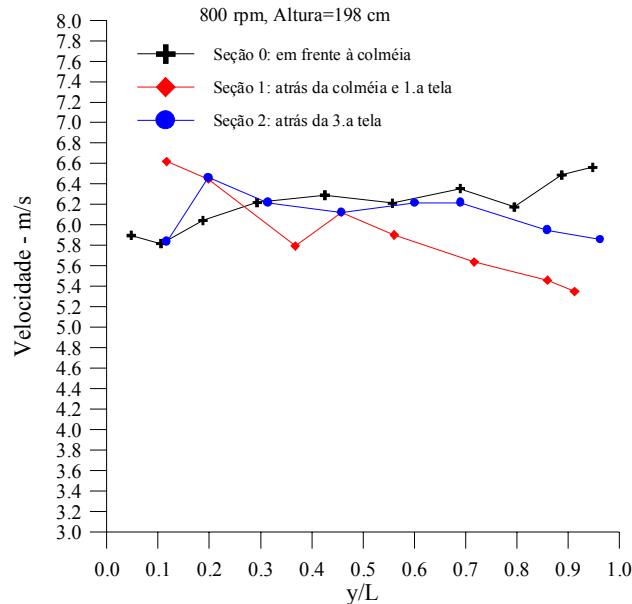


Figura 7. Distribuição de velocidade no túnel de vento (800 rpm).

Para o nível de turbulência, Fig.(8), observamos características bem diferentes para as distintas seções. Na seção S1, em alguns pontos de medida, tem-se praticamente os mesmos valores de nível de turbulência que a seção S0, ou seja, o escoamento para esta velocidade ainda encontra-se bastante desorganizado, mesmo com a presença de uma colméia e tela. Mostrando, que neste caso, apenas a colméia e uma tela são insuficientes para se obter um escoamento de boa qualidade. Nas regiões mais centrais da seção S1, os valores para os níveis de turbulência já são bem menores.

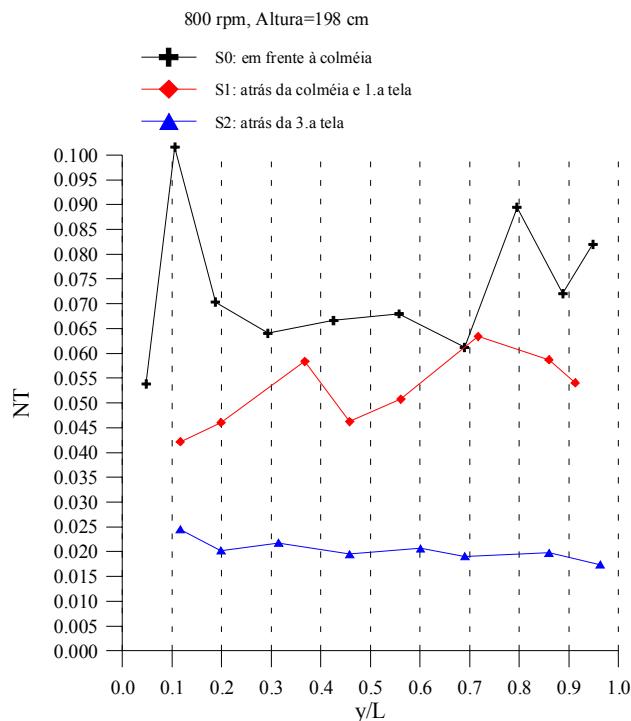


Figura 8. Distribuição do nível de turbulência no túnel de vento (800 rpm).

Na região atrás da terceira tela ocorre uma queda acentuada no nível de turbulência, comprovando que a real efetividade do conjunto colméia-tela, neste caso, só ocorreu após a inclusão da colméia e mais três telas.

Em trabalhos futuros serão realizados estudos em função do comportamento do escoamento na seção de testes do túnel de vento, caso o nível de turbulência não se encontre de acordo com os requisitos de projeto, existe a possibilidade de inclusão de mais uma tela na câmara de tranqüilização do túnel de vento.

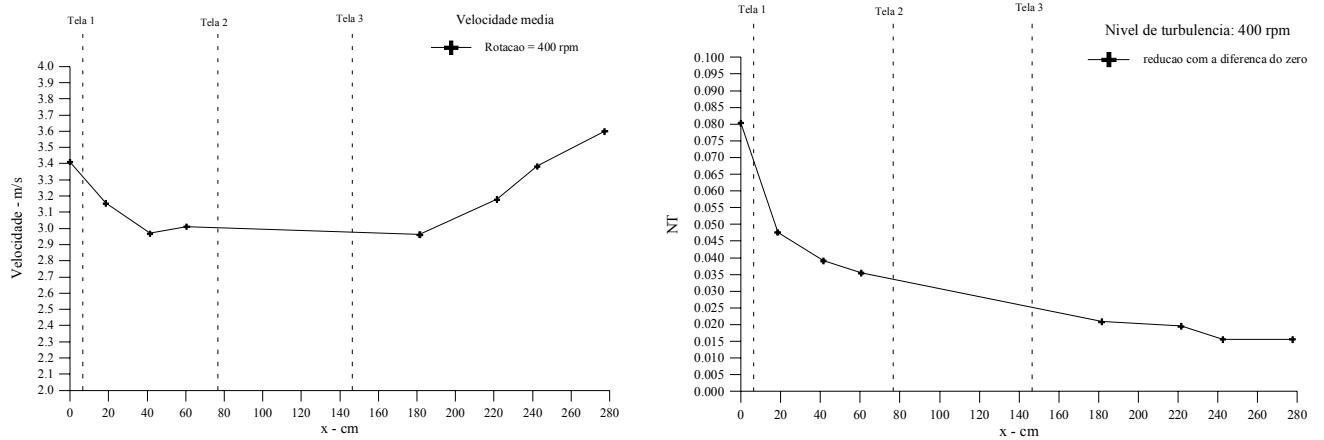


Figura 9. Comportamento da velocidade e nível de turbulência para 400 rpm (seção longitudinal)

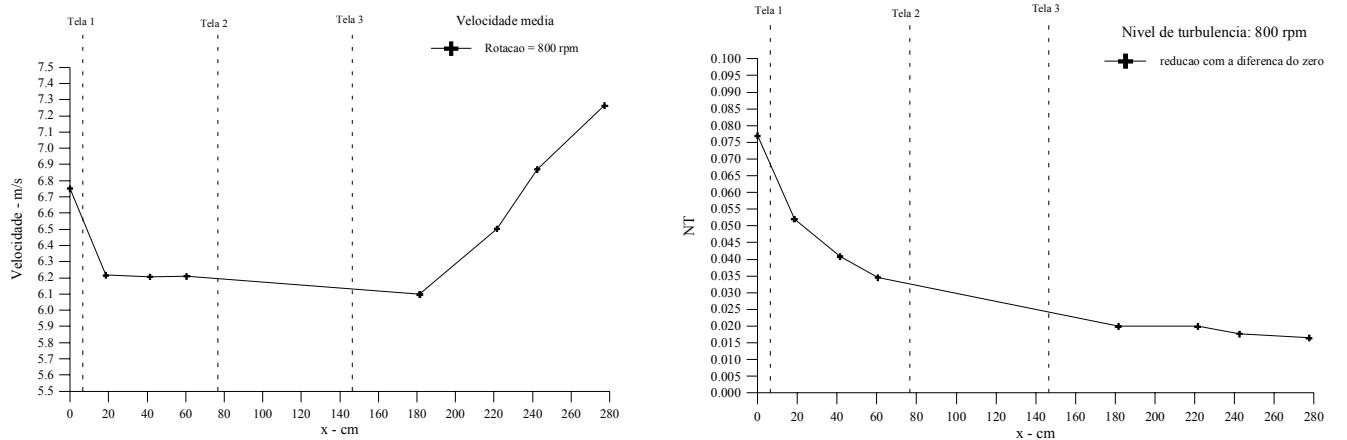


Figura 10. Comportamento da velocidade e nível de turbulência para 800 rpm (seção longitudinal)

Nas Fig.(9) e Fig.(10) tem-se uma amostra bem representativa do efeito da instalação da colméia e telas no túnel de vento. Observa-se que desde o ponto à frente da colméia até atrás da última tela ocorre uma queda considerável do nível de turbulência, por volta de 40%. Para a velocidade ocorre um comportamento interessante, próximo à contração, final da câmara de tranqüilização, a velocidade sofre um aumento, recuperando-se da perda provocada pelo acréscimo da colméia e telas.

4. CONCLUSÕES

Sendo assim, verificamos que o conjunto colméia-tela é sem dúvida um regularizador de escoamento, promovendo uma melhora significativa no nível de turbulência encontrado no túnel de vento em questão.

A velocidade média sofre uma pequena queda no seu valor, mostrando que, tanto a tela quanto a colméia, promovem uma melhoria no escoamento sem prejudicar a performance do túnel de vento.

5. REFERÊNCIAS

- Rae Jr., W.H. & Pope, A., 1984, "Low-Speed Wind Tunnel Testing", John Wiley & Sons, Second Edition, USA.
- McKinney, M.O. & Scheiman, J., 1981, "Evaluation of Turbulence Reduction Devices for the Langley 8-Foot Transonic Pressure Tunnel", NASA TM-81792.
- Eckert, W.T.; Mort, K.W. & Piazza, J.E., 1976, "An Experimental Investigation of End Treatments for Nonreturn Wind Tunnels", NASA TMX-3402.
- Girardi, R. M.; Fico Jr., N. G. C. R.; Mello, O. A. F. e Komatsu, P., 2002 "Projeto do Túnel de Vento Subsônico de Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica", Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CONEM 2002.
- Mesquita, A.L.A., 1997 "Fundamentos Técnicos de Anemometria" Apostila do curso realizado na EFEI – Itajubá, 1997.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DEVELOPMENT OF A EXPERIMENTAL CALIBRATION METHOD TO THE INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA - ITA NEW AERODYNAMIC WIND TUNNEL.

Marcelo Assato

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, assato@ita.br

João Paulo da Paz Sena

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, jpsena@ita.br

Roberto da Mota Girardi

Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA- Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 Vila das Acácias CEP:12228-900 São José dos Campos – SP, girardi@ita.br

Abstract. *In the year of 2002 started the project to develop an aerodynamic wind tunnel to complement the existing equipment in the Centro Técnico Aeroespacial (CTA). This tunnel was designed with a partnership between ITA, FAPESP, CTA/IAE and Embraer. Finally, in 2003 the tunnel, that was installed at the Feng Aeronautical Engineering Laboratory – ITA, was finished. Soon came out the necessity to calibrate it, whose objective is know the flow characteristics in the test section and, eventually, in other points of the aerodynamic circuit.*

The characteristics that had been investigated are: turbulence level and flow uniformity. Initially had been made measures of the turbulence level and mean velocity of the quiet chamber and wind tunnel entrance.

The measures of the turbulence level and mean velocity hab been gotten with a hot wire anemometer – CTA (Constant Temperature Anemometer). The data gotten were treated with a computational device, interfaced with a data acquisition board.

Keywords. Hot wire anemometry, turbulence level, wind tunnel.