



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA SUL-RIO-GRANDENSE
PRÓ-REITORIA DE ENSINO

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE ENSINO

REGISTRO SOB N°:

PJE2016PF046

I. IDENTIFICAÇÃO

a) Título do Projeto:

Construção de um Túnel de Vento pelos alunos da disciplina de Mecânica de Flúidos.

b) Resumo do Projeto:

O presente trabalho consiste na elaboração de projeto e execução de um túnel de vento de baixo custo, com finalidade de propiciar a visualização de escoamentos e medição de forças de arrasto e sustentação em perfis aerodinâmicos gerais.

c) Classificação, Carga Horária, Equipe e Custo Global do Projeto:

Classificação e Carga Horária Total:

<input type="checkbox"/> Curso/Mini-curso	<input type="checkbox"/> Palestra	<input type="checkbox"/> Evento	<input checked="" type="checkbox"/> Outro. Projeto e execução de equipamento de laboratório.
---	-----------------------------------	---------------------------------	---

Carga horária total do projeto: 50h

Coordenador

Nome : Daniel Beck

Lotação : Passo Fundo

SIAPÉ: 1574814

Demais membros		
Nome	Função	CH cumprida
Juliano Poleze	Colaborador	8 h. semanais
Sandro Clodoaldo Machado	Colaborador	8 h. semanais
Rodrigo Otávio de Oliveira	Colaborador	8 h. semanais
Alexsander Furtado Carneiro	Colaborador	8 h. semanais
Alexandre Bortolini Centenaro	Participante	4 h. semanais
Eduardo Zucatto	Participante	4 h. semanais
Evaldo Camargo Nunes	Participante	4 h. semanais
Felipe Maciel Bracini	Participante	4 h. semanais
Fernanda Rodrigues Ribas	Participante	4 h. semanais
Filipe Matheus Severgnini	Participante	4 h. semanais
Guilherme Dalbosco Trentin	Participante	4 h. semanais
Leonardo Brusso	Participante	4 h. semanais
Lucas Santin Bianchin	Participante	4 h. semanais
Matheus Miotto	Participante	4 h. semanais
Matheus Berghetti	Participante	4 h. semanais
Rogério Bido	Participante	4 h. semanais
Vanessa Carina Dal Magno	Participante	4 h. semanais
Viane Jung	Participante	4 h. semanais
William Retore Teixeira.	Participante	4 h. semanais

Observação: a carga horária prevista é em horas-aula semanais e a função pode ser Coordenador, Colaborador, Participante, Ministrante ou Palestrante. Listar apenas os membros que serão certificados.

Custo Global do Projeto
O custo total do Projeto foi de R\$ 1.500,00, custeado pelo coordenador do projeto e pela direção de ensino do câmpus, que contribuiu com R\$ 450,00.
Entretanto, muitos materiais utilizados foram oriundos do próprio curso de Mecânica, materiais estes disponíveis na oficina e outros laboratórios, como o laboratório de elétrica, o qual nos cedeu o inversor de frequência, utilizado no ventilador.

II. INTRODUÇÃO

A partir das experiências adquiridas no intercâmbio realizado na Finlândia, pela Chamada CNPQ Professores para o Futuro II, foi possível ao coordenador do projeto entrar em contato com demandas metodológicas na área de educação, bastante diversas das quais usualmente aplicamos aqui no Brasil, e em especial, nos cursos técnicos e superiores na área de mecânica no IFSUL Câmpus Passo Fundo. Métodos de Aprendizagem Centrada no Aluno, tais quais Aprendizagem Baseada em Projeto (Project Based Learning) (Mills, 2002), e Aprendizagem Baseada em Problemas (Problem Based Learning) (Hendy, 2002), e por quê não citar atividades de "Learning by Doing" (Aprender fazendo), são o foco da maioria das atividades de ensino empregadas não só na Finlândia, mas em quase todos os países europeus (Lang, J.D Et alli, 1999; Koehn, 1999). Pesquisas do Instituto NTL, National Training Laboratories Institute (2014), corroboram com observações práticas no cotidiano do professor, a de que alunos aprendem muito mais executando tarefas práticas, de laboratório,

assistindo demonstrações, etc., se comparados à tradicional aula expositiva (*lecture class*). Ainda, segundo Mills (2003), a Aprendizagem Baseada em Projeto tende a se adaptar mais adequadamente às necessidades do ensino de engenharia, se comparada ao Método de Aprendizagem Baseada em Problemas. No primeiro caso, o aluno entra em contato com situações concretas no tocante à execução de projetos, os quais alavancam um grande aprendizado relativo a trabalhos em grupo, pensamento crítico, e trabalho colaborativo, habilidades estas que serão cruciais em sua vida profissional posterior. Baseado nisto, é imperativo que o ambiente escolar propicie ações e crie o espaço adequado para que estas atividades possam ser enquadradas no currículo do curso, de forma permanente, abandonando o caráter contingente que muitas vezes possui.

III. RESULTADOS OBTIDOS (PARCIAIS)

O grupo total de participantes e colaboradores foram divididos em três subgrupos, cada um responsável por uma parte do projeto. Um grupo se encarregou da entrada do túnel (Contrator), o segundo grupo ficou responsável pela caixa de visualização e exaustor. O terceiro grupo se encarregou dos sistemas de instrumentação para a visualização dos escoamentos, e instrumentação para medição das forças de arrasto e sustentação. Este último grupo também desenvolveu simulações a fim de serem validadas a partir das futuras medições realizadas.

I. Contrator

O contrator é um elemento presente num túnel de vento que tem por objetivo elevar a velocidade de escoamento para que ela chegue com máxima intensidade na área de visualização. Para que o escoamento chegue laminar na área de testes, existe uma geometria que melhor se adequa. Essa geometria é, de acordo com BELL, J. H (1988), descrita por uma função polinomial de quinto grau. Essa função, representada abaixo, garante um número de Reynolds baixo e que não ocorra a separação da camada limite.

$$f(x) = H_i - \frac{(H_i - H_e)}{L^3} \left(\frac{6x^5}{L^2} - \frac{15x^4}{L} + 10x^3 \right)$$

Para que os resultados obtidos por ela sejam satisfatórios a relação entre área de entrada e área de saída deve ser entre 6 e 10. Além disso, Alguns autores aconselham um ângulo α máximo de 60° para determinar o comprimento em função do ângulo (apud tcc). As alturas de entrada e de saída são, respectivamente, H_i e H_e e são medidas até o plano de simetria. Com a equação genérica apresentada acima, com uma relação entre áreas de 5,76 e com área de entrada de 250000 mm^2 chegou-se a equação que descreve a forma do contrator que será utilizado nesse projeto. A relação entre áreas ficou um pouco abaixo do ideal para respeitar as dimensões das chapas de aço disponíveis para a construção da peça. A figura abaixo representa a curva encontrada.

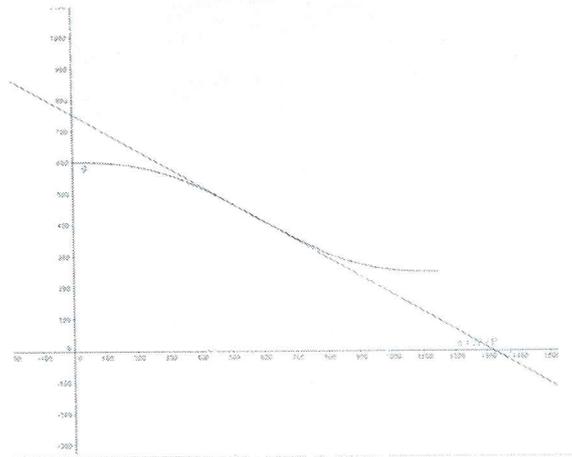


Figura 1 – Representação gráfica da função característica da geometria do contrator. Fonte: Dos autores
 Com o uso do *software* Solidworks foram modeladas as chapas para a construção do contrator e juntou-se elas dobradas para formar o conjunto final do contrator. Nas figuras abaixo pode-se visualizar a vista planificada e o contrator montado.

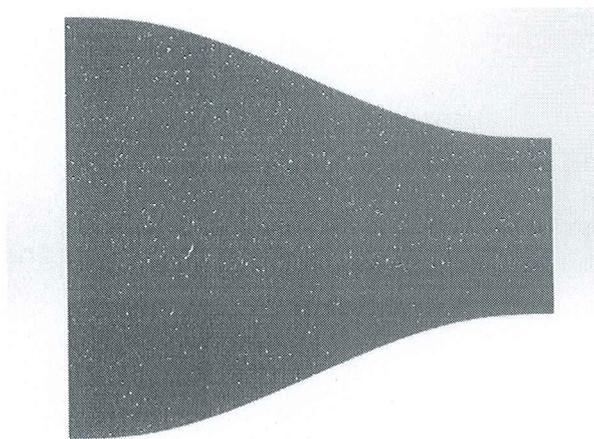


Figura 2 – Superfície planificada. Fonte: Dos autores

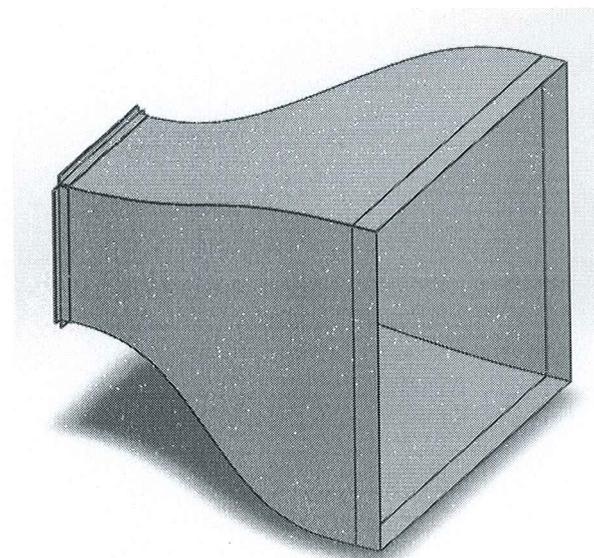


Figura 3 – Contrator. Fonte: Dos autores

II. Colmeia

Segundo Barlow *et al* apud Felipe Rodrigues Coutinho, a colmeia é destinada a tornar os filamentos de ar paralelos, ou seja, facilita para que o escoamento seja laminar. Os tipos de colmeia existentes são diversos, como, por exemplo, quadrada, hexagonal, circular, triangular, dentre outros. Para esse projeto a colmeia utilizada foi a de seção quadrada, devido a facilidade de encontrá-la no mercado, além de sua menor perda de carga em relação a maioria das demais geometrias. Também, o comprimento da colmeia deve estar entre 6 a 8 vezes o comprimento característico da célula.

Segundo Groff apud Felipe Rodrigues Coutinho, a parede da colmeia deve apresentar espessura de 0,5 a 2mm. Baseado nessas configurações, um material disponível no comércio é o policarbonato alveolar, o qual foi adquirido com algumas doações. As dimensões do material usado nesse projeto são de aproximadamente: 5mm para o lado da seção transversal da célula; 0,5mm para a parede da colmeia e 50mm de comprimento.

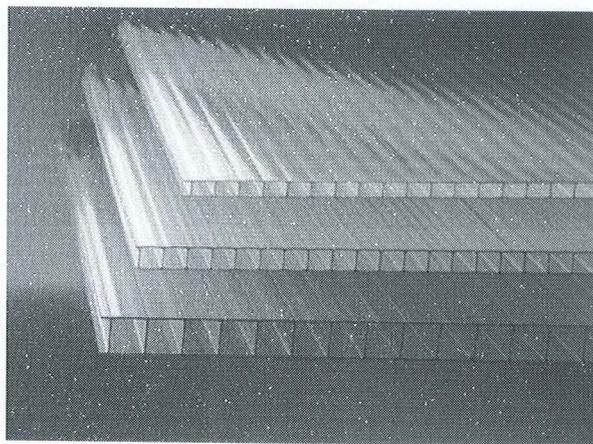


Figura 4 – Policarbonato alveolar utilizado como colmeia. Fonte: <http://www.engepoli.com>

III. Modelos

Foram desenvolvidos três modelos para visualização de escoamento, sendo eles: um modelo esférico, um modelo triangular e um modelo NACA. Esses modelos têm como finalidade a visualização do comportamento da linha de corrente oriunda do escoamento de ar no interior do túnel de vento, quando do encontro com o modelo. Esse contato gera atrito entre as camadas do fluido em deslocamento com a superfície do modelo, gerando assim perturbações nas linhas de corrente, que são visíveis devido à introdução de fumaça. Para a escolha do melhor dimensionamento dos modelos para o túnel desenvolvido, aplicamos a análise da simulação do escoamento através do software *SolidWorks Simulation*. Assim, obtivemos a dimensões mais adequadas para a visualização de escoamento tanto laminares quanto turbulentos. Os modelos desenvolvidos graficamente para o ensaio podem ser vistos na figura 5.

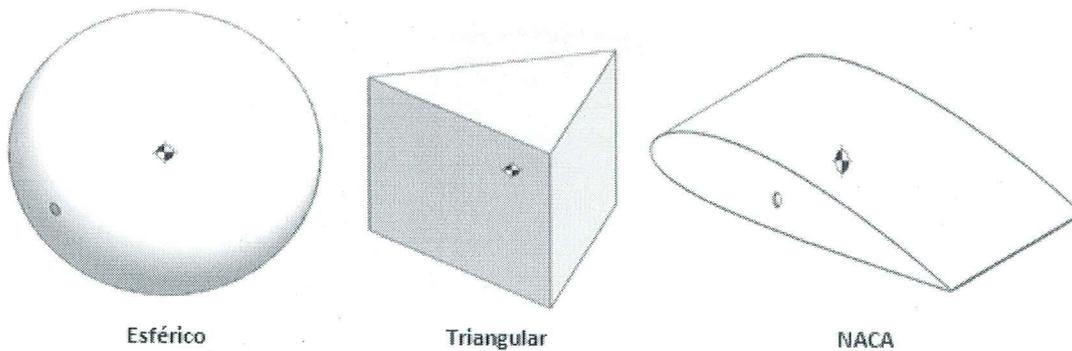


Figura 5 – Modelos desenvolvidos graficamente. Fonte: Dos autores.

O Modelo esférico foi ajustado para que, à velocidade plena do deslocamento de ar, o escoamento apresente um perfil laminar, como mostra a figura 6.

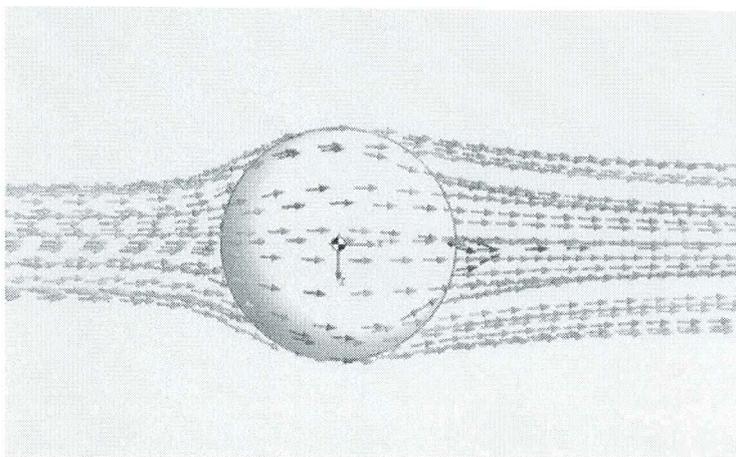


Figura 6 – Escoamento Laminar em torno do modelo esférico. Fonte: Dos autores.

O Modelo triangular foi dimensionado para que, à velocidade plena do deslocamento de ar, o escoamento apresente um perfil turbulento, como mostra a figura 7.

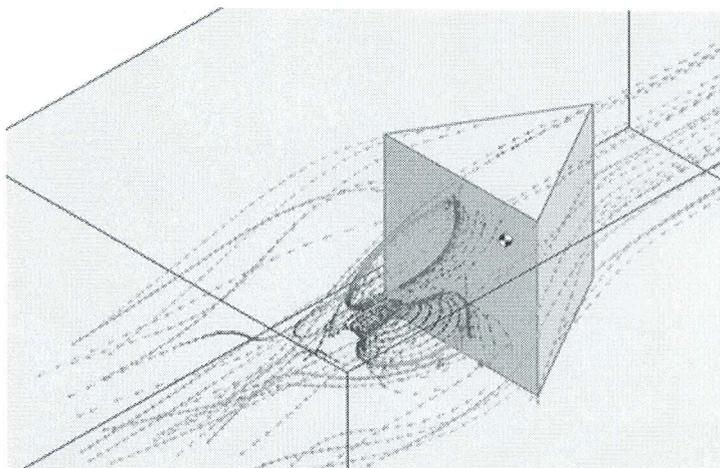


Figura 7 – Escoamento Turbulento em torno do modelo Triangular. Fonte: Dos autores.

Já para modelo NACA (perfil aerodinâmico), foram testados 5 tipos de perfis e, o que apresentou menor ângulo de estolagem (ângulo no qual o modelo perde sustentação) foi o modelo NACA 2412. A escolha em função do ângulo de estolagem se deu devido a facilidade de montagem de um ângulo pequeno (em torno de 15°) dentro da câmara de visualização do túnel. Tal escolha ainda contribuiu para a visualização do escoamento, que pôde ser tanto laminar (figura 6), quanto turbulento (figura 7).

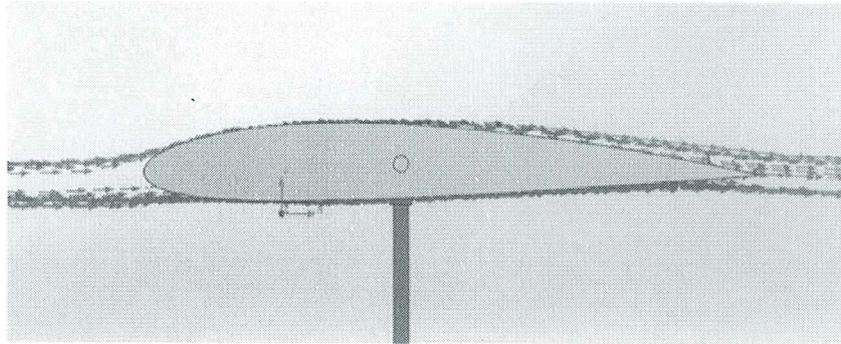


Figura 8 – Escoamento Laminar em torno do modelo NACA. Fonte: Dos autores.

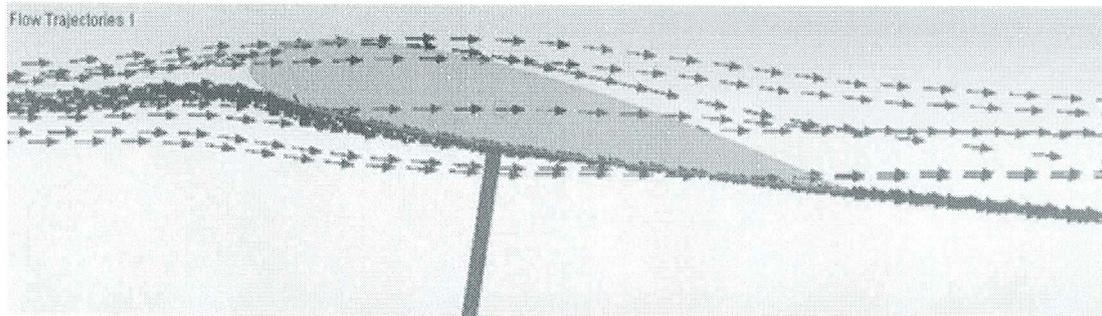


Figura 9 – Escoamento Turbulento em torno do modelo NACA. Fonte: Dos autores.

Para a fabricação dos perfis inicialmente pensou-se em modelos impressos em 3D, porém devido ao acabamento superficial de alta rugosidade produzido pela impressora do câmpus, optamos por usar os perfis em material polimérico, uma vez que a rugosidade da superfície é fator determinante para a visualização a olho nu do escoamento. Assim os perfis foram fabricados com a utilização de um centro de usinagem através de interface CAD/CAM. O exemplo do perfil NACA 2412 pode ser visto na figura 10.

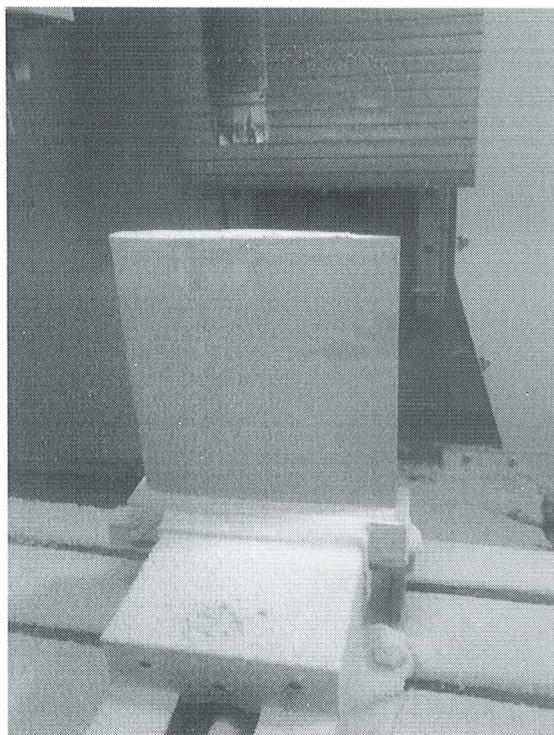


Figura 10 – Modelo NACA 2412 usinado. Fonte: Dos autores.

Prontos os perfis, resta apenas sua fixação dentro da câmara de visualização, que se deu mediante a adaptação do perfil junto a haste principal da balança aerodinâmica.

IV. Medição da força de arrasto e sustentação

Nos ensaios utilizando um túnel de vento além das informações coletadas a partir da injeção de fumaça, visualizando o comportamento das linhas de corrente que atuam sobre os corpos a serem ensaiados, outros dados importantes que podem ser obtidos são os de força de arrasto e força de sustentação, principalmente em ensaios de perfil do tipo naca, asa de avião.

A força de arrasto pode ser aferida para todos os tipos de objetos a serem ensaiados, pois essa força é a componente que age sobre o corpo que atua paralelamente na direção das linhas de corrente.

A força de sustentação, aerodinâmica, produzida pelo movimento de um perfil naca "asa" através do ar. A sustentação dá a um corpo, perfil naca, a capacidade de subir no ar e aí se manter durante o voo. Os aviões levantam voo e se mantêm no ar pelo perfil aerodinâmico de suas asas, onde devido a velocidade do ar que passa gera uma pressão maior na superfície inferior que na superfície superior. Junto com o perfil do modelo outro fator muito importante é o ângulo de ataque e de seus dispositivos de alta sustentação.

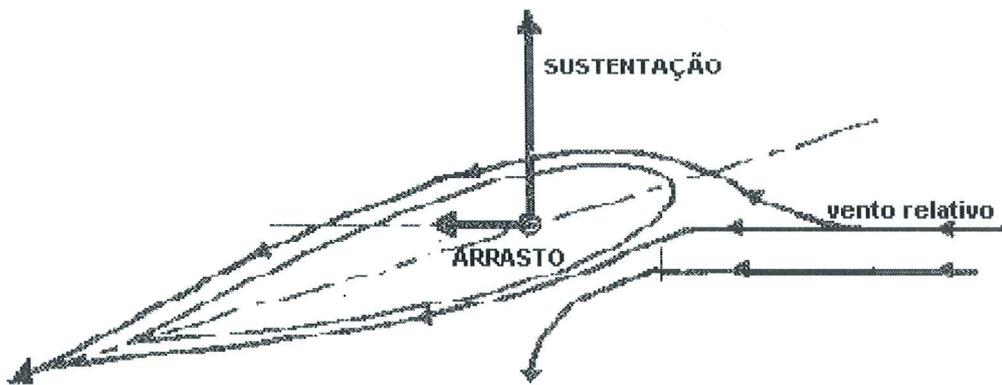


Figura 11: Ilustração das componentes das forças verticais e horizontais. Fonte: Dos autores.

Para obtenção dos dados de força de arrasto e sustentação foram instaladas balanças digitais, para obter as forças, sendo escolhidas tais balanças devido ao seu sistema simples e que pudesse oferecer boa resistência mecânica, durabilidade, leitura fácil e direta, de fácil manuseio, com baixo custo.

O funcionamento da balança pode ser facilmente entendido com os valores obtidos através da leitura direta. As balanças são fixadas através de um sistema de hastes com ligações móveis entre si e fixas no suporte da mesa, as balanças são fixadas na mesa e no conjunto de barras.

Com a estrutura das hastes e balanças montadas é fixado o perfil na haste que faz ligação, do túnel de vento com o sistema de medição, após a fixação é zerado o sistema (tara), com auxílio de contrapesos. Após é acionado o motor, gerando a sucção. Com o motor ligado a força do vento é aplicada sobre perfil em análise e sendo detectadas as força de arrasto e sustentação em suas balanças respectivamente devido ao deslocamento das hastes.

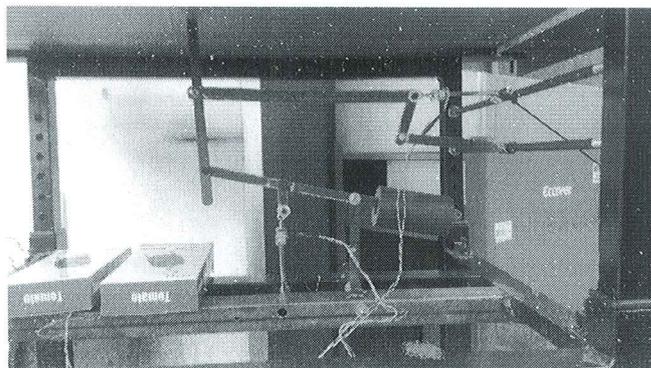


Figura 12: Balança Aerodinâmica. Fonte: Dos autores.

A balança aerodinâmica foi projetada para o experimento do túnel de vento, na Oficina de Mecânica do IFSUL Passo fundo.

V. Produção e injeção de fumaça

A visualização de escoamentos sobre perfis aerodinâmicos é de grande importância para a aferição de software, para o entendimento de como os perfis se comportam e para obter a características das linhas de fluxos geradas pelos perfis ensaiados.

Para a geração de fumaça foi utilizado uma máquina de fumaça que vaporiza um líquido (glicerina) e posteriormente é expelida por um compressor para fora, esta mesma é bastante utilizada em festas e boates.

Primeiramente tivemos a idéia de instalar a máquina diretamente no túnel de vento acoplando varias mangueiras de pequeno diâmetro na saída da máquina e essas distribuídas dentro do túnel para gerar linhas de fumaça para o auxilio da visualização, mas apareceu um problema que a fumaça condensava nas mangueiras instaladas, saindo pouca fumaça e ainda gerando um condensado que não era previsto para o projeto.

Depois de vários testes chegamos a conclusão de que a fumaça tinha que ser resfriada na saída da máquina para não condensar. Portanto tivemos que adaptar uma espécie de "reservatório" para a fumaça, e obtivemos sucesso, pois conseguimos estocar maior volume de fumaça e liberá-la de forma mais uniforme, já que a máquina solta a fumaça em pulsos, e também após alguns segundos ela interrompe o fluxo para poder aquecer novamente e estar pronta para novo uso.

O reservatório foi feito de forma simples, com uma garrafa pet de 10 litros, com o reservatório também conseguimos fazer com que esse tempo de aquecimento não atrapalhasse nosso projeto, tendo em vista que teríamos ter que esperar a máquina aquecer toda vez que fosse utilizá-la na visualização do escoamento. Ainda teve outro problema, pois a fumaça armazenada tinha que sair com determinada vazão para a visualização e por ser de alta densidade não saía do reservatório, portanto tivemos também que adaptar um cooler de computador, funcionando como exaustor, para poder expelir a fumaça de dentro do reservatório.

Para guiar a fumaça e não deixar ela se dissipar no ambiente, após o cooler foi colocado uma garrafa pet de 2 litros com o fundo cortado para que a fumaça saísse somente pela parte do "bico" da garrafa.

Na figura a seguir pode-se ver como funcionou a parte de reservatório e também como a fumaça saiu bem concentrada e de forma uniforme. Para evitar vazamentos, o cooler e a garrafa pet de 2 litros foram colados no reservatório com cola de silicone. O cooler é de 12 V, portanto foi colocado um transformador para que pudesse ser ligado, e para o acionamento foi colocado uma chave de liga/desliga no circuito.

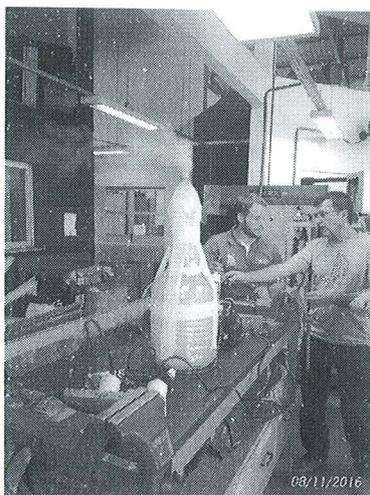


Figura 13 – Reservatório de fumaça. Fonte: Dos autores.

Portanto para o funcionamento, primeiramente liga-se a máquina de fumaça e espera ela aquecer, após isso é enchido o reservatório com dois ciclos da máquina de fumaça, só após isso é ligado o cooler que retira a fumaça do reservatório e manda para a tubulação que irá fazer as linhas de corrente.

VI. Caixa de Visualização.

A caixa de visualização é a elemento central do túnel de vento, é nela onde os experimentos são visualizados em relação aos escoamentos e demais fenômenos que ocorrem. As dimensões foram definidas pensando no espaço necessário para pequenos e médios modelos, e também proporcionar uma boa visualização dos fenômenos ocorridos. É fundamental que esta estrutura não apresenta desníveis, saliências ou mesmo má vedação. Estas falhas de projeto poderiam resultar em vórtices e não linearidade do escoamento, o que resultaria em erros de medição.

Para construção da caixa de visualização, primeiramente foi feito uma pesquisa sobre modelos já existentes e também uma pesquisa de materiais disponíveis no campus. O modelo mais adequado a construção foi com a utilização de cantoneiras de aço, assim, uma boa resistência poderia ser obtida com uma construção simplificada e eficaz.

Em primeiro momento a modelagem foi realizada em software, a fim de determinar as dimensões, peso, locais de furação e conexões e obter um modelo aproximado do real.

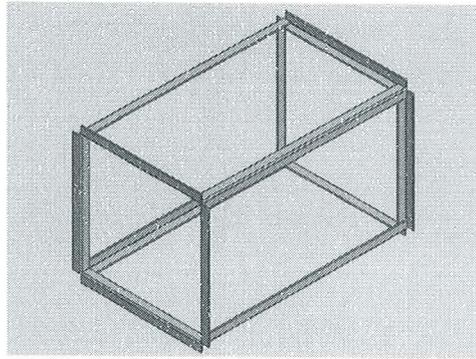


Figura 14: Caixa de visualização.

A oficina disponível no campus permitiu aos alunos aplicar o processo de fabricação pré definido com a modelagem.

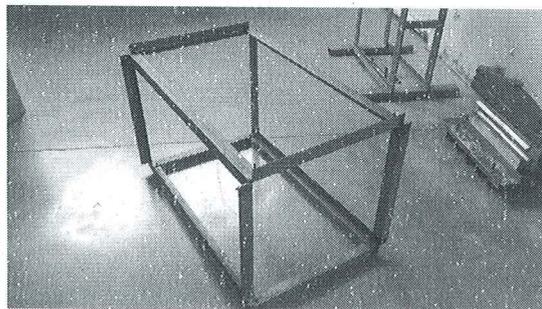


Figura 15: Montagem da estrutura parcial.

A estrutura foi finalizada por meio de ligações soldadas e posteriormente lixada e pintada. Por fim, será realizada a colocação dos vidros nas laterais para permitir a visualização. Na parte inferior será posicionada uma chapa metálica com um rasgo para permitir a inserção da haste de sustentação, acoplada a célula de carga que faz a medição da força de arrasto.

A montagem do conjunto foi realizada sem mais problemas. A etapa atual é de construção dos cavaletes definitivos e posicionamento do ventilador.

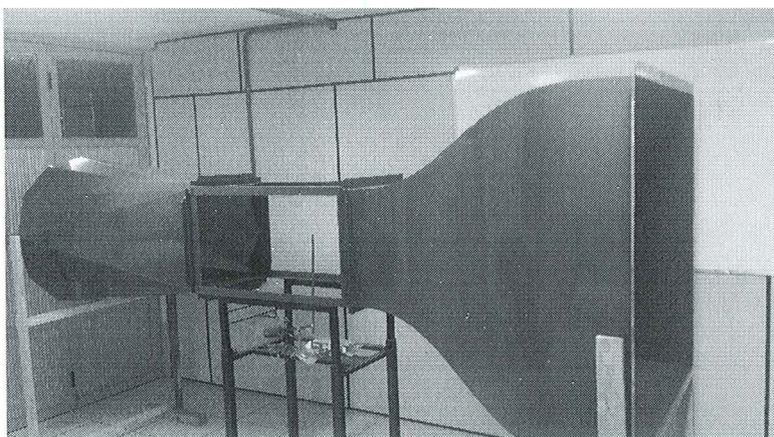


Figura 16: Montagem parcial do túnel de vento.

A instalação dos vidros no visualizador, bem como a montagem da colmeia e o ventilador propriamente dito ainda são tarefas a cumprir, as quais estima-se que estarão prontas até dezembro de 2017.

IV. FORMAS DE DISSEMINAÇÃO DOS RESULTADOS

O projeto preliminar foi apresentado pelos alunos envolvidos na Semana Acadêmica do câmpus, no final de 2016.

Após o término do mesmo, se estuda escrever um artigo sobre a atividade. Além disso, será aberto um blog com todas as informações do projeto para que outros alunos possam se basear para a construção de novos túneis junto aos cursos de engenharia que envolvam estudos na área. Abrir o projeto para a comunidade acadêmica.

V. CRONOGRAMA FINAL DE EXECUÇÃO

Atividades	Ago/ 16	Set/1 6	Out/ 16	Nov/ 16	Dez/ 16	Jan/ 17	Fev/ 17	Mar/ 17	Abr/ 17	Mai/1 7	Jun/1 7	Ago/1 7
1	x	x	x	x	x							
2		x	x	x	x							
4			x	x	x	x						
5					x	x	x	x	x			
6										x	x	x

Descrição das atividades:

Atividade 1: Seleção dos subgrupos; Levantamento de dados; Brainstorm.

Atividade 2: Projeto: Seleção de Materiais; Desenhos em cada subgrupo

Atividade 3: Projeto: Acoplamento dos desenhos/ Arranjos para a execução.

Atividade 4: Fechamento do Relatório Técnico; Apresentação na Semana Acadêmica.

Atividade 5: Execução do Projeto.

Atividade 6: Finalização/ montagem do Túnel;

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELL, J. H; MEHTA, R. D. **Contraction Design for Small Low-Speed Wind Tunnels**. Stanford: 1988. Disponível em: < <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19880012661.pdf>> Acesso em: 10 de agosto de 2016.

Hendy, P.L.; Hadgraft, R.G. Evaluating problem-based learning in Civil Engineering. In 13th Annual Conference of the Australasian Association for Engineering Education, 30 Sept – 2 Oct, 2002, Canberra, Australia. Pp 133-138, 2002.

Koehn, E. ABET program criteria for educating engineering students. International Conference on Engineering Education, ECEE'99, Paper 413, 1999.

Lang, J.D. et al. Industry expectations of new engineers: A survey to assist curriculum designers. Journal of Engineering Education, 88, 1, 43-41, 1999.

Mills, J. E. A case study of project-based learning in structural engineering, In 2002 American Society for Engineering Education (ASEE) Annual Conference, June 16-19, Montreal, Canada, 2002. 10

Mills, J. E.; Treagust, D. F. Engineering Education – Is Problem-Based or Project-Based Learning the Answer? Australian Journal of Engineering Education (AAEE) 2003.

Vincensi, A. **Dimensionamento de um túnel de vento subsônico**. Unijuí: 2014. Disponível em: < <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/2287>> Acesso em: 8 de agosto de 2016.

ANEXOS (Listar os anexos)

1 -

2 -

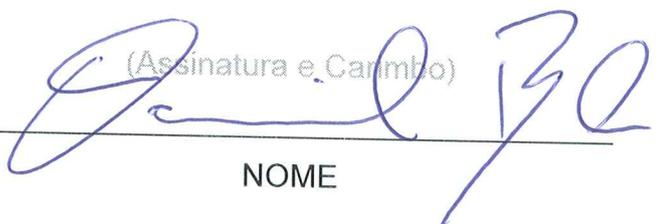
3 -

4 -

COORDENADOR DO PROJETO

DATA: 16 / 08 / 17

(Assinatura e Carimbo)



NOME

PARECERES DO CAMPUS

PARECER COLEGIADO/COORDENAÇÃO/ÁREA

aprovado () reprovado

Parecer:

Em reunião: 23/08/2017

(Assinatura e Carimbo)

Coordenação

PARECER DIREÇÃO/DEPARTAMENTO DE ENSINO

aprovado () reprovado

Parecer:

Favorável

Em reunião: 23/08/17

(Assinatura e Carimbo)


Dra. Maria Carolina Fortes
Direção/Departamento de Ensino Chefe do Dep. de Ensino, Pesquisa e Extensão
IFSul - Campus Passo Fundo

PARECER DIREÇÃO/DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO E PLANEJAMENTO (quando necessário)

() aprovado () reprovado

Parecer:

Em reunião: / /

(Assinatura e Carimbo)

Direção/Departamento de Administração e Planejamento

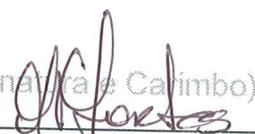
PARECER DIREÇÃO-GERAL DO CAMPUS

aprovado () reprovado

Parecer:

Em reunião: 23/08/17

(Assinatura e Carimbo)


Diretor-geral

P)

Dr. Alexandre Pitol Boeira
Diretor Geral do Campus Passo Fundo
do Instituto Federal Sul-Rio-Grandense

Dra. Maria Carolina Fortes
Chefe do Dep. de Ensino, Pesquisa e Extensão
IFSul - Campus Passo Fundo

PARECER DA PRÓ-REITORIA DE ENSINO

aprovado () reprovado
Parecer:

Em reunião: 05/09/17

(Assinatura e Carimbo)



Pró-reitor de Ensino

no exercício da Pró-Reitoria