

Estudo experimental e numérico dos coeficientes aerodinâmicos em modelo de míssil de superfície

Bolsista: Alexandre de Melo Andrade

Orientador: Marcos da Silva e Souza

Período: Agosto de 2019 a Julho 2020

Objetivos

- Ensaiar um modelo padrão de míssil de superfície no túnel de vento TA-2 do IAE.
- Determinar os coeficientes aerodinâmicos para as configurações de interesse.
- Realizar a análise dos dados experimentais e compará-los a ensaios numéricos.

Introdução

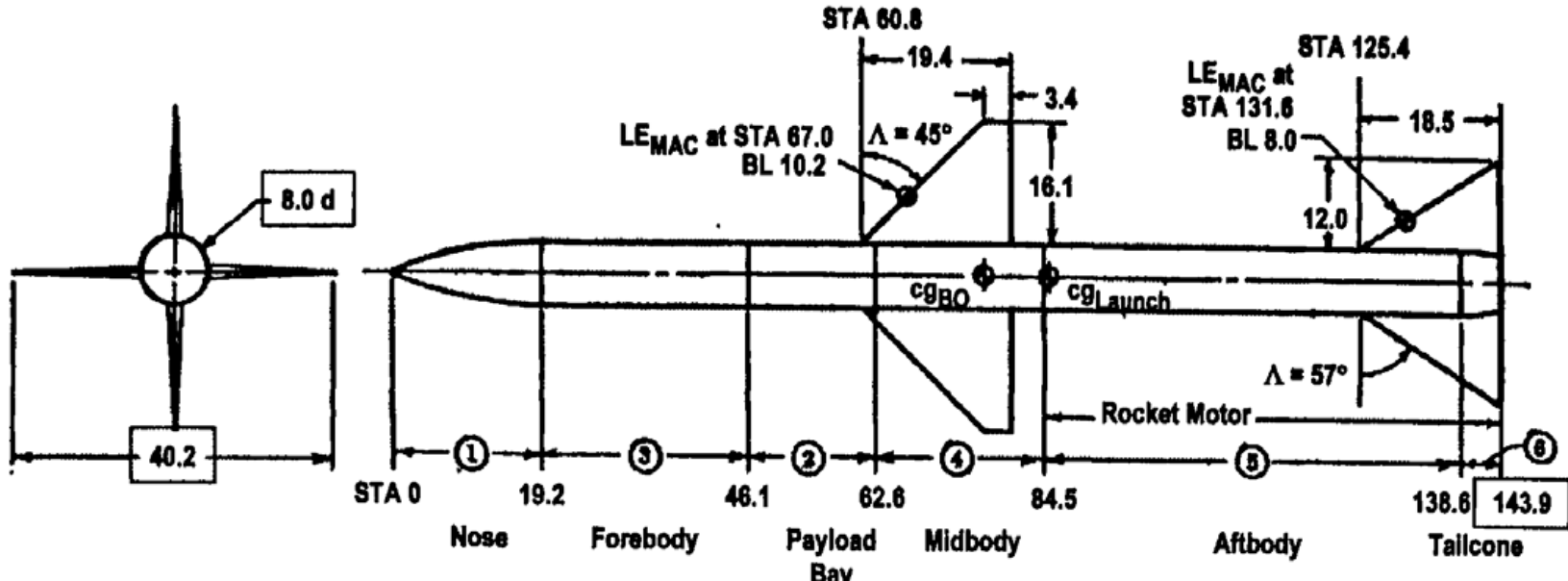
- O projeto de um míssil requer o conhecimento minucioso de suas características aerodinâmicas. A realização de um conjunto de medições em laboratório especializado, dotado de túnel de vento, sensores e instrumentos adequados é imprescindível.
- No Brasil diversos mísseis desenvolvidos por empresas nacionais realizam os ensaios em laboratórios no exterior ou utilizando programas computacionais (CFD).
- A comprovação da competência de realização de ensaios por parte de um órgão de pesquisa e desenvolvimento nacional trará benefícios como a redução de custos e preservação do sigilo de dados de desempenho de projetos de armaento.

Materiais e Métodos

- A fabricação do modelo foi dividida em etapas e realizada conjuntamente com a empresa Advanced Composite Solutions (ACS).
 - Desenvolvimento de engenharia;
 - Fabricação de molde;
 - Fabricação de peças em material compost (carbono);
 - Usinagem de peças metálicas (empenas);
 - Montagem final;
 - Instalação no túnel de vento;

Materiais e Métodos

- Dimensões do modelo de míssil ar-ar [in]

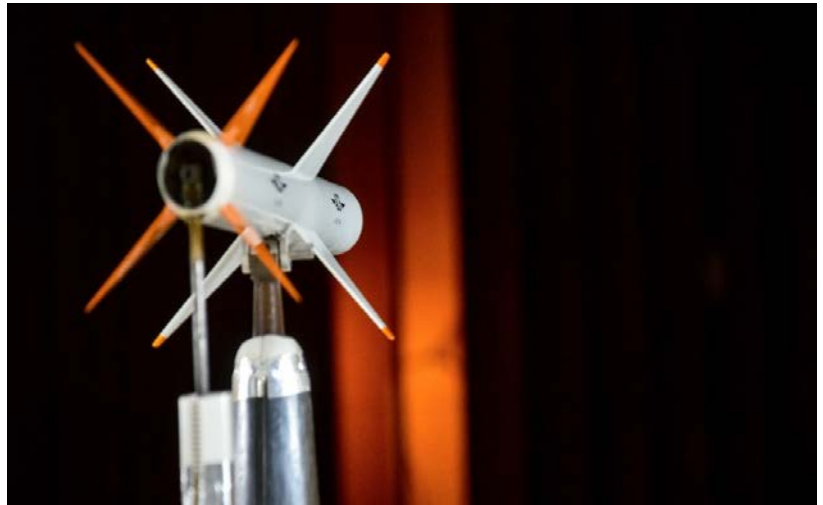


Modelo padrão de míssil de superfície encontrado na literatura.

Materiais e Métodos

- Velocidade de 110[m/s]; Mach = 0,32; Re = 6.000.000; Arfagem e Guinada de -4° a $+15^\circ$.
- Calibração da balança e das células de carga.
- Obtenção dos coeficientes aerodinâmicos para algumas configurações do modelo variando o ângulo de incidência do escoamento na faixa esperada de operação.

Modelo instalado na seção de teste do TA-2



Materiais e Métodos

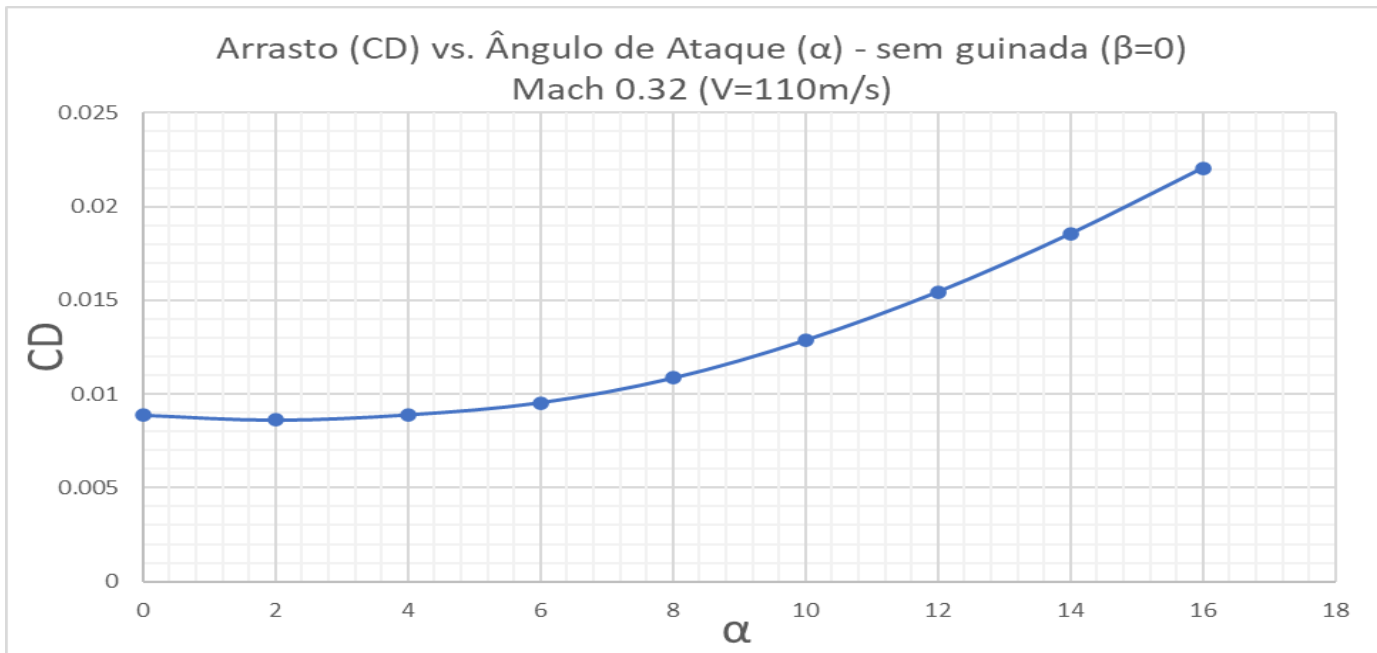
- Baseando-se na teoria linear dos corpos esbeltos as seguintes equações são utilizadas para os cálculos dos coeficientes aerodinâmicos
- Coeficiente de sustentação, arrasto e momento do corpo, sendo a área de referência e corda de 1 [m²] e 1 [m]

$$C_L = \frac{L}{q_\infty S_b} \quad C_D = \frac{D}{q_\infty S} \quad C_M = \frac{M}{q_\infty S_b l_b}$$

- Coeficiente de sustentação, arrasto e momento da empena

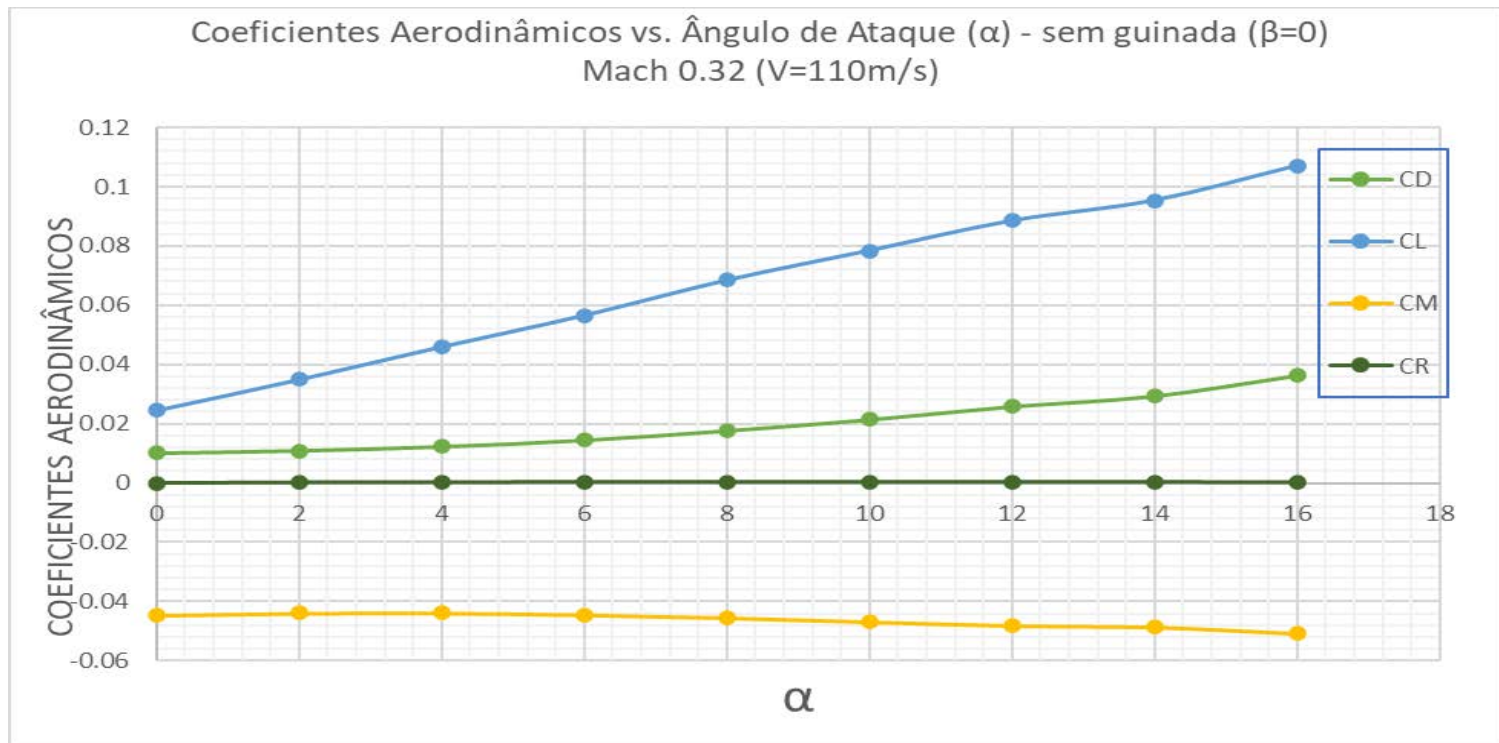
$$C_L = \frac{L}{q_\infty S_{planform}} \quad C_D = \frac{D}{q_\infty S} \quad C_M = \frac{M}{q_\infty S_{planform} c_r}$$

Resultados



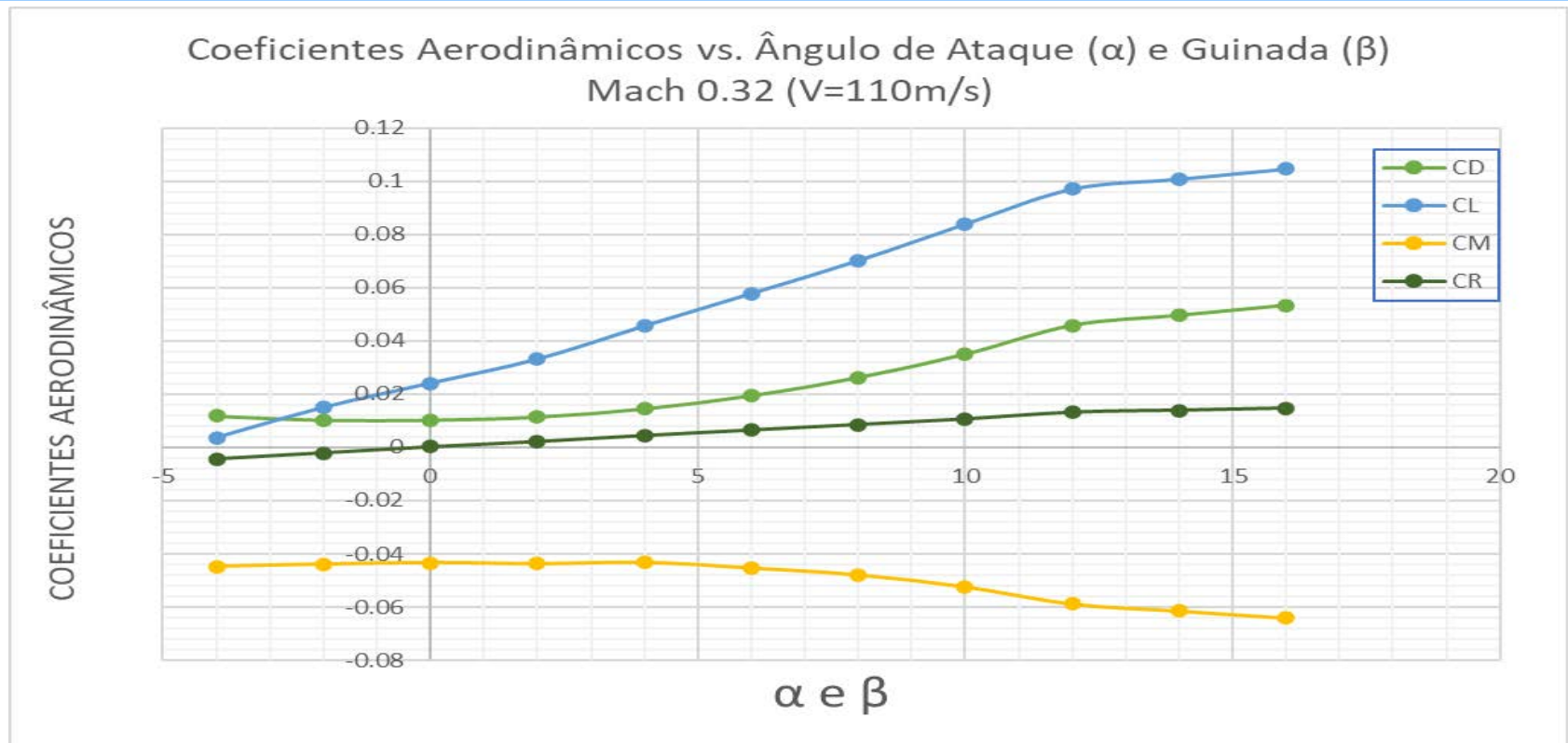
- Curva característica típica do coeficiente de arrasto para míssil com empenas e sem ângulo de guinada.
- Arrasto do mastro, arrasto do modelo, arrasto de interferência.
- Modelo 2 mastros versus modelo tipo Sting.

Resultados



- Rolamento nulo.
- Estabilidade com aumento da sustentação (Centro de pressão a montante do centro de gravidade).
- Momento de arfagem negativo.

Resultados



Variação das derivadas das curvas a partir de 12 graus.

Dificuldades em simular numericamente pontos de separação nas asas dianteiras.

Conclusões

- Os coeficientes aerodinâmicos obtidos apresentam valores coerentes com a dinâmica esperada do escoamento.
- A análise inicial da interferência do mastro pôde ser estudada.
- Os resultados são de extrema importância para validação e comparação de resultados numéricos em próximas etapas.
- Etapa bastante importante na capacitação de ensaios de mísseis pelo IAE foi concluída.

Prêmios e Publicações

- Os resultados foram submetidos para o congresso 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering e aguarda aprovação

Agradecimentos

- MSc. Marcos da Silva e Souza, orientador e responsável pelo setor do TA-2 na ACE-L, IAE
- Prof. Dra. Maria Luísa Colluci da Costa Reis, professora e Chefe da ACE-L, IAE

Determinação experimental das características aerodinâmicas do modelo M5/ONERA/IAE em regime incompressível

Bolsista: Ana Paula Francischinelli

Orientador: Cayo Prado Fernandes Francisco

Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivos

- Determinar características aerodinâmicas do modelo aeronáutico padrão M5/ONERA/IAE experimentalmente;
- Estabelecer aliança entre simulação computacional e ensaios em túnel de vento;
 - Ensaio do M5 no TA-2 com medição de força de sustentação;
 - Ensaio de visualização direta do M5 no TA-2;
 - Simulações computacionais do M5.

Introdução

- O modelo aeronáutico padrão M5/ONERA/IAE encontra-se atualmente na ALA - Divisão de Aerodinâmica do IAE – Instituto de Aeronáutica e Espaço disponível para campanhas de ensaio de um programa interlaboratorial entre Brasil e França;
- Uma forma eficaz de se descrever as características aerodinâmicas de uma aeronave é a plotagem da denominada curva de sustentação ou $CL \times \alpha$, onde CL =coeficiente de sustentação e α =ângulo de ataque;
 - Tal análise pode ser enriquecida com ensaio de visualização direta dos padrões de escoamento que transmitem informações sobre o movimento do ar na superfície.

Materiais e Métodos

- Ensaio do modelo M5/ONERA/IAE no TA-2 com medição de força de sustentação
 - Atitude do modelo: Ângulo de ataque = -3° a 16° e Ângulo de guinada = 0°
 - Caso 1:** Mach de 0,16 e número de Reynolds da ordem de $0,9 \times 10^6$;
 - Caso 2:** Mach de 0,28 e número de Reynolds da ordem de $1,6 \times 10^6$.
- Ensaio de visualização direta do modelo M5/ONERA/IAE no TA-2
 - Tinta misturada com óleo a base de cera, aplicada sobre a asa em regiões específicas.
 - Caso 1:** Mach de 0,28 e número de Reynolds da ordem de $1,6 \times 10^6$ (Ângulo de ataque = 0° e 8° ; Ângulo de guinada = 0°);
 - Caso 2:** Mach de 0,16 e número de Reynolds da ordem de $0,9 \times 10^6$ (Ângulo de ataque = 0° e 4° ; Ângulo de guinada = 0°).

Materiais e Métodos

- Análises numéricas do modelo M5/ONERA/IAE no CFD++
 - Atitude do modelo: Ângulo de ataque = 0° a 16° e Ângulo de guinada = 0°
Caso 1: Mach de 0,16 e número de Reynolds da ordem de $0,9 \times 10^6$;
Caso 2: Mach de 0,28 e número de Reynolds da ordem de $1,6 \times 10^6$.
- Análise numérica do modelo M5/ONERA/IAE no XFOIL
 - Atitude do aerofólio: Ângulo de ataque = 0° a 20° e Ângulo de guinada = 0° ;
 - Mach de 0,16 e número de Reynolds da ordem de $0,9 \times 10^6$;
 - Dados utilizados para embasar o ensaio de visualização direta (caso 2).

Resultados

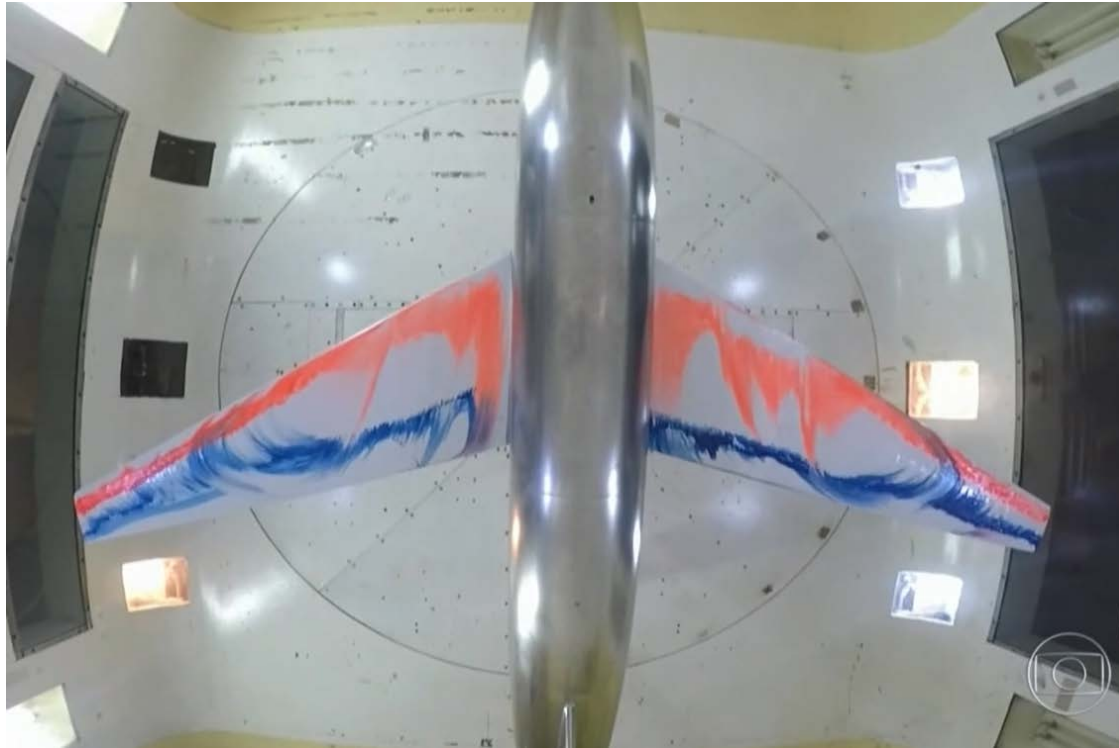


Figura 1 - Visualização de fluxo com óleo do modelo padrão M5/ONERA/IAE no TA-2 com $\alpha=8^\circ$. Fonte: <https://globoplay.globo.com/v/7627502/>.

Resultados

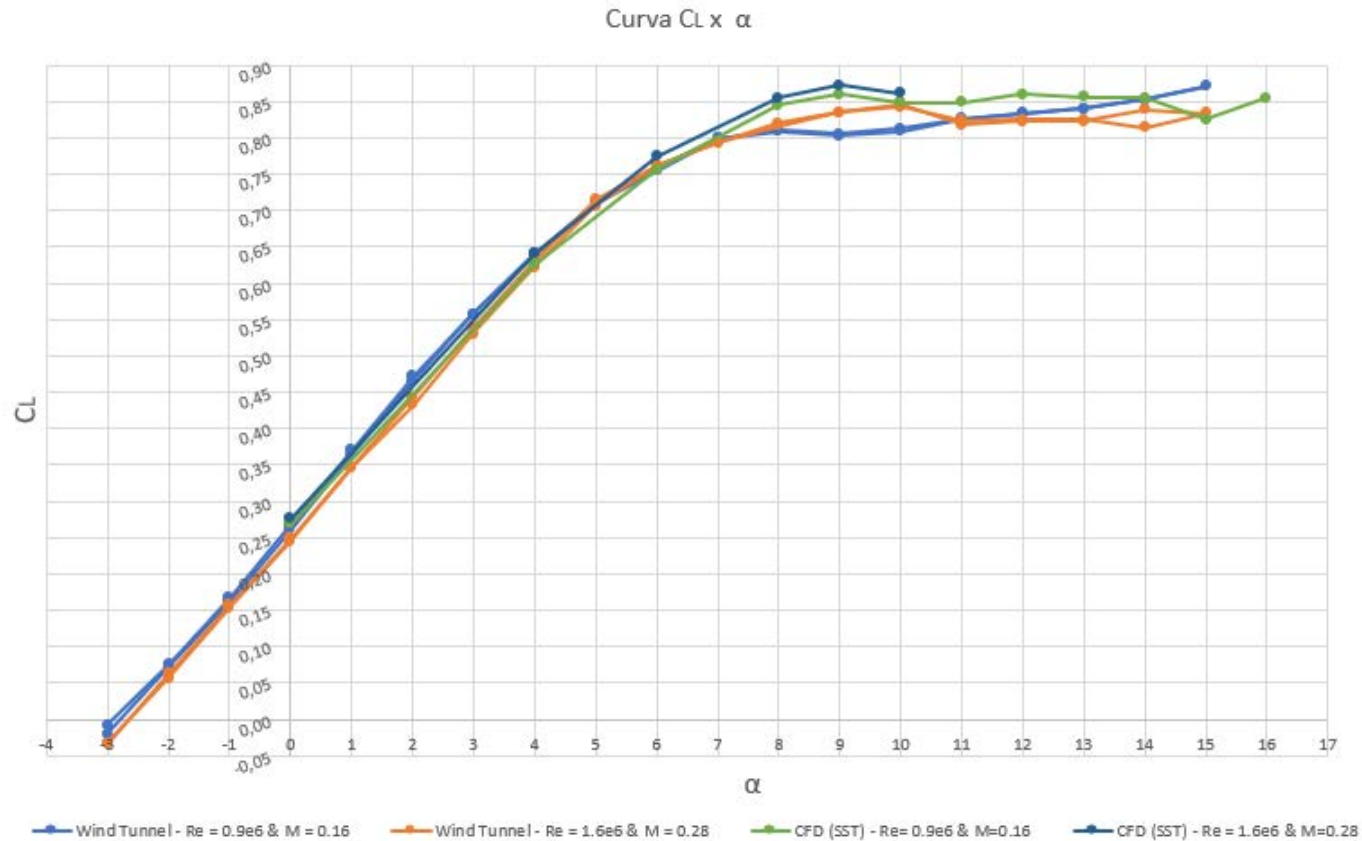


Figura 2 – Curvas C_L x α para ensaios do modelo M5/ONERA/IAE no TA-2 e simulação computacional para $Re=0,9 \times 10^6$ e $Re=1,6 \times 10^6$.

Resultados



Figura 3 - Visualização de fluxo com óleo do modelo padrão M5/ONERA/IAE no TA-2 com $\alpha=4^\circ$. Detalhamento dos efeitos da bolha de separação laminar.

Resultados

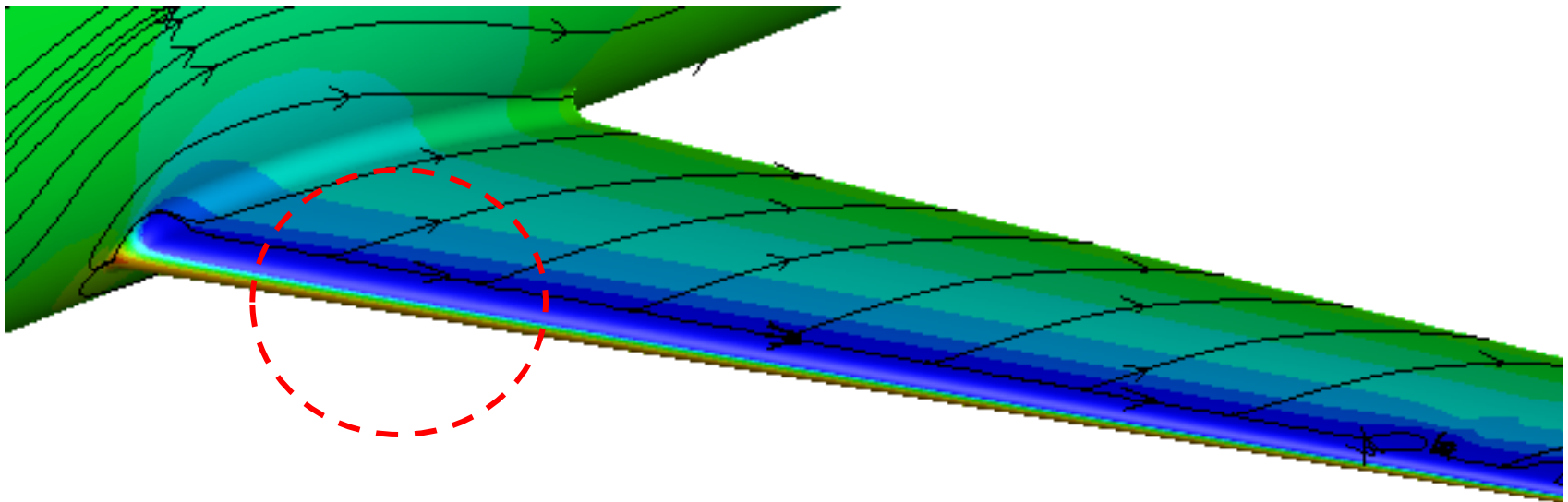


Figura 4 - Topologia do escoamento no M5 para Mach=0,16 e $\alpha=4^\circ$. Detalhamento da camada limite laminar.
FONTE: TECPLOT 360

Conclusões

- Os resultados evidenciam a susceptibilidade da aerodinâmica do modelo em baixo número de Reynolds, em regime subsônico;
- O comportamento qualitativo dos coeficientes de sustentação e as características da topologia do escoamento obtidos numericamente e experimentalmente são compatíveis;
- Por meio dos ensaios de visualização é possível estabelecer que o uso da tinta a óleo pode revelar de maneira satisfatória as regiões de recirculações e seus efeitos. As ondulações observadas na tinta, em um dos ensaios de visualização, conferem aos efeitos da bolha de separação;
- A observação da propagação do estol é outra característica aerodinâmica importante, pois determina a localização das superfícies de controle e outros dispositivos.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Cayo Prado Fernandes Francisco por guiar todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço todos os pesquisadores do Instituto, em especial Ricardo Galdino da Silva por não medir esforços para ajudar.

Agradeço toda equipe técnica do Túnel de vento por tornar possível todos os ensaios realizados.

Determinação dos Coeficiente Arrasto Decorrente do Escoamento sob um Corpo Rombudo Via CFD

Bolsista: Caio Manograsso Piotto

Orientador: Ricardo Galdino da Silva

Período: 07/2019 até 07/2020

Objetivos

- Determinar o arrasto gerado pelo escoamento em torno de um corpo rombudo (corpo de Ahmed) via CFD. Sendo que o arrasto está diretamente relacionado com as estruturas vorticais (topologia do escoamento) presentes no escoamento.

Introdução

- O escoamento ao redor de corpos rombudos, que são corpos onde o escoamento é dominado por grandes regiões de escoamento separado, apresenta desafios devido a grande complexidade do escoamento.
- O corpo de Ahmed é de extrema importância para a indústria automobilística, pois serve de padrão de calibração de túneis de vento e de modelo (*benchmark*) para validação de modelos de turbulência utilizados em CFD.
- O corpo de Ahmed, que possui grande quantidade de referências na literatura.

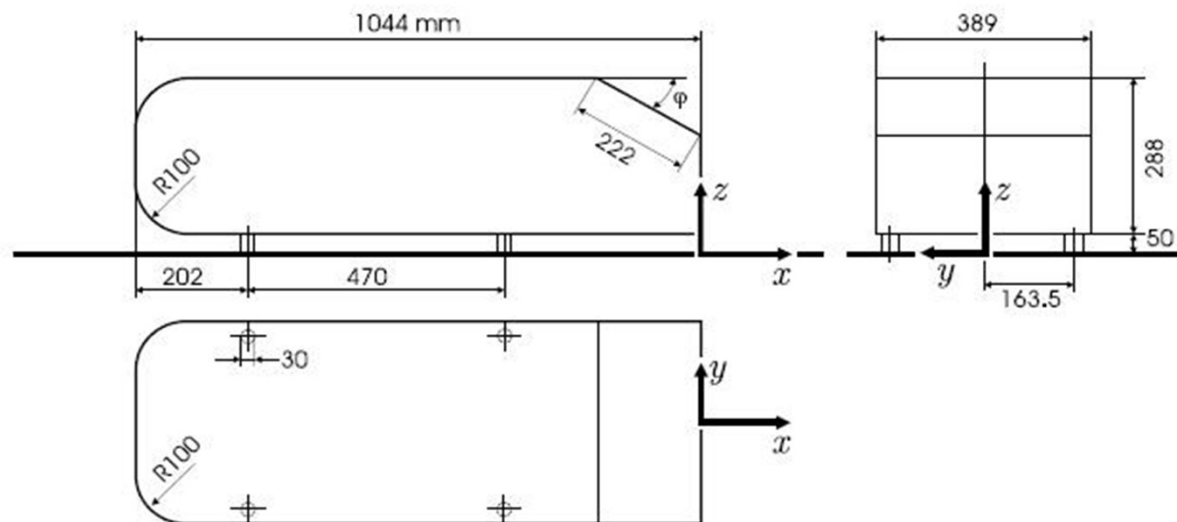
- O conhecimento detalhado das características do escoamento ao redor de veículos de superfície é considerado primordial para um projeto adequado.
- Resultados de simulações numéricas são de grande importância.



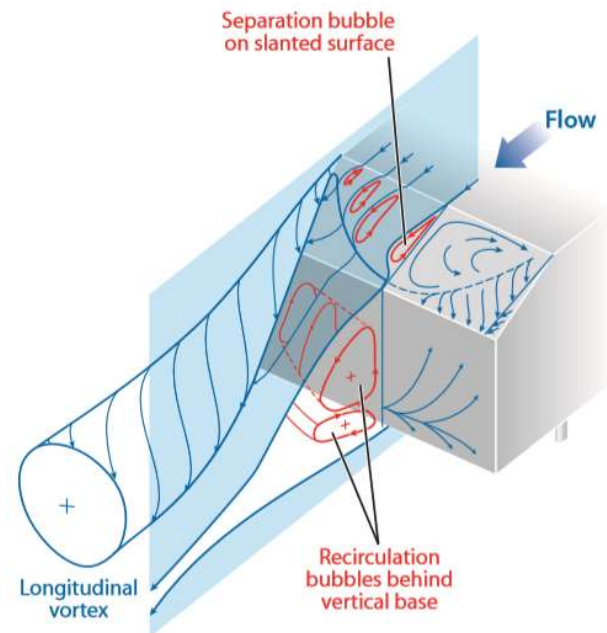
-
- Devido aos altos custos e tempo das técnicas experimentais, a tendência das diversas indústrias é investir massivamente em soluções computacionais, o que possibilita testar inúmeras configurações em curto intervalo de tempo e com um baixo custo financeiro. Sendo assim, a parte experimental passa ser utilizada na decisão final de um projeto e/ou testes de condições do escoamento onde a validade do métodos computacionais é questionável.

Materiais e Métodos

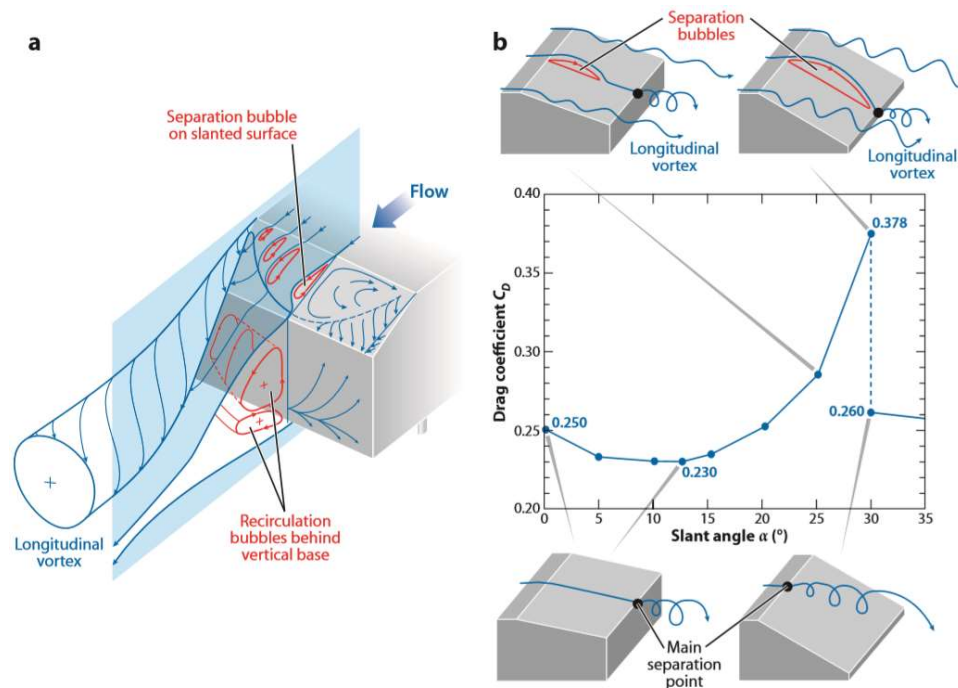
- Uma geometria automobilística simplificada foi proposta por Ahmed et al. (1984). Essa geometria é chamada Corpo de Ahmed, foi projetado para apresentar a maioria das estruturas vorticais presentes no escoamento ao redor de um veículo automotivo real.



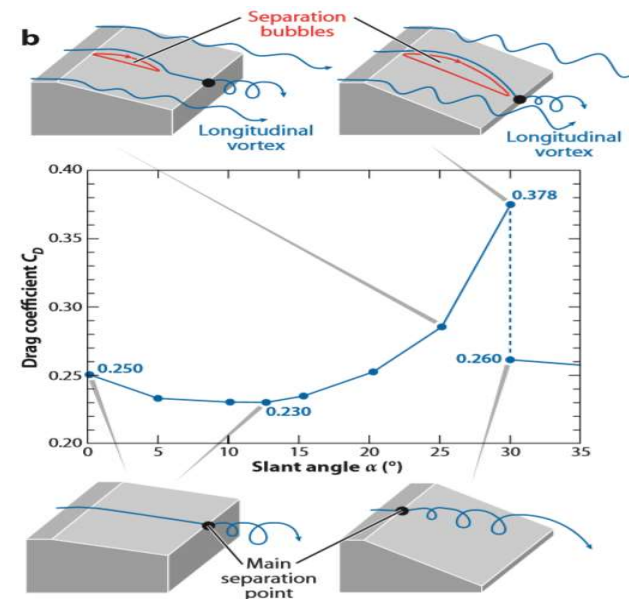
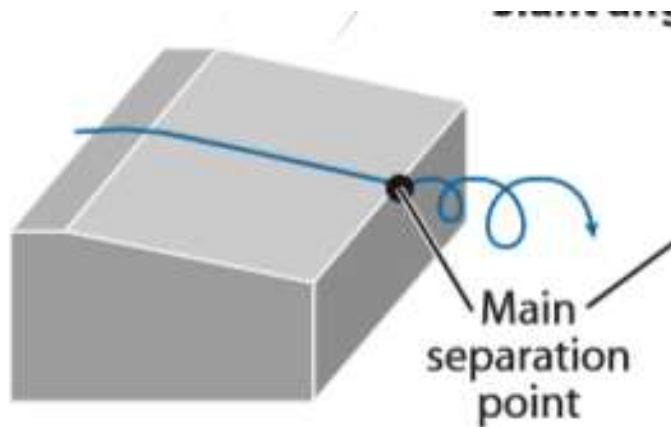
- Analisaram o efeito do ângulo de inclinação traseiro (ϕ) no coeficiente de arrasto, explorando as estruturas de fluxo na parte traseira do modelo.
- De acordo com Ahmed et al. (1984) e Choe et al. (2014), as estruturas do escoamento na parte traseira do modelo consistem basicamente de uma bolha de separação na superfície inclinada, um par de vórtice longitudinal contrarrotativo gerado nas bordas laterais da superfície inclinada e bolhas de recirculação atrás do modelo.



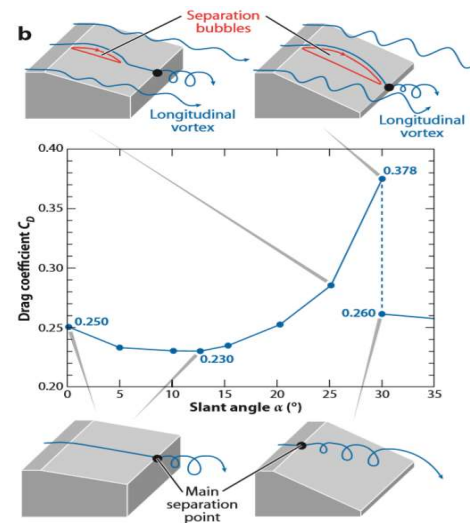
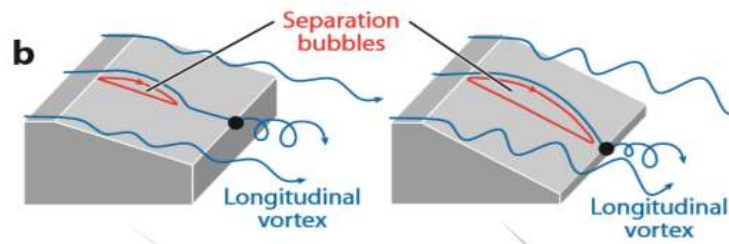
- A formação e a intensidade dessas estruturas no escoamento, que são responsáveis pela variação do arrasto, são diretamente relacionadas ao ângulo de inclinação (ϕ) da superfície traseira do Corpo de Ahmed.



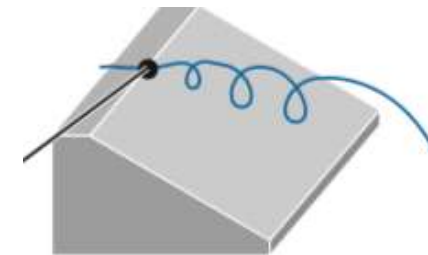
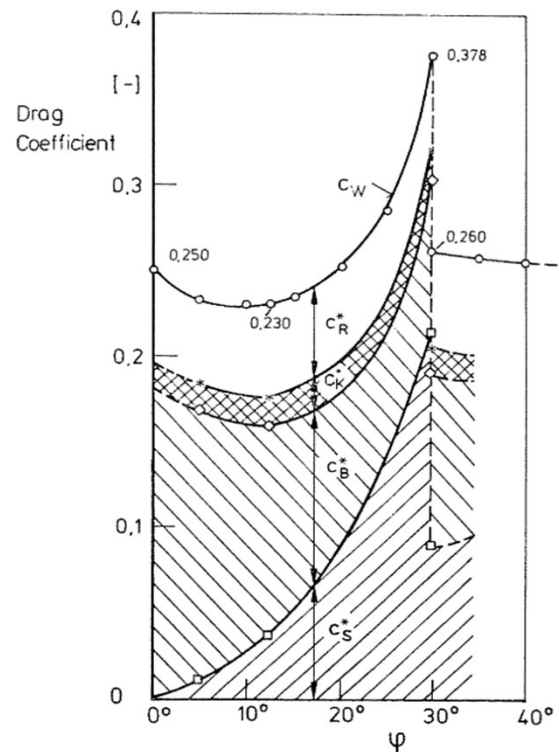
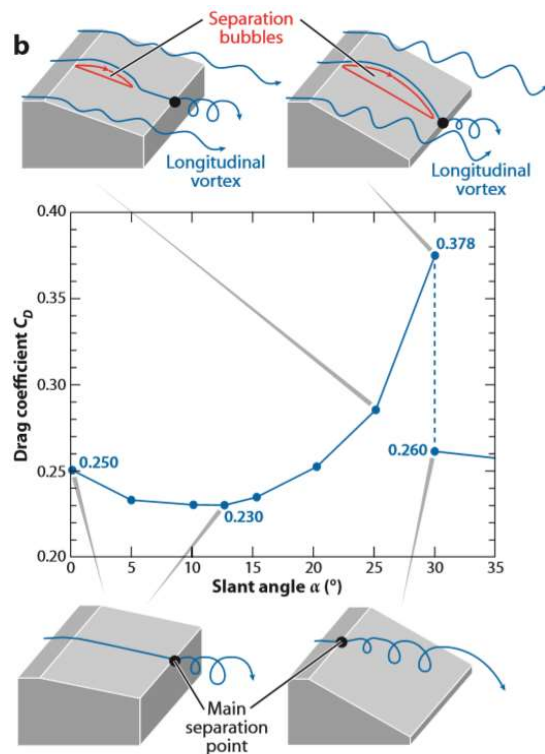
- Para o ângulo de inclinação traseiro entre 0° e $12,5^\circ$, temos:
- O escoamento permanece colado à rampa traseira e a separação principal ocorre no fim da rampa traseira. Neste intervalo ϕ , o arrasto diminui à medida que ϕ aumenta. Sendo que o arrasto mínimo ocorre para $\phi = 12,5^\circ$.



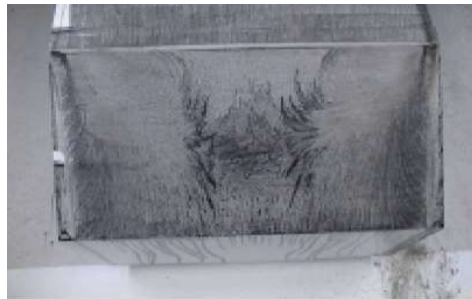
- Para o ângulo de inclinação traseiro entre $12,5^\circ$ e 30° , temos:
- O escoamento se separa no início da rampa e recola antes do fim da mesma, isto cria uma pequena bolha de separação. O tamanho dessa bolha de separação aumenta com o ângulo de inclinação até atingir $\phi = 30^\circ$. Nesta faixa de ϕ , um par de vórtices longitudinais contra rotativos são gerados a partir das bordas laterais da rampa. Estas estruturas geram arrasto, sendo que estas aumentam com o aumento de ϕ . Tornando-se a principal causa do aumento de arrasto nesse intervalo de ϕ .



- Para o ângulo de inclinação traseiro maior que 30° , temos:
- Escoamento totalmente separado na região da rampa.
- Arrasto diminui com aumento da inclinação da rampa traseira.



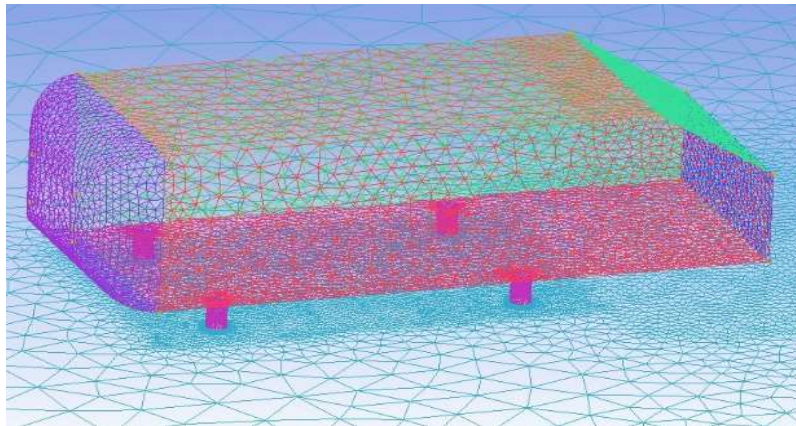
- Visualização de óleo do fluxo na superfície inclinada traseira (rampa traseira) do corpo Ahmed. Na imagem à esquerda o ângulo de inclinação é igual a 25° e na imagem à direita o ângulo de inclinação é igual a 35° .



- Para as simulações numéricas e teste do túnel de vento do IAE usamos o corpo de Ahmed com um ângulo inclinado igual a 35° .

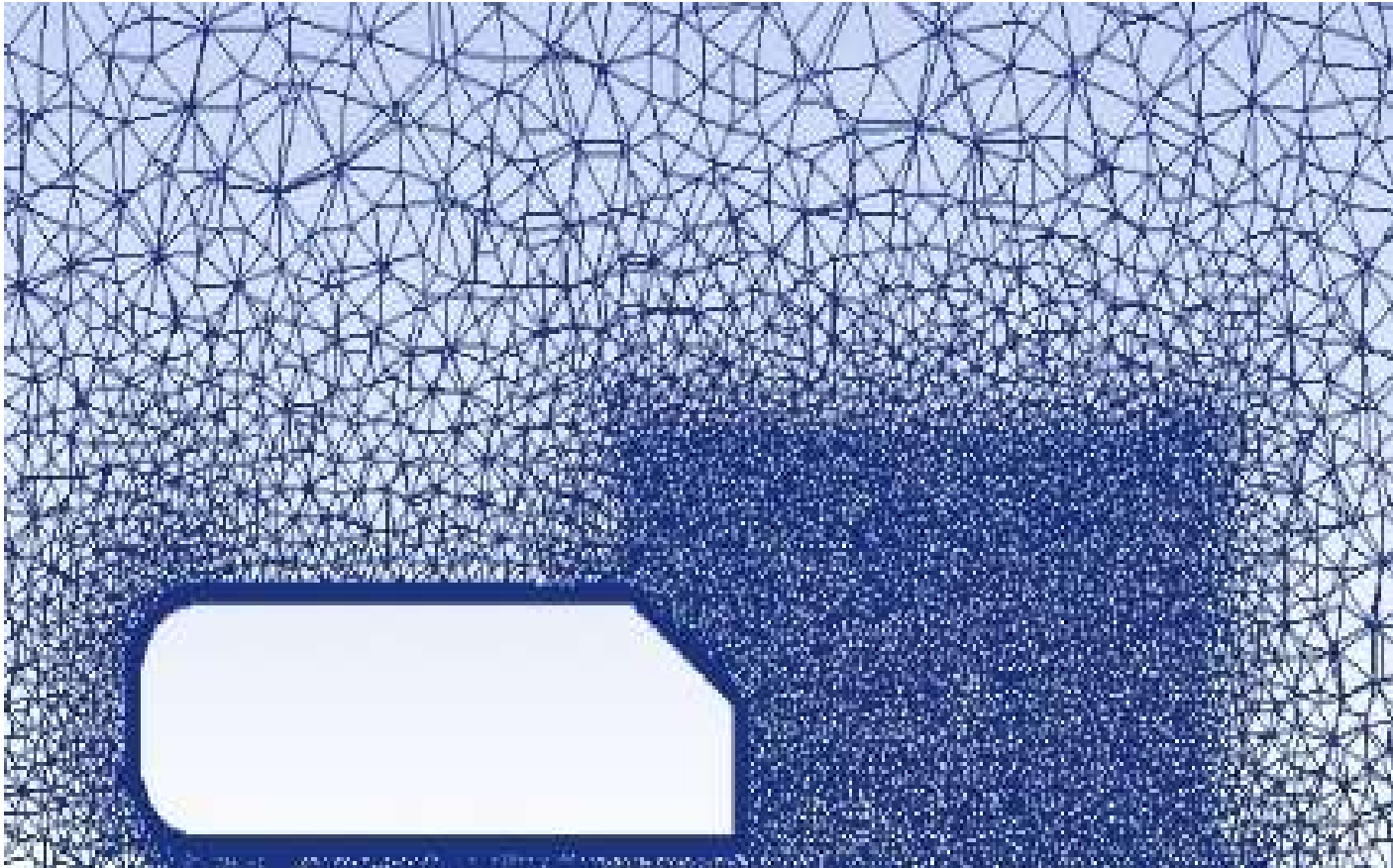
Domínio Computacional

- O domínio computacional tem 3,0 m de largura, 3,0 m de altura e 10,0 m de comprimento.



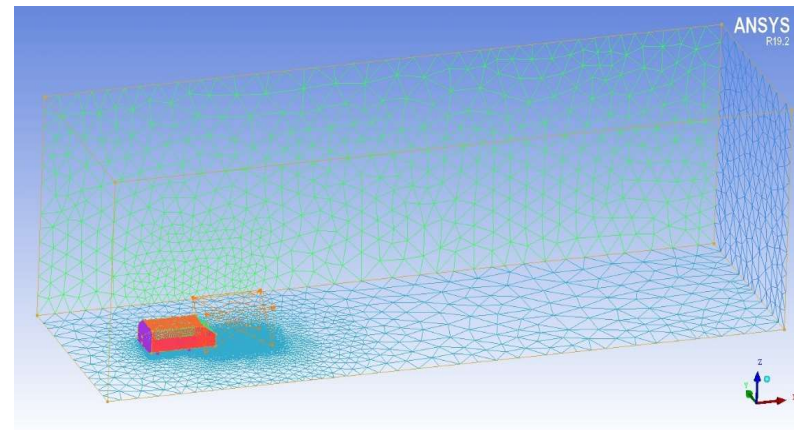
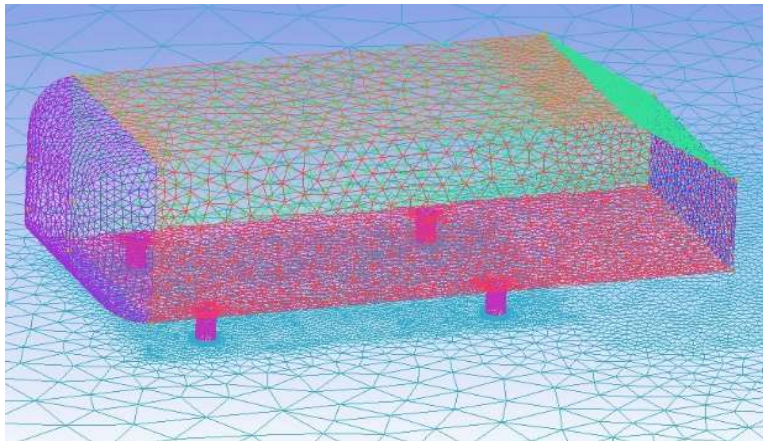
- A malha de superfície possui 40.016 células, das quais 35.776 células com formato triangular e 4240 células com formato de quadrilátero.

-
- A malha é refinada em regiões próximas à superfície do corpo de Ahmed para ter uma discretização espacial apropriada para resolver a camada limite.
 - Refinamento de malha local na região traseira do modelo para melhorar a resolução espacial na região do fluxo de esteira.
 - A malha volumétrica possui um total de 1.350.010 células, divididas em 92 pirâmides, 531.012 prisma de base triangular e 1.062.915 tetraedros.



Condições de Contorno e ajustes do programa de CFD

- Superfícies do corpo de Ahmed : parede sem escorregamento.
- Limites laterais e superior do domínio computacional : Pressão, temperatura, campo de velocidades e propriedades turbulentas do escoamento não perturbado.

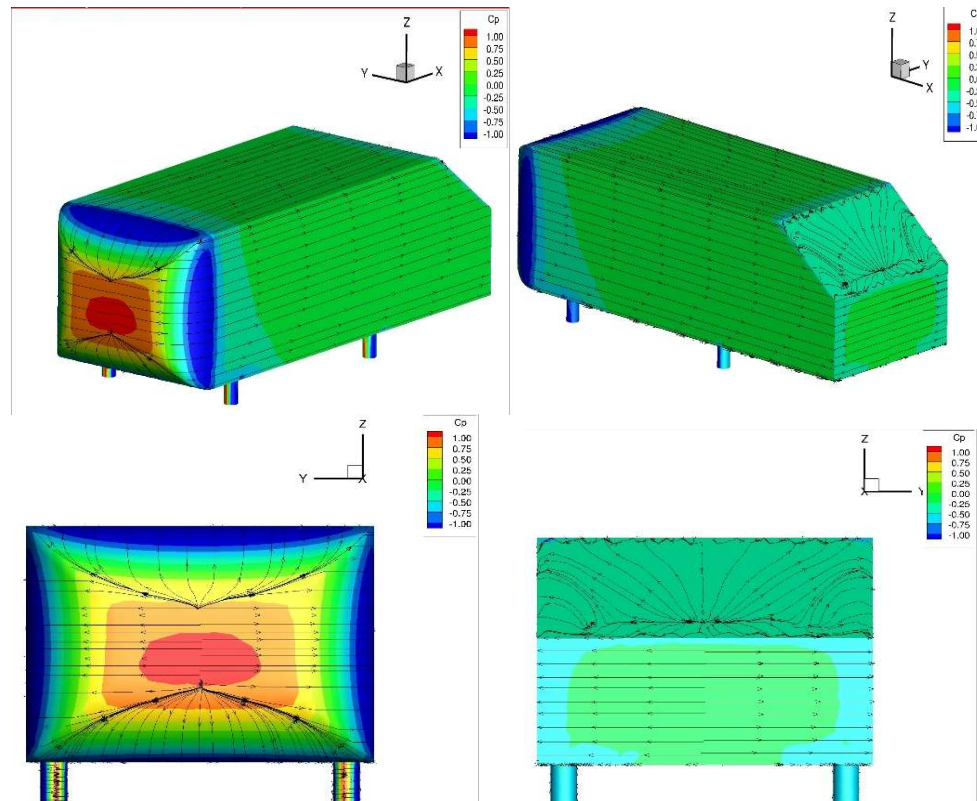


-
- Superfície inferior do domínio computacional: Parede com escorregamento.
 - As simulações foram realizadas considerando as equações de Navier-Stokes com média de Reynolds (Reynolds Averaged Navier-Stokes – RANS) em conjugação com o modelo de turbulência Spalart-Allmaras (SA) proposto por Spalart e Allmaras (1994). Utilizamos o método dos volumes finitos disponível no programa comercial CFD++.

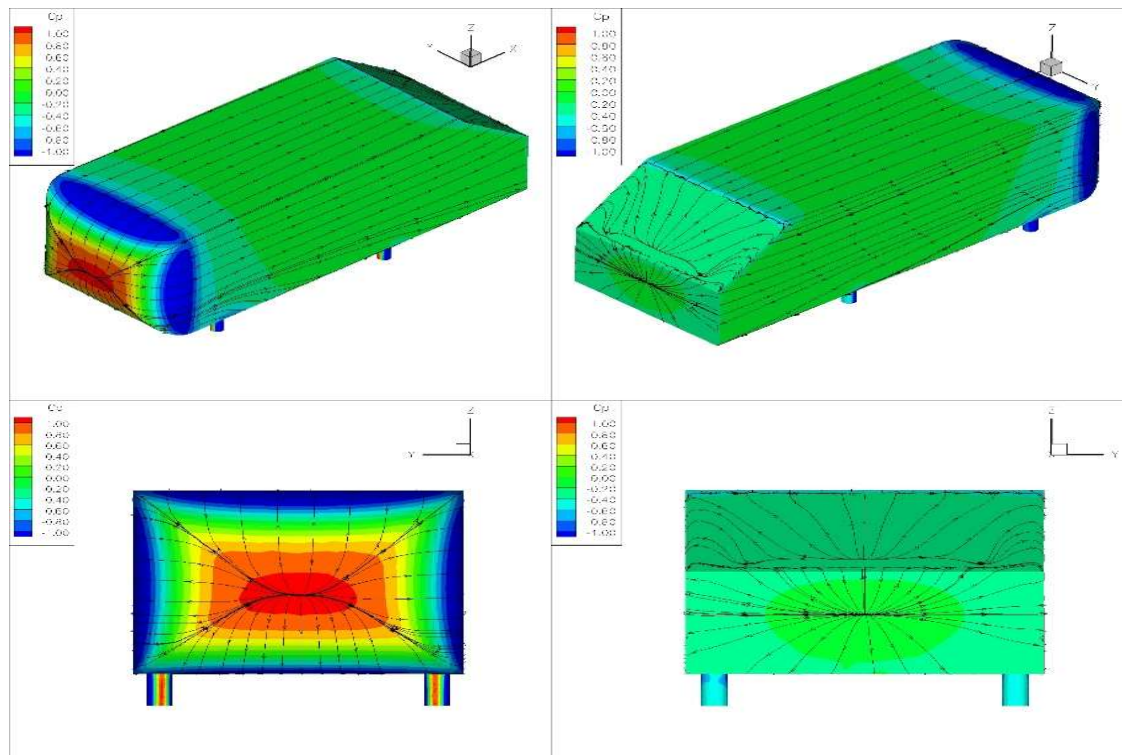
Resultados

- As Figuras a seguir apresentam as visualizações dos resultados numéricos do escoamento ao redor do corpo de Ahmed em diferentes números de Reynolds (Re).
- Essas imagens são compostas da distribuição de C_p (coeficiente de pressão) na superfície do modelo, sobreposta por linhas de tensão de cisalhamento.
- Essas linhas geraram padrões semelhantes aos mostrados pelas visualizações de óleo. Esses padrões representam a topologia do escoamento (estruturas vorticais).

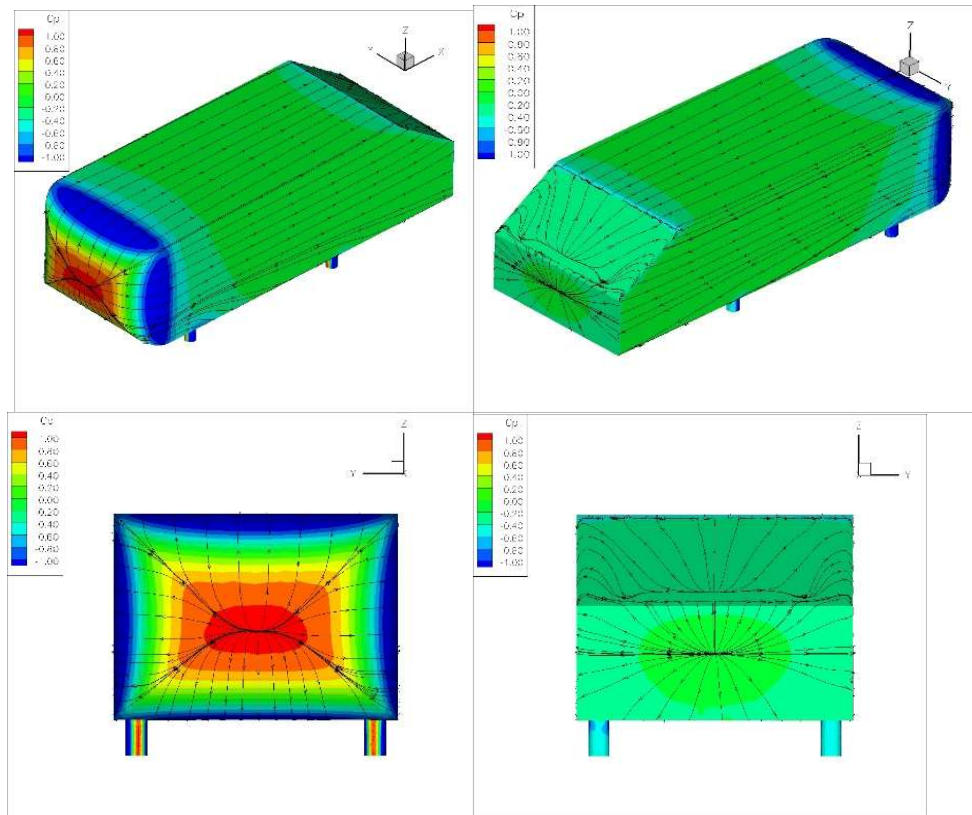
- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 1,0 \times 10^6$.



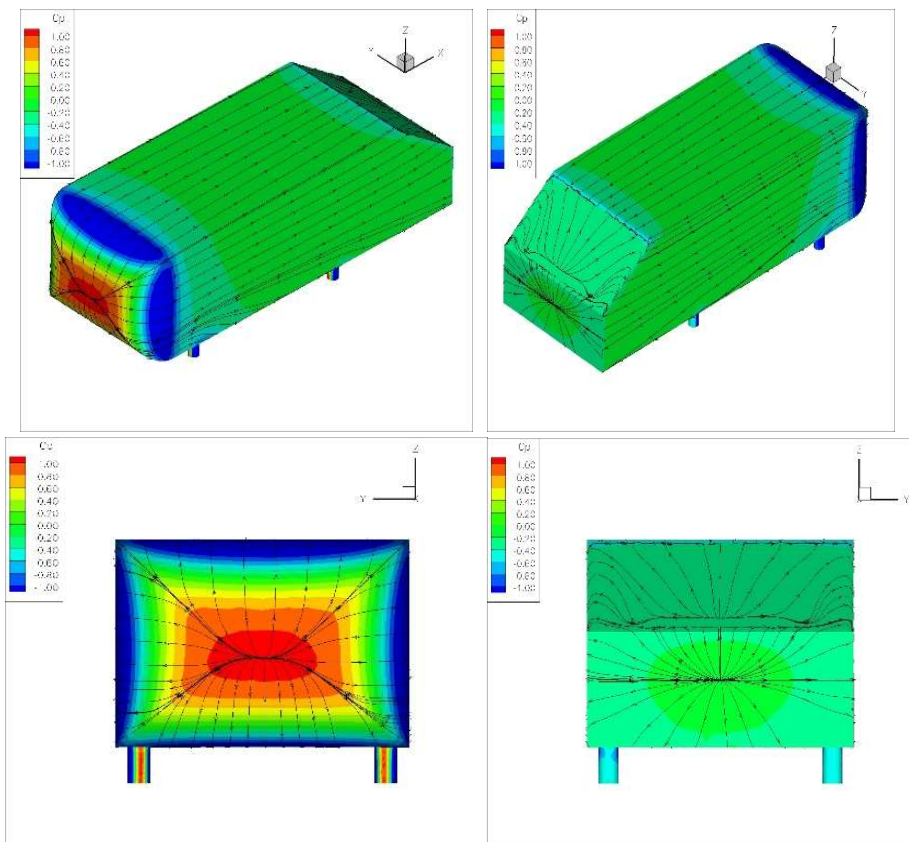
- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 2,820 \times 10^6$.



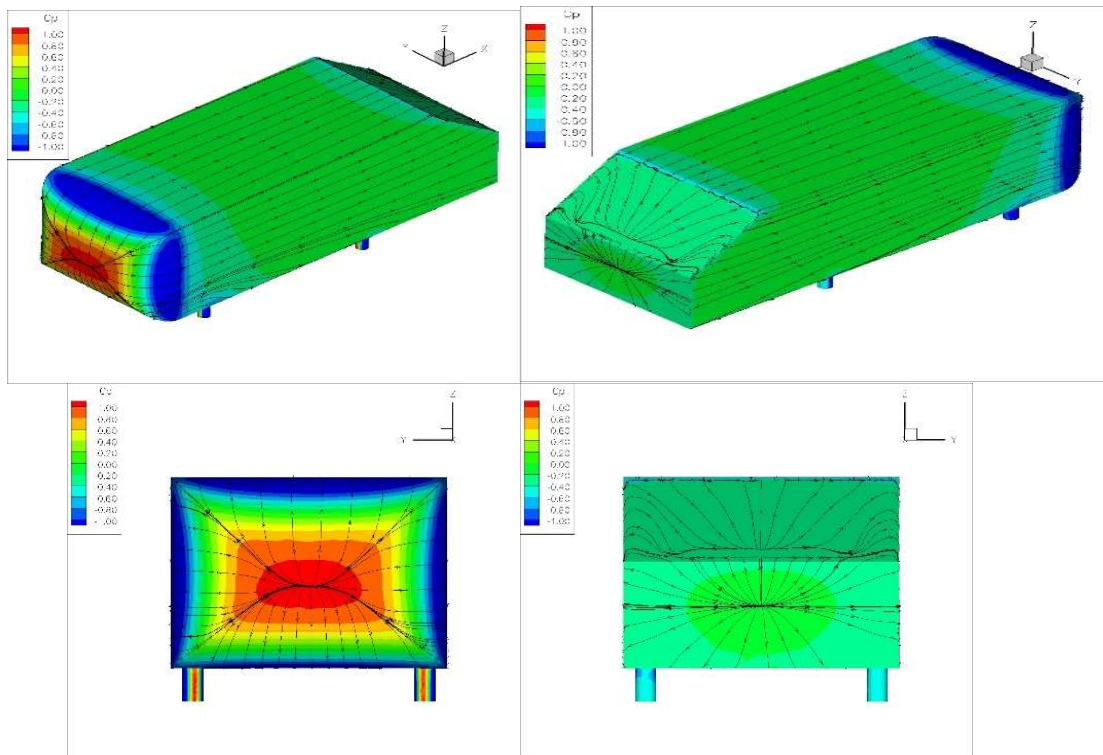
- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 3,813 \times 10^6$.



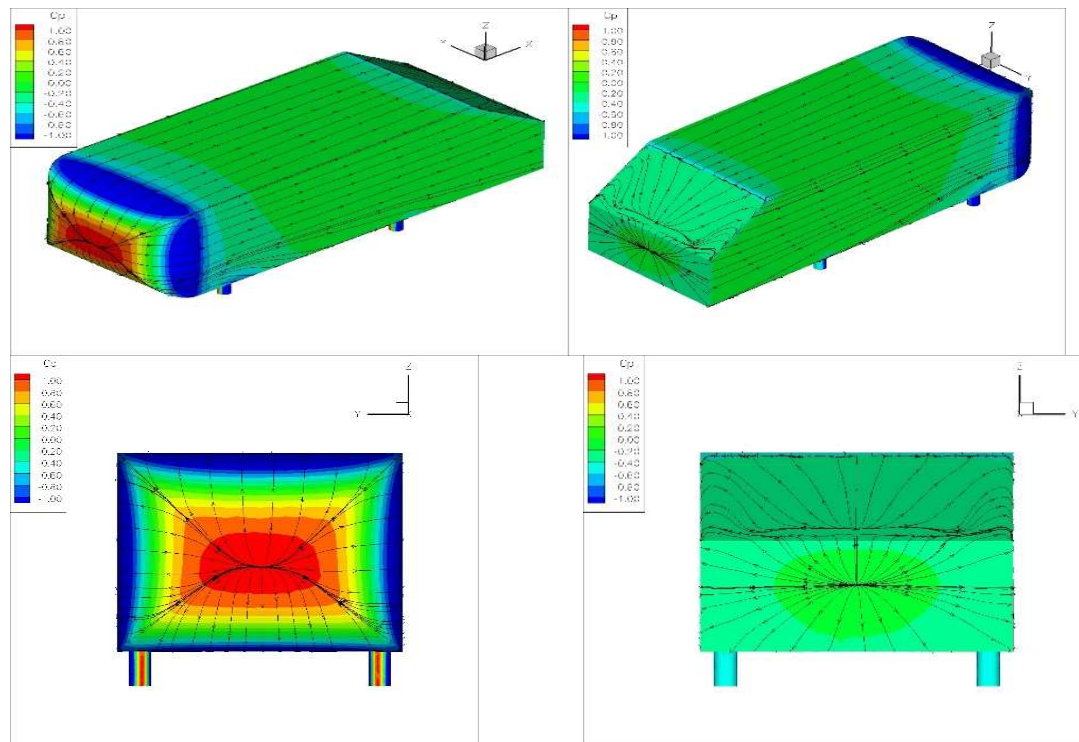
- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 4,745 \times 10^6$.



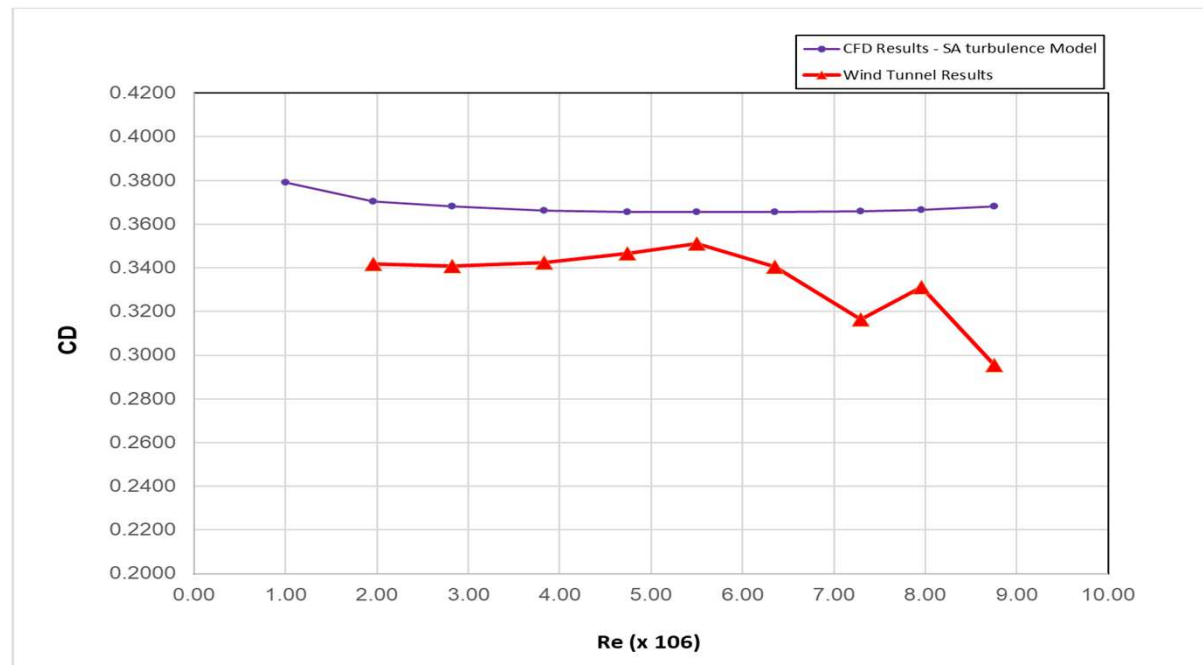
- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 5,501 \times 10^6$.



- Distribuição do coeficiente de pressão sobreposta pela linha de tensão de cisalhamento. Resultados obtidos com o modelo de turbulência SA em $Re = 8,753 \times 10^6$.



- Coeficiente de arrasto para o corpo de Ahmed com ângulo de inclinação igual a 35 em função do número de Reynolds (Re).



- Os resultados obtidos via CFD superestimam o coeficiente de arrasto observado no teste do túnel de vento.

Conclusões

- Este trabalho proporcionou uma excelente compreensão das características do escoamento ao redor de corpos rombudos, de grande relevância para a indústria automobilística.
- A utilização de técnicas experimentais e de técnicas computacionais (CFD - Método dos Volumes Finitos) permitiu a comparação entre duas abordagens distintas de resolução de problemas de mecânica dos fluidos.
- Os resultados de coeficiente de arrasto obtidos com o modelo de turbulência de Spalart-Allmaras (CFD) são maiores do que os dados experimentais disponíveis (túnel do IAE) em toda a faixa de número de Reynolds avaliada.

-
- As topologias do escoamento obtidas numericamente apresentaram pouca variação com aumento do número de Reynolds.
 - Em todos resultados numéricos observamos uma bolha de separação e um par de vórtices contrarrotativos nas bordas da rampa traseira do corpo de Ahmed. Vale ressaltar que a topologia encontrada nos resultados numéricos não condiz com as descrições encontradas na literatura.

Próximas Etapas

- Apresentaremos um estudo para efeitos de refinamento de malha (na lista 2 mais malhas) sobre o coeficiente de arrasto e também sobre os padrões de fluxo na parte traseira do corpo de Ahmed.
- Avaliar outros modelos de turbulência

Agradecimentos

- Gostaria de agradecer ao meu orientador Ricardo Galdino da Silva por me ensinar sobre os princípios desse trabalho durante esse tempo que trabalhamos juntos , aos meus pais José Alexandre Bazan Piotto e Alessandra Coelho Manograsso que me deram suporte e confiança para continuar a crescer como profissional e a minha namorada Sabrina Perez por sempre me inspirar e acreditar no meu potencial

Referências

- Ahmed, S. R.; Ramm, G.; Faltin, G., “Some salient features of the time-averaged ground vehicle wake”, SAE Technical Paper, n. 840300, 1984.
- Choi, H., Lee, J., and Park, H.; “Aerodynamics of Heavy Vehicles”, Annu. Rev. Fluid Mech. 46:441–68, 2014.
- Lienhart H., Stoots C., Becker S.; “Flow and Turbulence Structures in the Wake of a Simplified Car Model (Ahmed Modell)”, New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics III, Notes on Numerical Fluid Mechanics (NNFM), vol 77, 2002.
- Korkischko, I., “Investigação experimental e simulação numérica do escoamento ao redor de um modelo automobilístico: corpo de Ahmed”, Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo, 2006.
- Spalart, P. R. and Allmaras, S. R., "A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows," Recherche Aerospatiale, No. 1, 1994, pp. 5-21.

Medição do tensor de inércia em engenhos espaciais

Bolsista: Khalil Vicente Abdouni

Orientador: Wanderley Pires Cunha

Período: Agosto de 2019 a Julho de
2020

Objetivos

- Analisar configurações com matrizes de inércia distintas.
- Estudar os efeitos provocados pela matrizes em veículos espaciais.

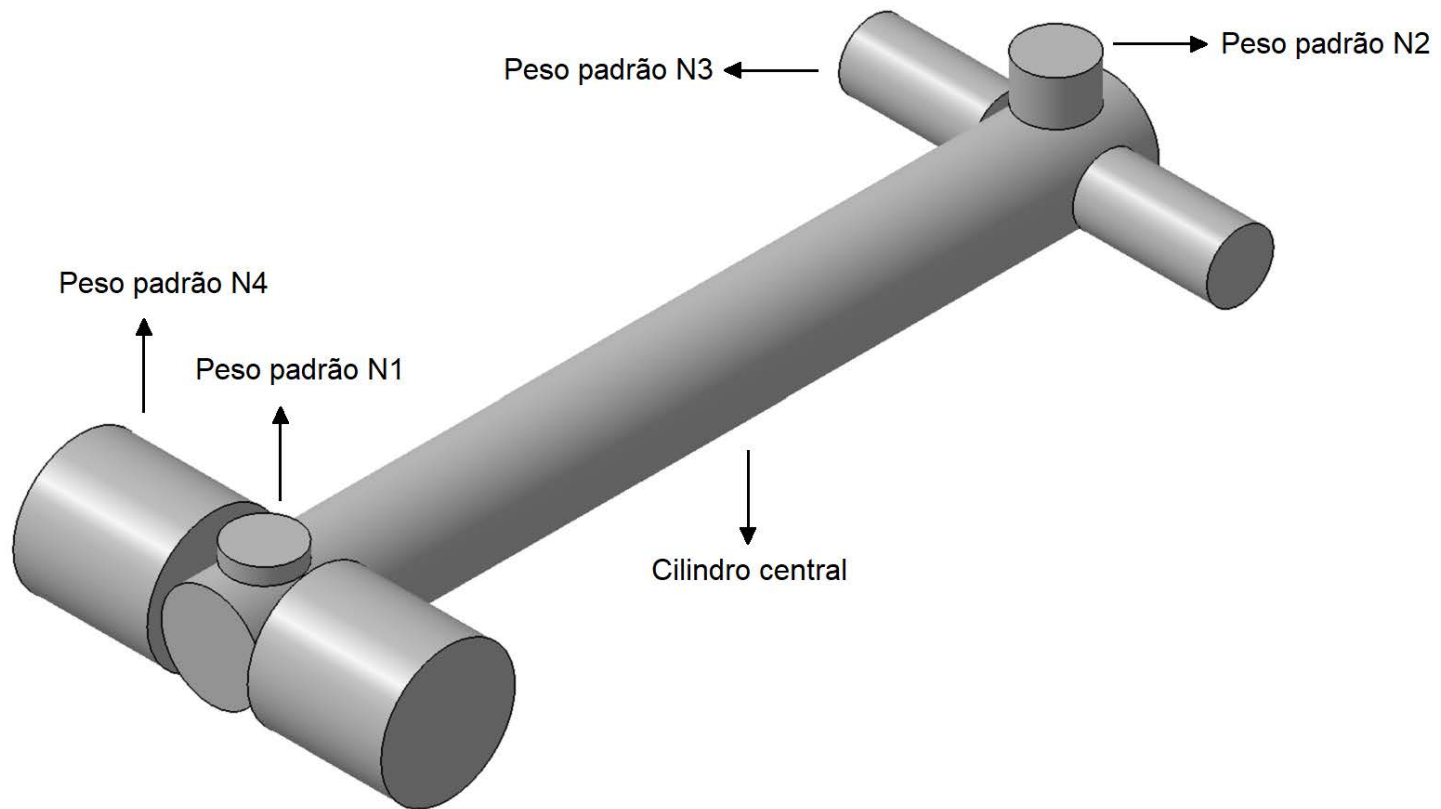
Introdução

- Propriedades de massa compreendem os modos de corpo rígido, ao passo que vibrações ou dinâmica estrutural, os modos de corpo flexível.
- Neste trabalho será analisado um corpo de prova com 3 configurações distintas, baseadas em configurações de aviões, satélites (Dzhanibekov) e variadas (aleatório).
- O corpo de prova recebeu o nome de ADA.

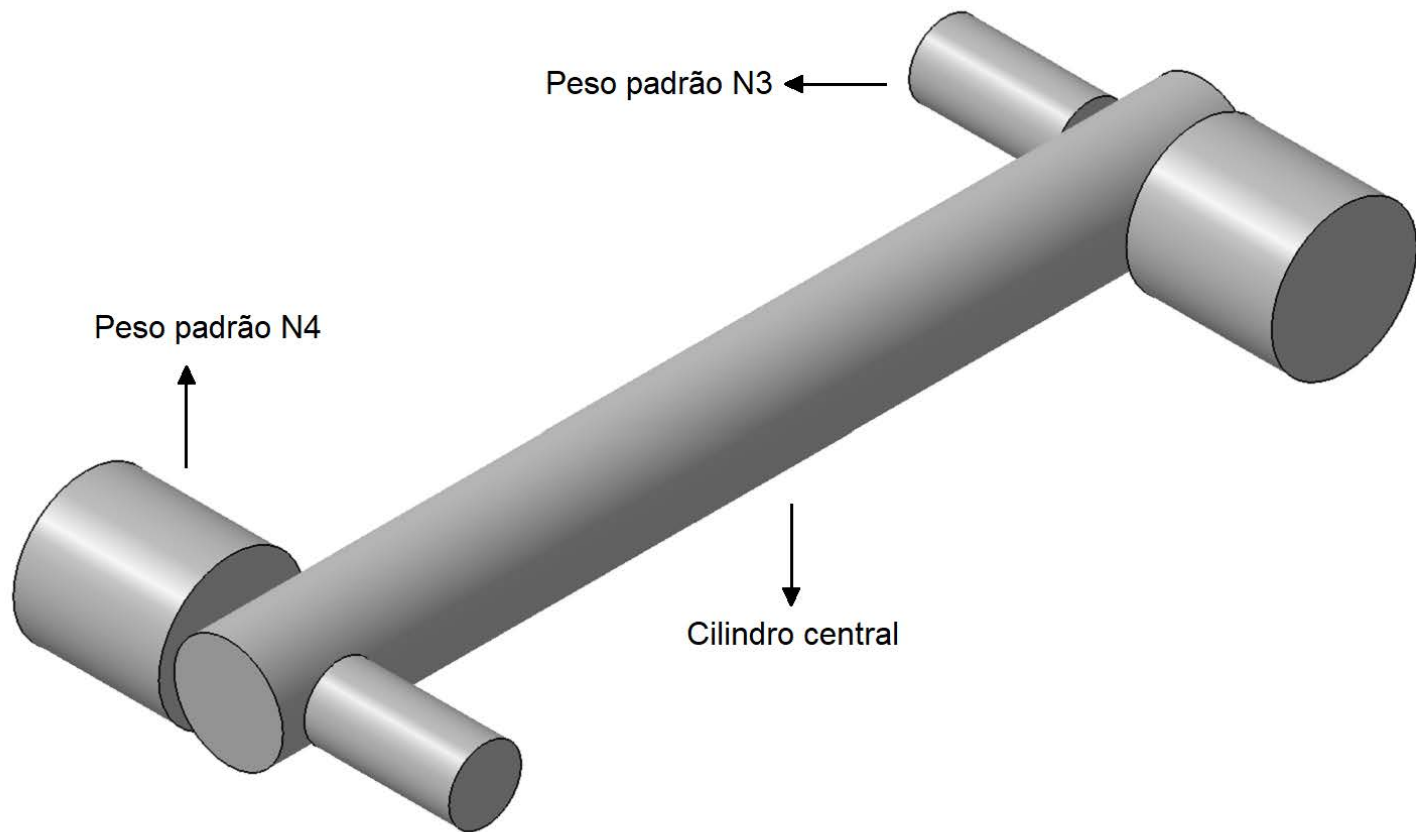
Materiais e Métodos

- Neste trabalho utilizou-se um cilindro central com furos para receber a fixação de pesos padrão;
- Os pesos-padrão têm forma cilíndrica (6) e forma de anel (3).

Configuração Avião



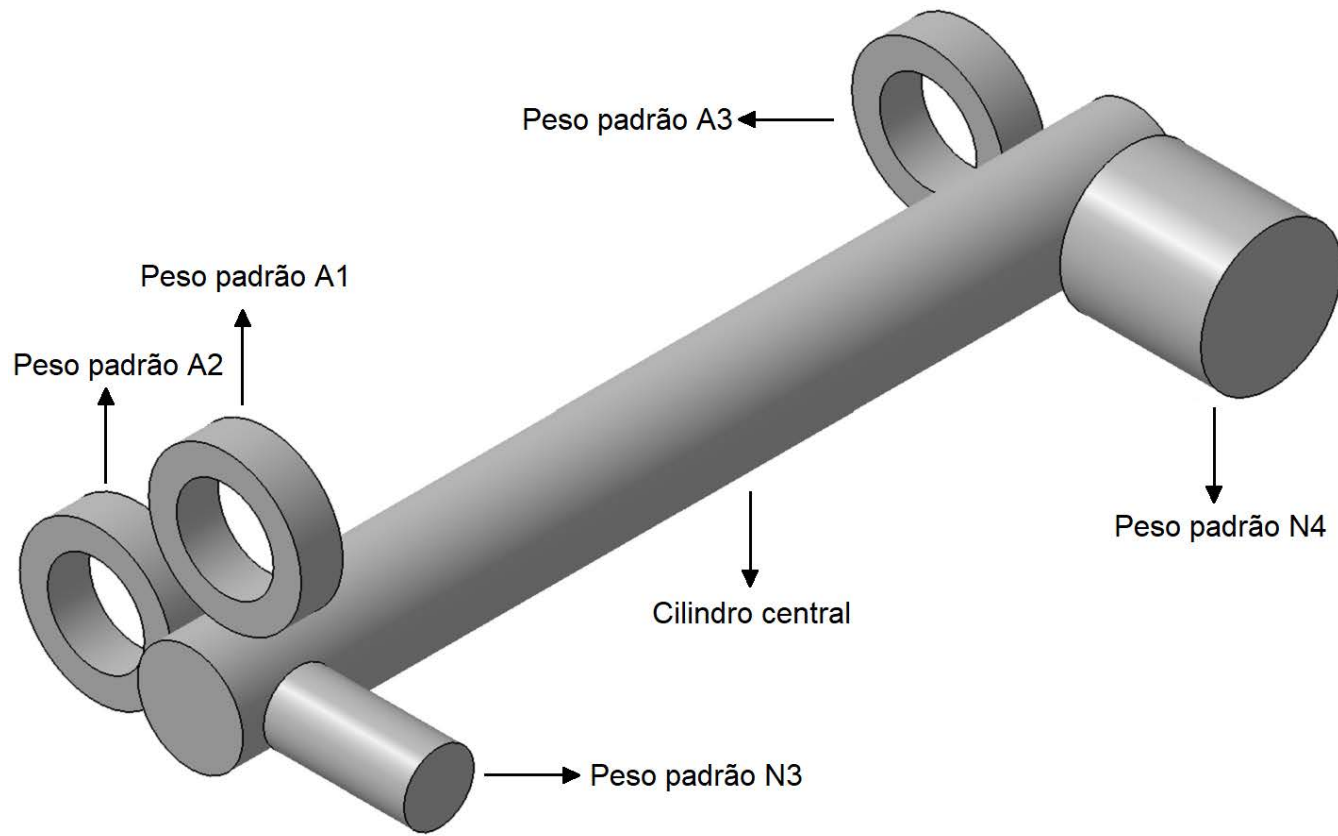
Configuração Dzhanibekov



Configuração Dzhanibekov



Configuração Aleatório

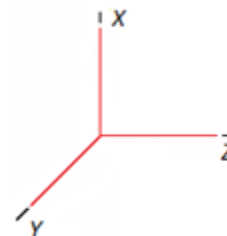
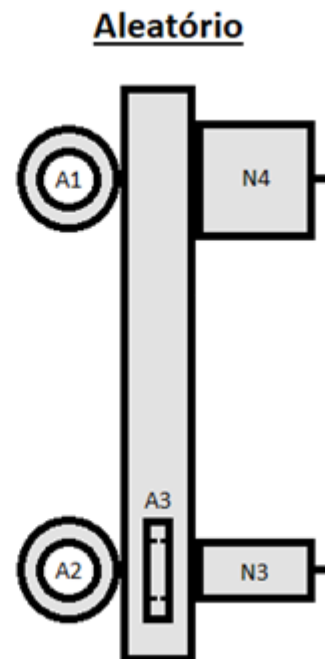
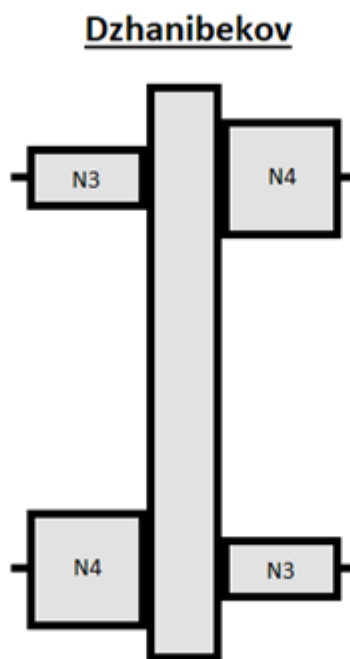
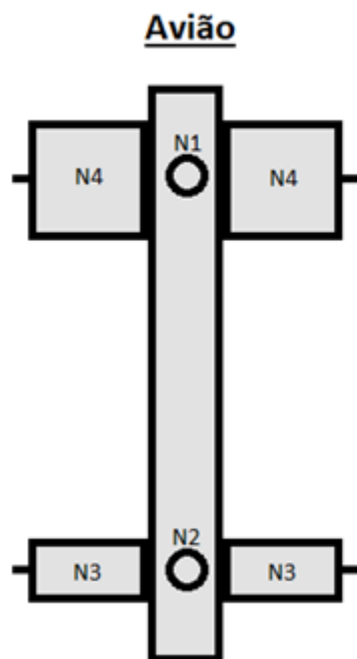


Materiais e Métodos



Materiais e Métodos

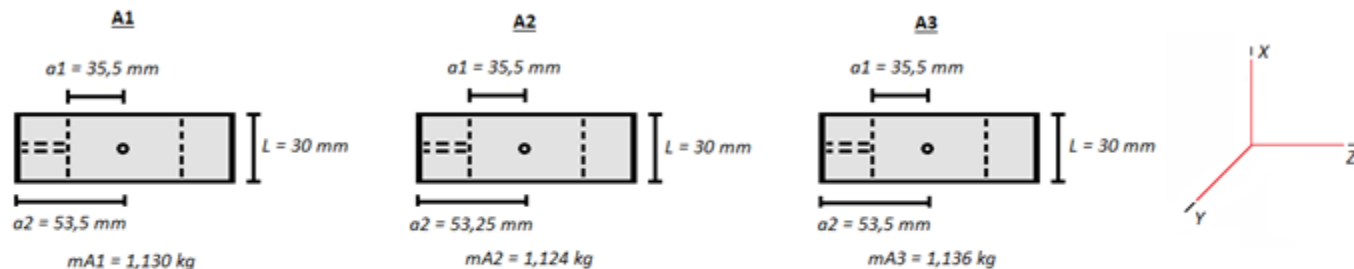
Eixo de referência das configurações.



Resultados

- Foram calculados os valores de momento de inércia teóricos do cilindro central e dos pesos-padrão através das seguintes fórmulas:

Anéis:



Rolamento:

$$I_x = \frac{1}{2} m (a_1^2 + a_2^2)$$

Arfagem/Guinada:

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} m [3(a_2^2 + a_1^2) + L^2]$$

Resultados

- Análise do momentos de inércia teóricos individuais de cada uma das peças que compõem as configurações (resultados das medições dimensionais das peças, anéis e pesos-padrão).

	$I_x \text{ (Kg.m}^2\text{)}$	$I_y = I_z \text{ (Kg.m}^2\text{)}$
Cilindro central	0,00625	0,33690
N1	0,00006	0,00003
N2	0,00016	0,00013
N3 (1)	0,00051	0,00163
N3 (2)	0,00051	0,00163
N4 (1)	0,00828	0,00966
N4 (2)	0,00827	0,00965
A1	0,00232	0,00124
A2	0,00230	0,00123
A3	0,00232	0,00124

Conclusões

- A primeira fase deste trabalho foi dedicada ao desenvolvimento analítico do presente método de medição da matriz de inércia de um corpo.
- A modelagem matemática para a avaliação de incerteza associada à medição foi desenvolvida, porém os valores só serão apresentados a partir da obtenção das medições a serem realizadas no laboratório LPMA do IAE.

Análise da existência de brisa oceânica no perfil vertical do vento na base de lançamento de Alcântara.

Bolsista: Leandro Fortunato de Faria

Orientador: Cléber Souza Correa

Período: De 01 de agosto 2019 a 31 de julho 2020

Objetivos

- Analisar o perfil vertical do vento
- Determinar se há alguma influência da precipitação e da cobertura de nuvens para cada Análise de Componentes Principais (ACP) para todo o período

Introdução

- Clima → Lançamento de foguetes → evitar prejuízos pessoais e financeiros.
- Cobertura de nuvens → balanço radiativo.
- Perfil vertical do vento → nebulosidade → tipo de nuvem
- Brisas → Grad. Pressão → Grad. Temp.

Introdução

- Brisa terrestre (BT) é mais intensa em junho a noite, pois o continente fica mais frio do que o oceano;
- Brisa Marítima (BM) se mostra mais intensa nos meses de fevereiro, outubro e dezembro, devido ao maior aquecimento terrestre e, conseqüentemente, maior contraste térmico continente-oceano.

Introdução

- Compreender as ocorrência das Brisas é importante para:
 1. Previsão do tempo e clima;
 2. Horários preferenciais para a ocorrência de precipitação;
 3. Planejamento socioeconômico de uma região, EWERTON C. S. MELO [5]

Materiais e Métodos

MATERIAL:

- Dados do perfil vertical do vento,
- Precipitação,
- Cobertura e tipos de nuvens.

Materiais e Métodos

MATERIAL:

- Foram gerados arquivos diurno e noturno, que eram compostos por uma matriz com 3 colunas, sendo elas de altura, direção e intensidade do vento.
- Resultando 5 componentes principais e, para cada uma delas, havia um valor diário diurno e noturno para todo o período de estudo.

Materiais e Métodos

MATERIAL:

- A tabela 1: Classificação da intensidade dos JBN nas componentes da ACP. Segundo Corrêa et al. (2001) [1].

JBN Categoria	Definição	
	Vento máx. (m/s)	Cizalhamento (m/s)
JBN Fraco	> 6	≥ 5
JBN-0	≥ 10	≥ 5
JBN-1	≥ 12	≥ 6
JBN-2	≥ 16	≥ 8
JBN-3	≥ 20	≥ 10

Tabela 1: Categorias de classificação dos JBN.

Materiais e Métodos

MATERIAL:

- As Figuras 1 e 2 apresentam o perfil vertical do vento da componente principal 1 para o período diurno e noturno.

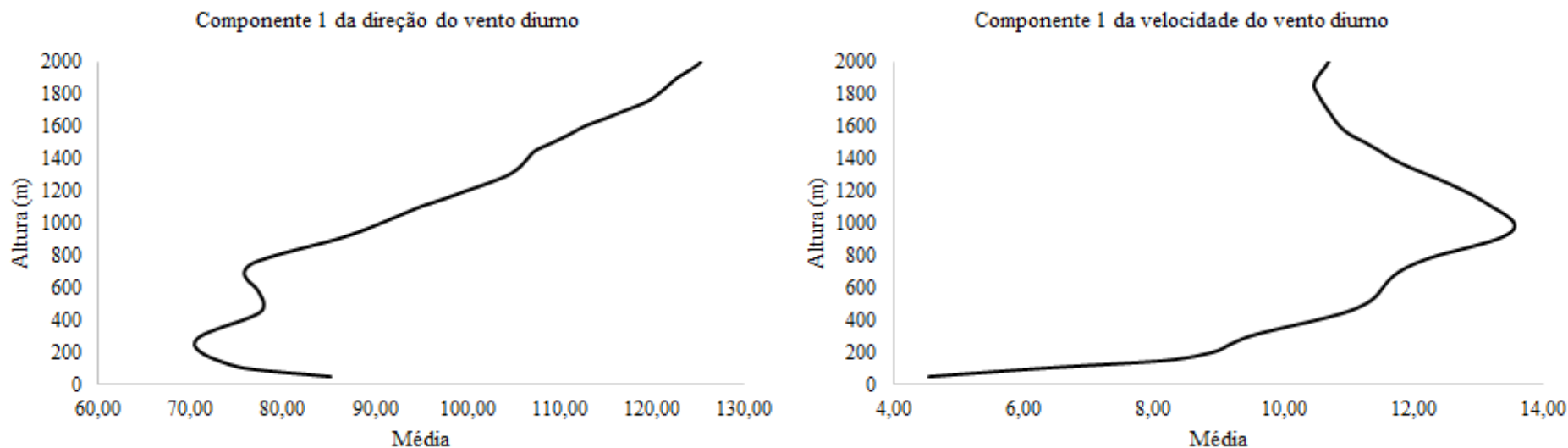


Figura 1 – Direção e velocidade do vento diurno da 1ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014.

Materiais e Métodos

MATERIAL:

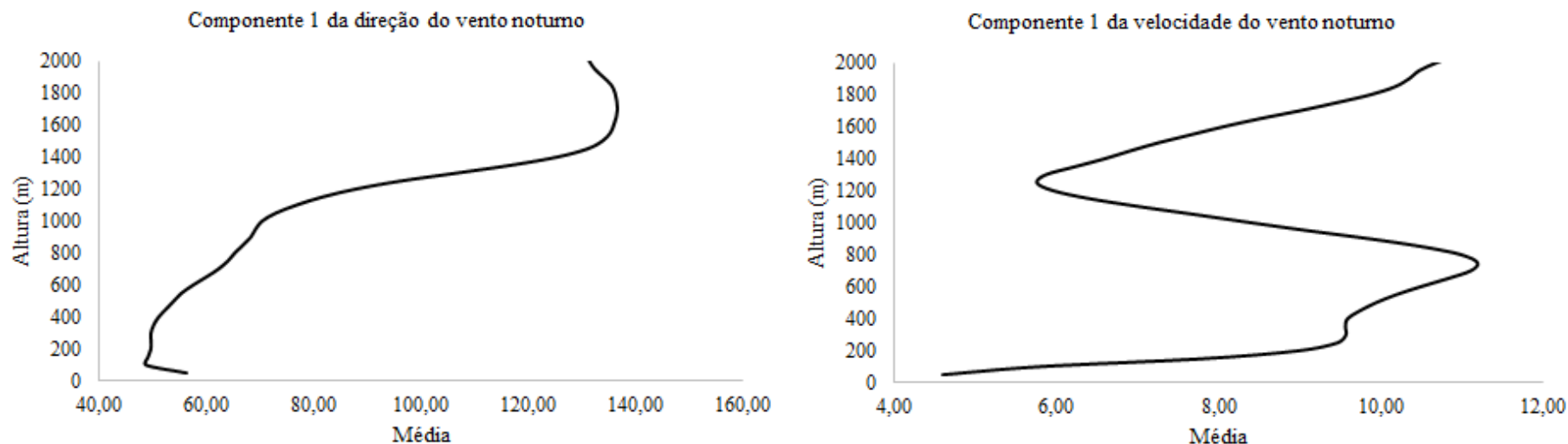


Figura 2 – Direção e velocidade do vento noturno da 1ª componente da ACP, no CLA para o período de julho a novembro de 2014.

Materiais e Métodos

MATERIAL:

CLASSIFICAÇÃO ACP'S

Componente	Tipo	Magnitude	Cisalhamento	Altura	Data
ACP1 noturno	JBN-0	> 10 ms-1	5 ms-1	800 m	03/ago
ACP2 noturno	JBN-fraco	~ 9 ms-1	5 ms-1	400 m	15/ago
ACP3 noturno	JBN-0	~ 11 ms-1	5 ms-1	200 m	30/jul
ACP4 noturno	JBN-0	~ 11 ms-1	5 ms-1	800 m	24/out

Tabela 2. Classificação das Componentes principais.

Materiais e Métodos

Total de nuvens			Tipos de nuvens		
SIGLA	OITAVOS	DESCRIÇÃO	TIPO	SIGLA	NOMES
	Zero	-	0	CI / CC	Cirrus / Cirrocumulus
1	1/8	Ou menos	1	CS	Cirrustratus
2	2/8	-	2	AC	AltoCirrus
3	3/8	-	3	AS	AltoCumulus
4	4/8	-	4	NS	Nimustratus
5	5/8	-	5	SC	Stratocumulus
6	6/8	-	6	ST	Stratus
7	7/8	-	7	CU	Cumulus
8	8/8	-	8	TCU	Cumulus congestus
X	X	Céu obscurecido	9	CB	Cumulunimbus

Resultados

Nuvens e Total precipitação na ACP1

Dia/mês	PREC.	TOTAL	N1	TIPO	ALT	N2	TIPO	ALT	N3	TIPO	ALT
03/ago	0	3	3	6	450						
03/ago	0	3	3	6	450						
03/ago	0	3	3	6	450						
03/ago	0	5	4	6	450	1	8	600			
03/ago	0	5	4	6	450	1	8	600			
03/ago	0	3	3	6	450						

Dia/mês: dia e mês; PREC: precipitação diária (mm); TOTAL: total de nuvens (oitavos); N1, N2 e N3: nuvens; TIPO: tipo de nuvens (formato DECEA) e ALT: altura das nuvens (m)

Resultados

Classificação de Nuvens e Precipitação nas ACP2

Dia/mês	PREC.	TOTAL	N1	TIPO	ALT	N2	TIPO	ALT	N3	TIPO	ALT
15/ago	0	1	1	1	9000						
15/ago	0	0									
15/ago	0	0									
15/ago	0	0									
15/ago	0	0									
15/ago	0	0									

Dia/mês: dia e mês; PREC: precipitação diária (mm); TOTAL: total de nuvens (oitavos); N1, N2 e N3: nuvens; TIPO: tipo de nuvens (formato DECEA) e ALT: altura das nuvens (m)

Resultados

Classificação de Nuvens e Precipitação nas ACP3											
Dia/mês	PREC.	TOTAL	N1	TIPO	ALT	N2	TIPO	ALT	N3	TIPO	ALT
30/jul	0	5	2	6	450	1	8	600	3	3	3000
30/jul	0	5	2	6	450	1	8	600	2	3	3000
30/jul	0	4	2	6	450	2	3	3000			
30/jul	0	3	3	6	450						
30/jul	0	3	3	6	450						
30/jul	0	3	3	6	450						

Dia/mês: dia e mês; PREC: precipitação diária (mm); TOTAL: total de nuvens (oitavos); N1, N2 e N3: nuvens; TIPO: tipo de nuvens (formato DECEA) e ALT: altura das nuvens (m)

Resultados

Classificação de Nuvens e Precipitação nas ACP4

Dia/mês	PREC.	TOTAL	N1	TIPO	ALT	N2	TIPO	ALT	N3	TIPO	ALT
24/out	0	4	1	6	450	3	1	9000			
24/out	0	4	1	6	450	3	1	9000			
24/out	0	4	2	6	450	2	1	9000			
24/out	0	2	2	6	450						
24/out	0	1	1	6	450						
24/out	0	1	1	6	450						

Dia/mês: dia e mês; PREC: precipitação diária (mm); TOTAL: total de nuvens (oitavos); N1, N2 e N3: nuvens; TIPO: tipo de nuvens (formato DECEA) e ALT: altura das nuvens (m)

Resultados

Classificação de Nuvens e Precipitação nas ACP5

Dia/mês	PREC.	TOTAL	N1	TIPO	ALT	N2	TIPO	ALT	N3	TIPO	ALT
09/nov	0	5	2	6	450	3	1	9000			
09/nov	0	5	2	6	450	3	1	9000			
09/nov	0	4	3	6	450	1	1	9000			
09/nov	0	4	3	6	450	1	1	9000			
09/nov	0	2	2	6	450						
09/nov	0	2	2	6	450						

Dia/mês: dia e mês; PREC: precipitação diária (mm); TOTAL: total de nuvens (oitavos); N1, N2 e N3: nuvens; TIPO: tipo de nuvens (formato DECEA) e ALT: altura das nuvens (m)

Resultados

- Observou-se a ausência de precipitação, e uma grande variedade de nuvens.
- As ACP's 3 e 4 tiveram os maiores valores de JBN, com tipos de nuvens *Stratus*, diferindo somente no total de nuvens em oitavos.
- Ocorrida na parte da noite, sendo uma brisa terrestre.
- Ausência de nuvens convectivas e conseqüentemente, ausência de precipitação.

Conclusões

- Boa visualização do perfil vertical do vento no CLA.
- Identificação da ocorrência de JBN no período noturno.
- Observou-se que as ACP's deste período não sofrem influência.

Agradecimentos

- CNPq pelo incentivo.
- Dr. Cleber Correa pela orientação.
- DCTA e IAE pelo apoio e pela disponibilização dos dados.

Agradecimentos

OBRIGADO!

Geração de Previsões com uso de técnicas de rede neural para o Perfil Vertical do Vento no Centro de Lançamento de Alcântara

Bolsista: Raniele Fatima Pinheiro

Orientador: Cleber Souza Corrêa

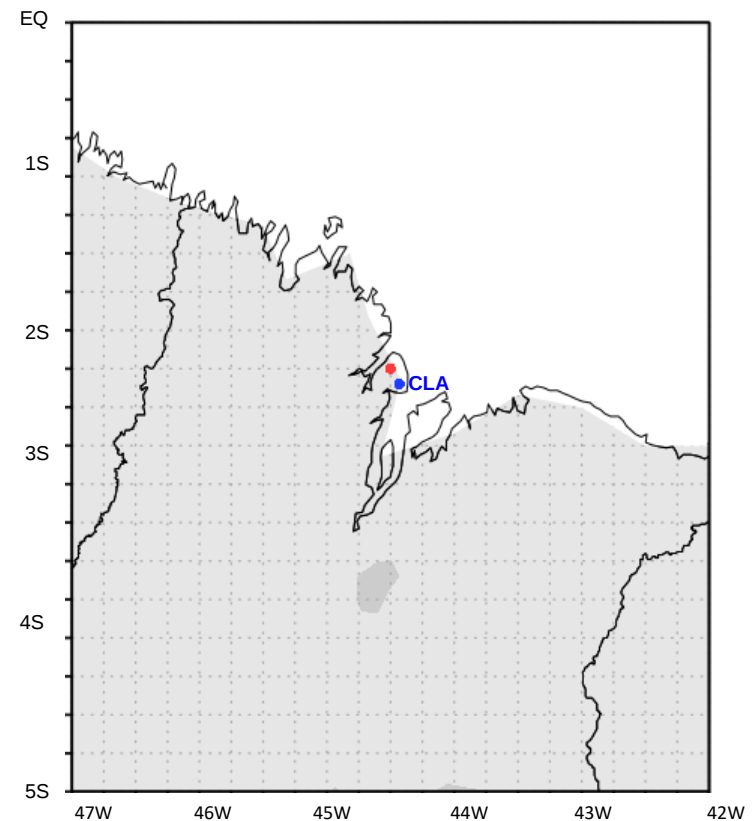
Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivos

- Analisar o comportamento do vento para os diferentes níveis da torre anemométrica instalada no CLA.
- Utilizar rede neural para prever as condições de vento para a região.

Introdução

- O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) está localizado no litoral maranhense ($2^{\circ}22'S$, $44^{\circ}23'W$) e possui clima tropical.



Introdução

- Os ventos na região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) são provenientes do oceano.
- Vento é menos intenso durante a estação chuvosa, variando cerca de 1 m/s.
- Ventos mais intensos na estação seca, o ciclo varia cerca de 2m/s

Materiais e Métodos

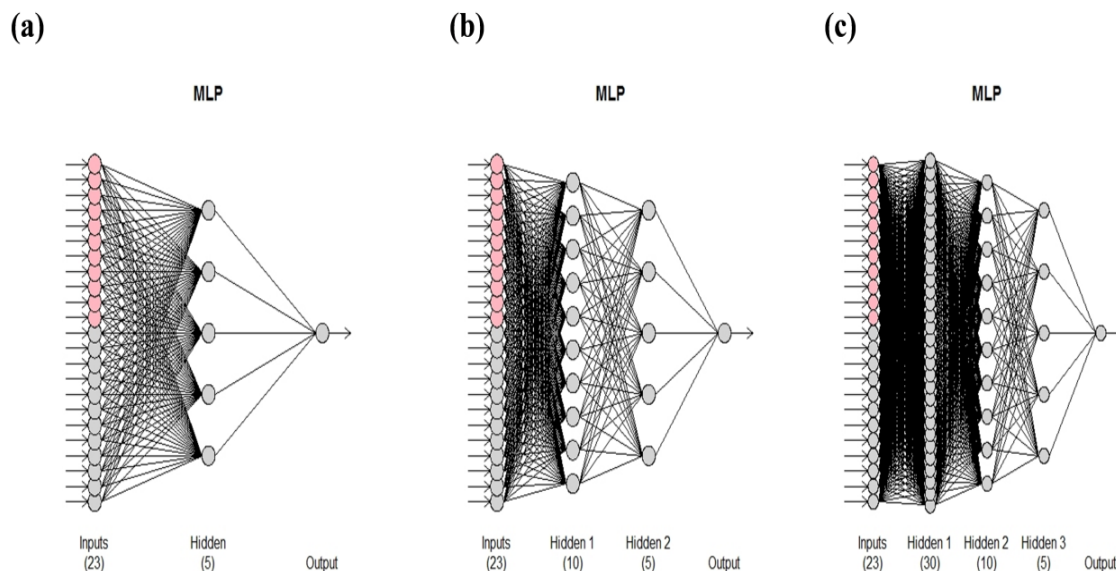
- Dados a cada 10 minutos de ventos em dezembro de 2015.

Nível	Metros
1	6.0
2	10.0
3	16.3
4	28.5
5	43.0
6	70.0



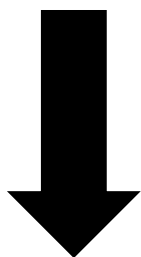
Materiais e Métodos

- Utilização do software R para obtenção da rede neural do tipo Perceptron Multicamadas (MLP)



Materiais e Métodos

- Análise estatística dos resultados



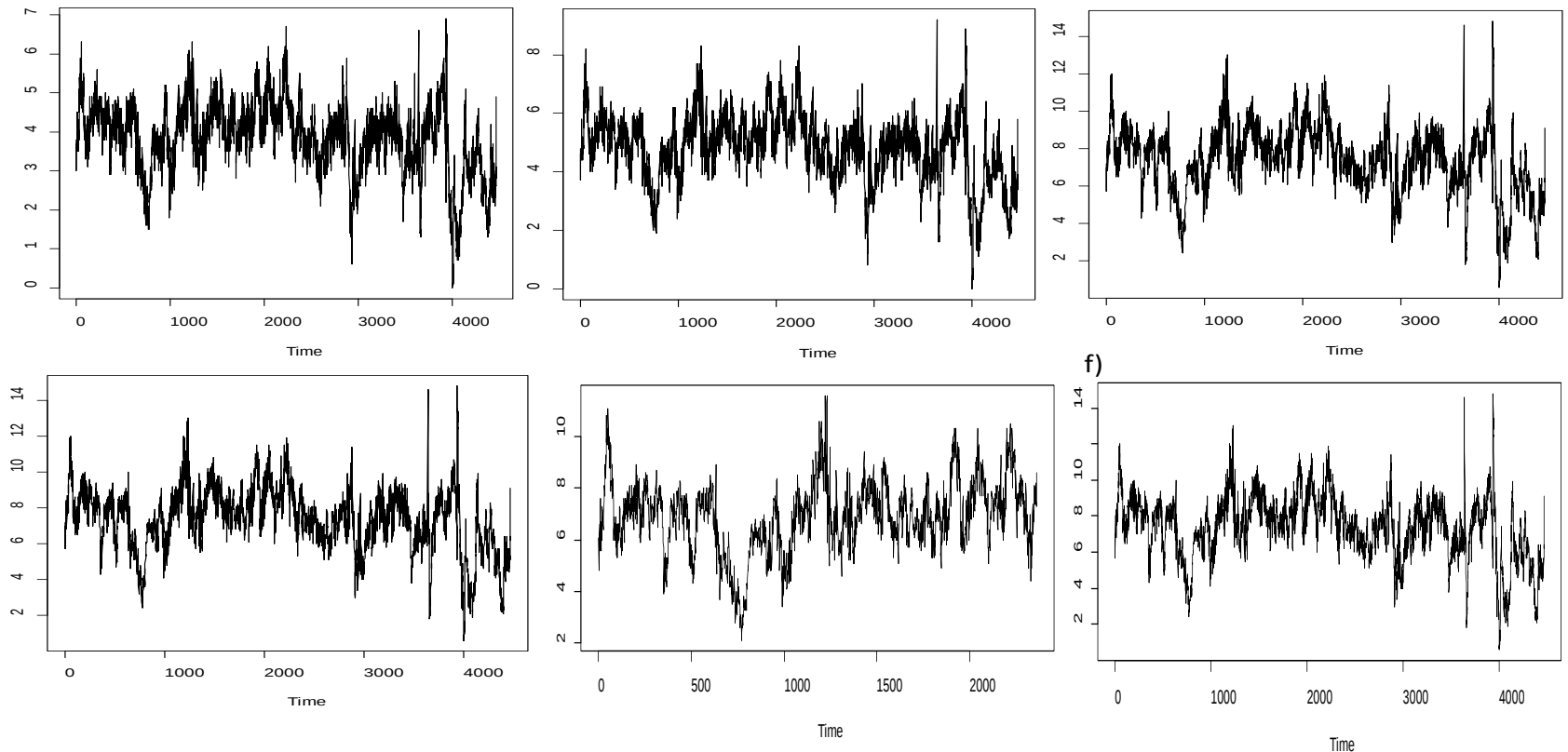
Erro Médio (MSE)



Média do Erros
Absolutos (MAE)

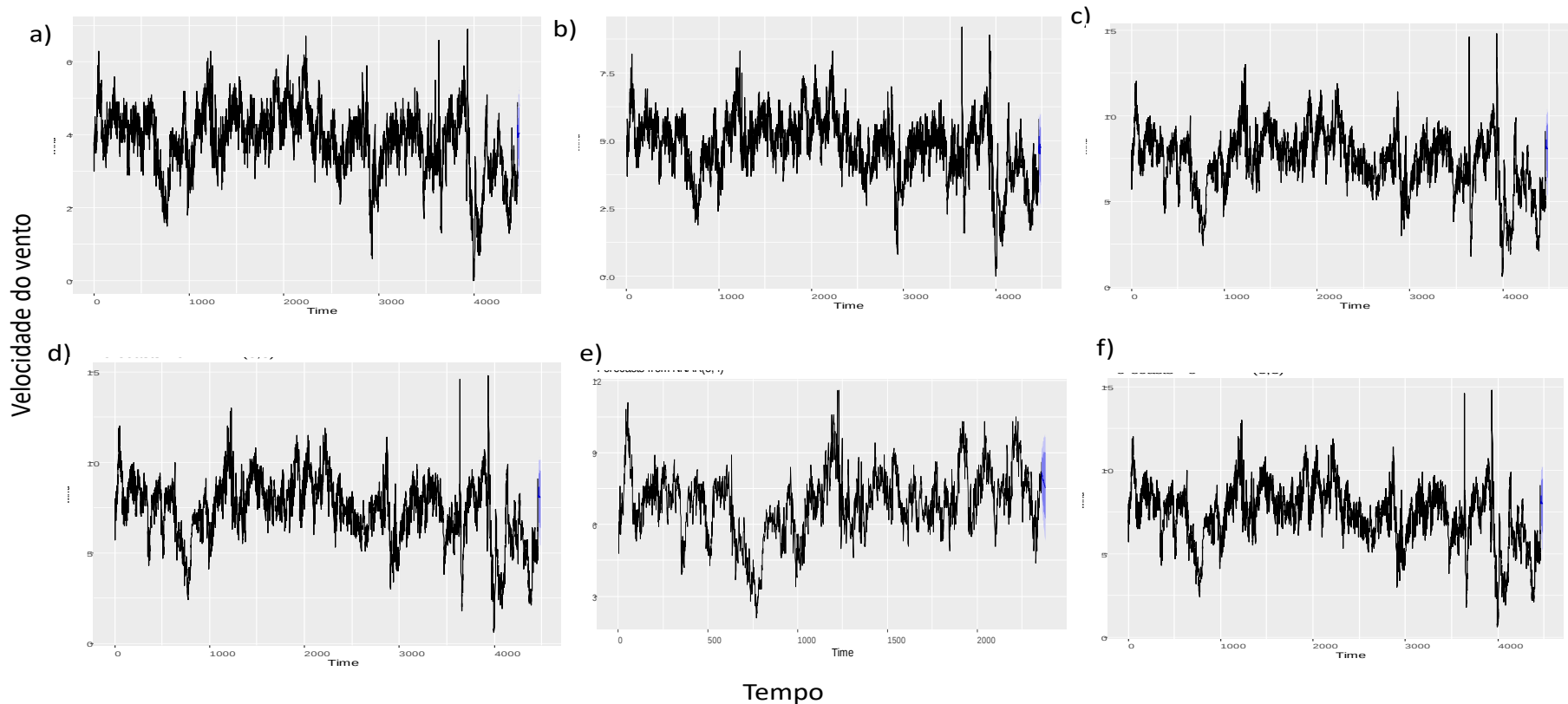
Resultados

- Variação do vento em cada nível



Resultados

- Obtenção da velocidade do vento para $t+1$



Resultados

- Estatística da previsão para cada nível

	MSE	MAE
Nível 1	0.3407	0.2627
Nível 2	0.3960	0.3036
Nível 3	0.5429	0.4023
Nível 4	0.5436	0.4023
Nível 5	0.5198	0.3928
Nível 6	0.5224	0.3981

Conclusões

- Ganho científico para a implementação do uso de redes neurais, voltados para a previsão de variáveis meteorológicas em uso operacional no CLA
- Uso preliminarmente, de uma ferramenta operacional para prever o perfil vertical do vento para uma serie temporal da torre anemométrica no CLA

Obrigada

Análise Numérica de Coeficientes Aerodinâmicos Atuantes no Modelo Padrão Aeronáutico M5/ONERA/IAE

Bolsista: Saulo Vitor Zonfrilli

Orientador: Ricardo Galdino da Silva

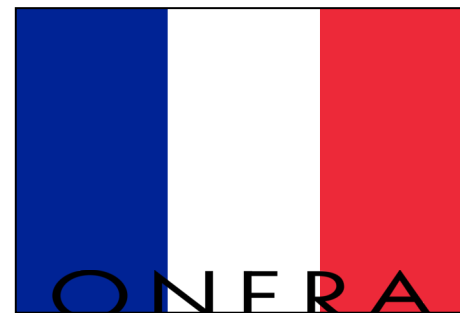
Período: Agosto de 2019 a Julho de 2020

Objetivos

- Conhecer os coeficientes no M5;
- Conhecer o comportamento do Modelo em análise numérica para gerar banco de dados a fim de auxiliar na preparação de análises experimentais;
- Estudar os fenômenos aerodinâmicos (recirculações, vórtices, descolamentos do escoamento, etc) presentes no Modelo;

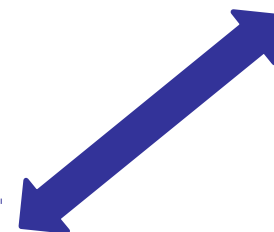
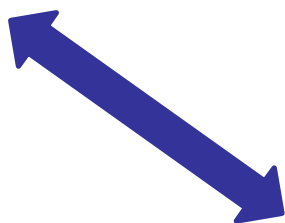
Introdução

- Acordo de Intercomparação



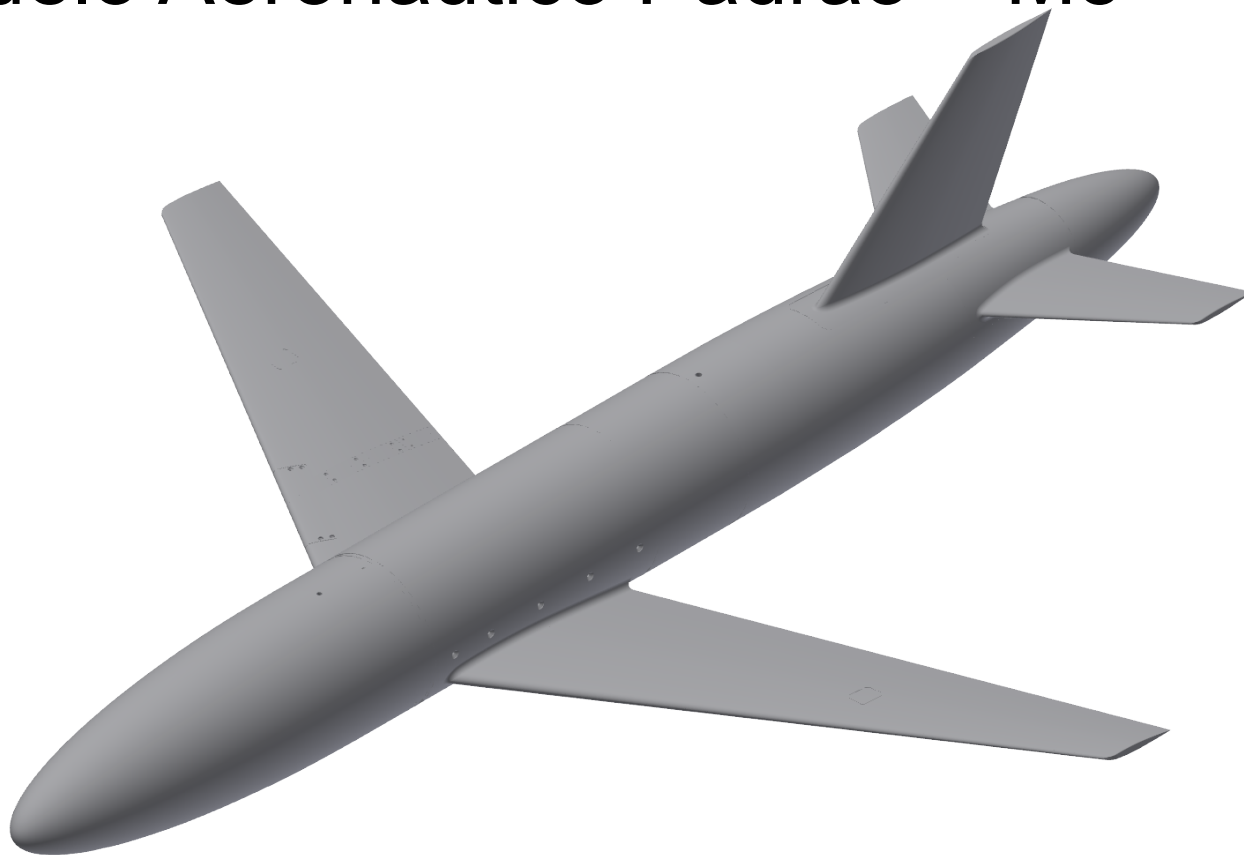
ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB



Introdução

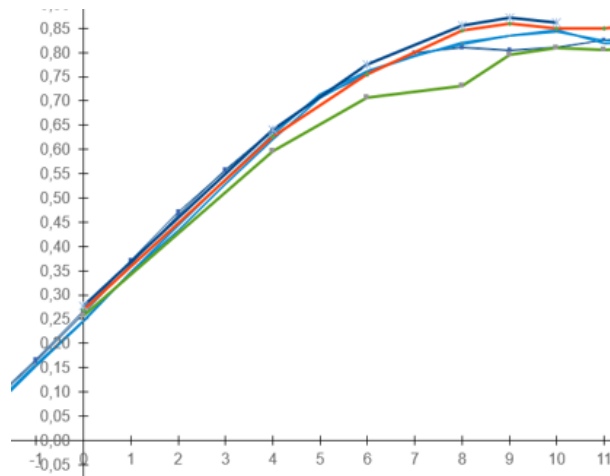
- Modelo Aeronáutico Padrão – M5



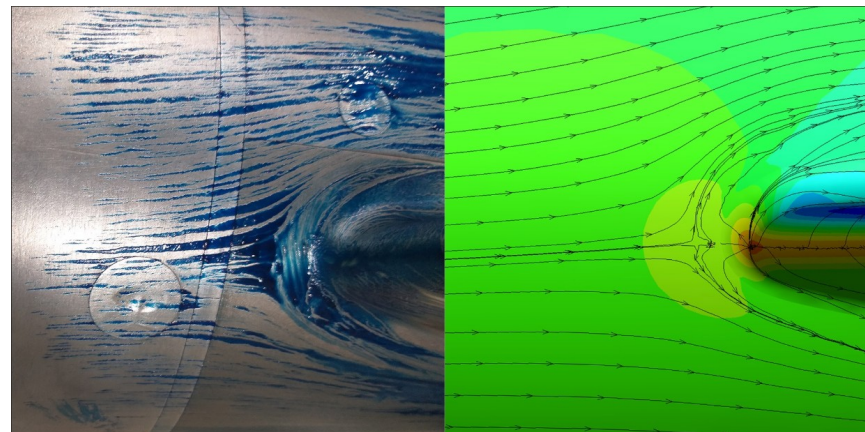
Introdução

- Coeficientes e escoamento sobre o M5

Coeficientes

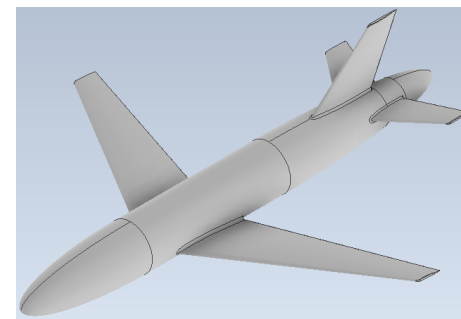
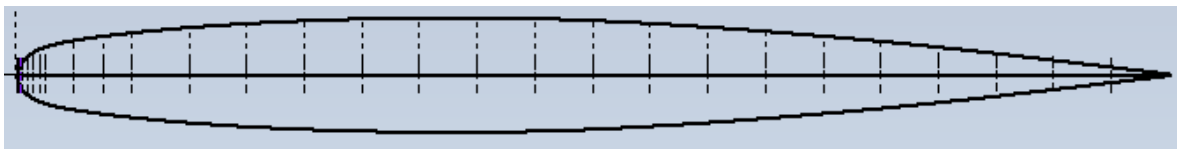


Escoamento

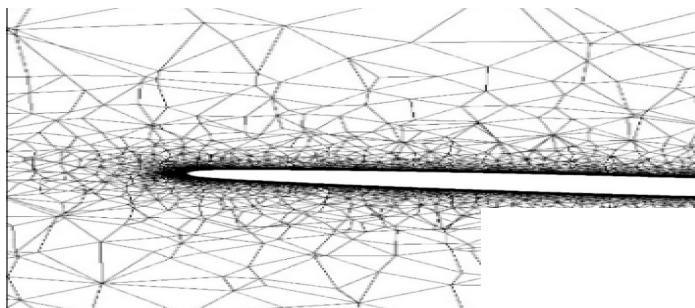


Materiais e Métodos

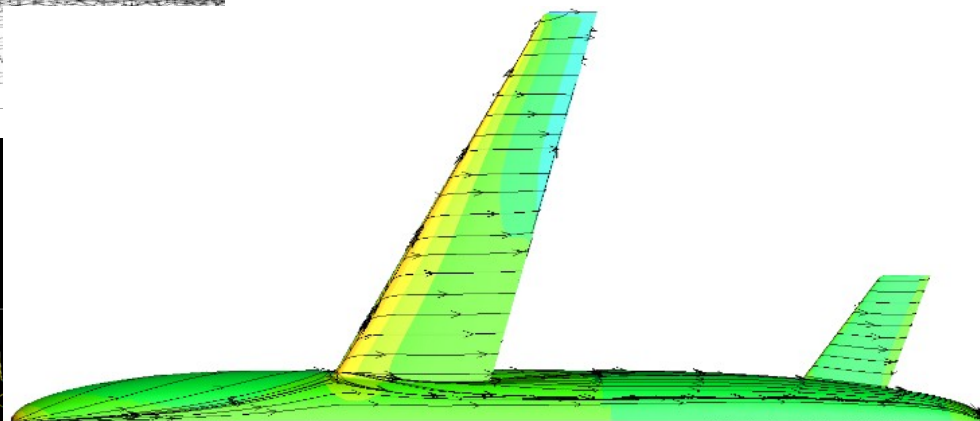
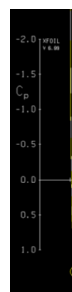
- Modelagem 2D e 3D



- Malha



- Análises 2D e 3D

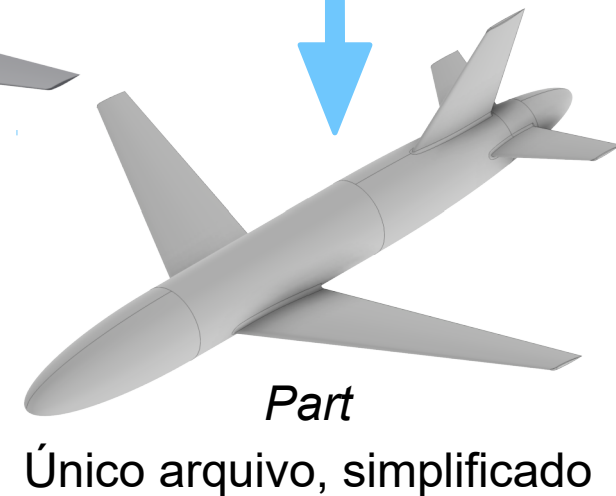
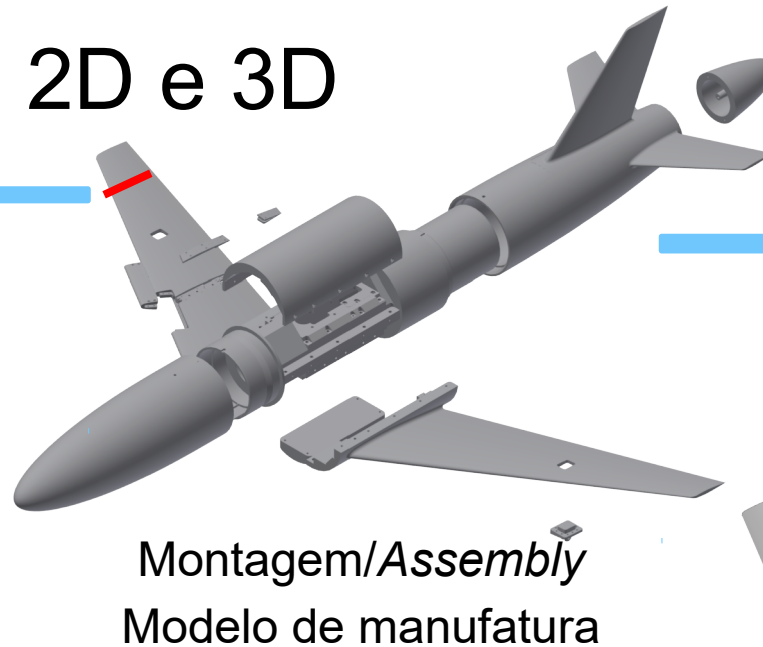


Materiais e Métodos

- Modelagem 2D e 3D

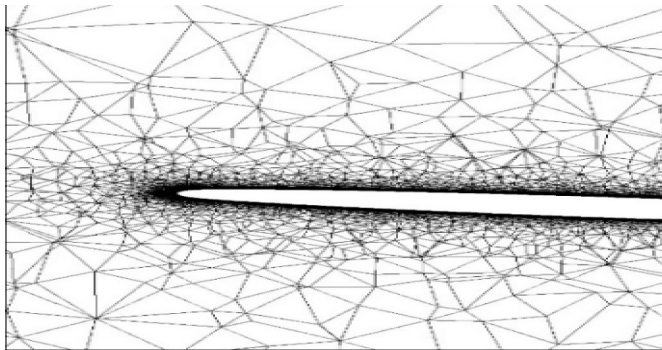
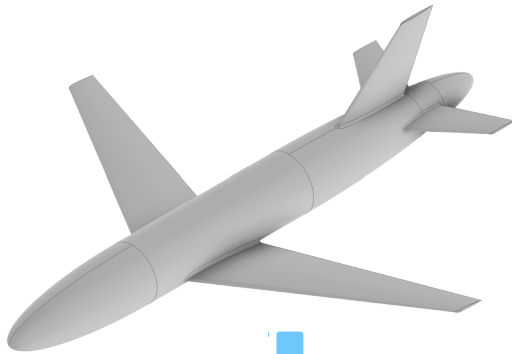
Coordenadas do perfil aerodinâmico do modelo paralelo ao plano de simetria

X	Y
1	0,00063
0,9	0,01259
0,8	0,02398
0,7	0,03347
0,6	0,04196
0,5	0,04716
(...)	



Materiais e Métodos

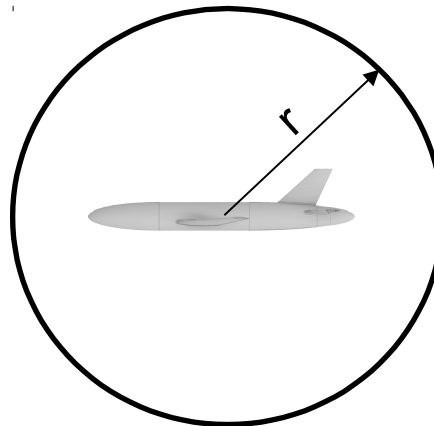
- Malha



Malha composta 12.845.569 elementos, dos quais:

- 10.692.284 elementos de primas;
- 2.013.588 elementos de tetraedros;
- 139,724 elementos de pirâmides.

Farfield/limite da análise:



$$r = 50 * CMA (310 \text{ mm})$$

Materiais e Métodos

- Análises

Análise 3D: *CFD++*

- *SST* • *LM*
- N° Mach: 0,16 e 0,28
- N° Reynolds: $0,9 \times 10^6$, $1,6 \times 10^6$ e $3,0 \times 10^6$
- Ângulo de ataque do modelo: 0° até 16°
- 1.500 iterações

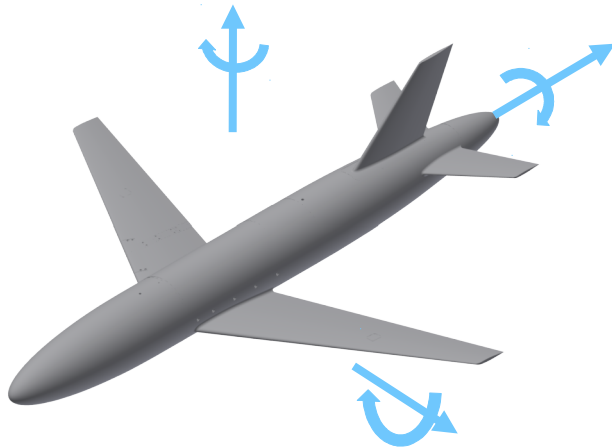
- Nota: Modelo LM com $Re = 3,0 \times 10^6$ com $\alpha = 0^\circ$ e 4°

Análise 2D: *Xfoil*

<i>Reynolds</i>	<i>Mach₀</i>	<i>Mach₁</i>	$\Delta\alpha$
$0,6 \times 10^6$	0	0,16	$0^\circ - 20^\circ$
$1,6 \times 10^6$	0	0,33	$0^\circ - 20^\circ$
$2,2 \times 10^6$	0	0,33	$0^\circ - 20^\circ$

Resultados

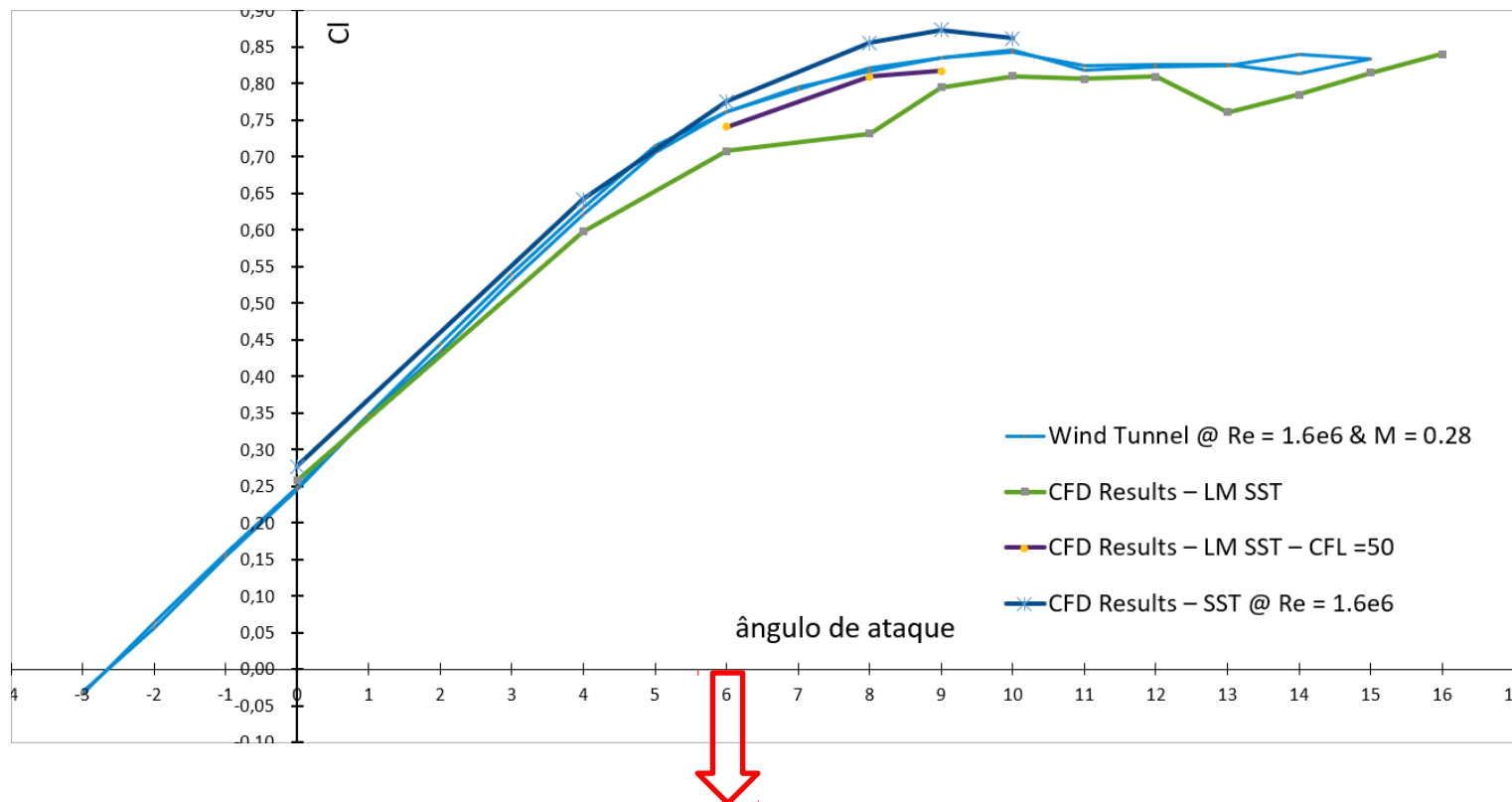
- Análise 3D: *CFD++*



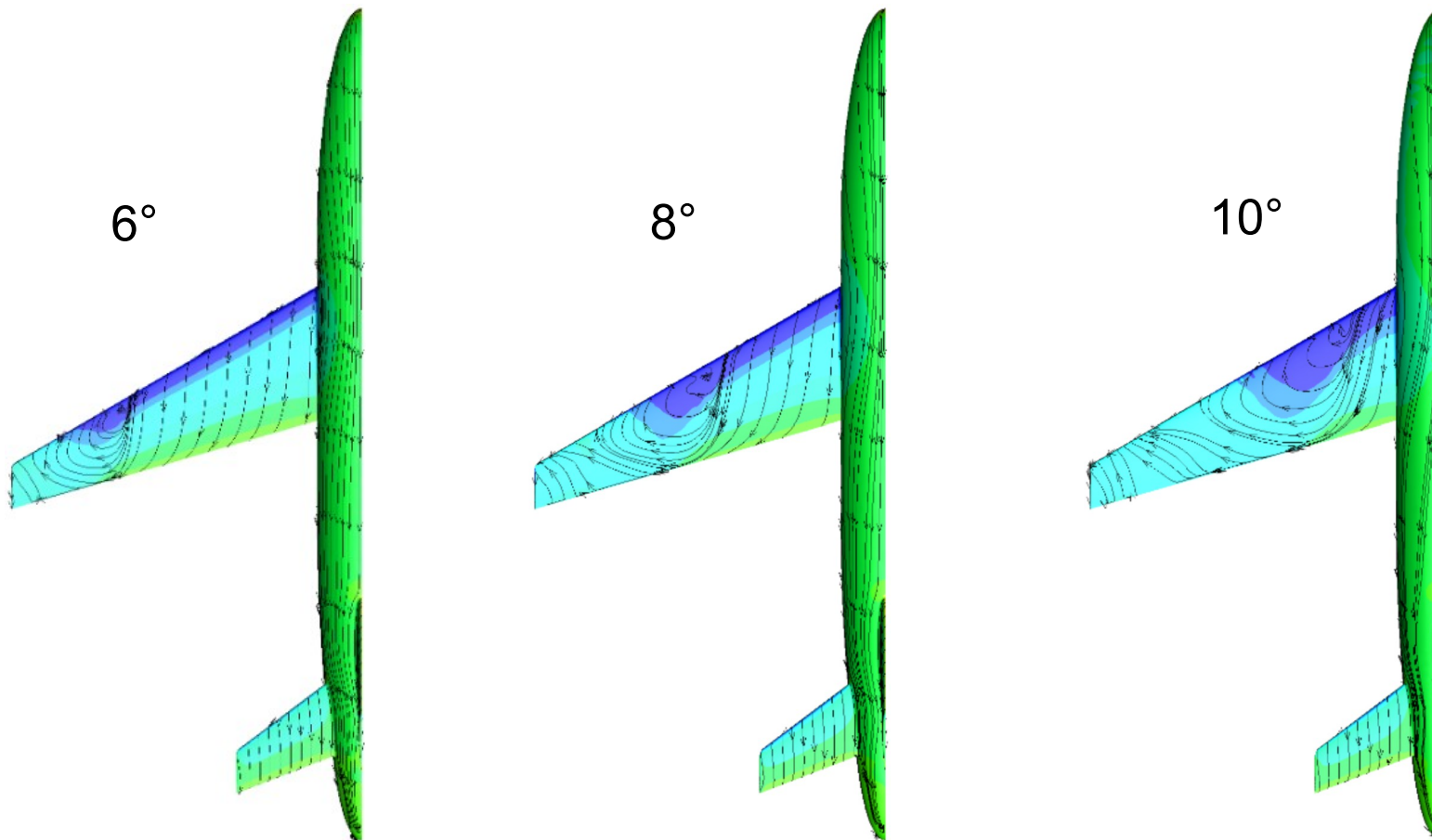
- Sustentação (F_z)
- Arrasto (F_x)
- Força lateral (F_y)
- Arfagem (M_y)
- Rolamento (M_x)
- Guinada (M_z)

Resultados

- Coeficiente de sustentação - C_l

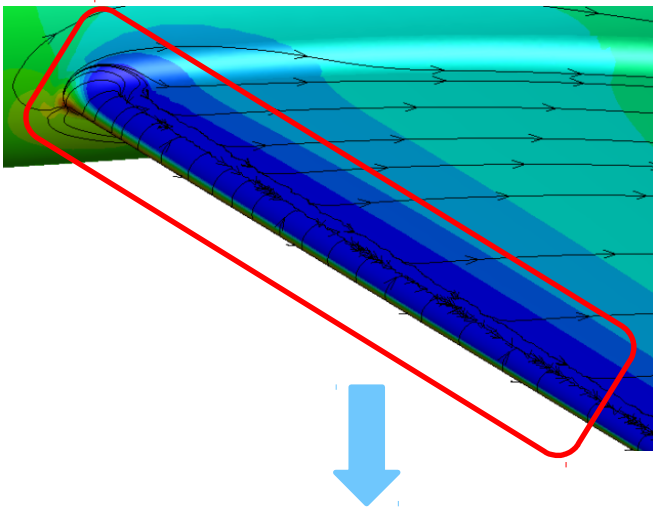


Resultados

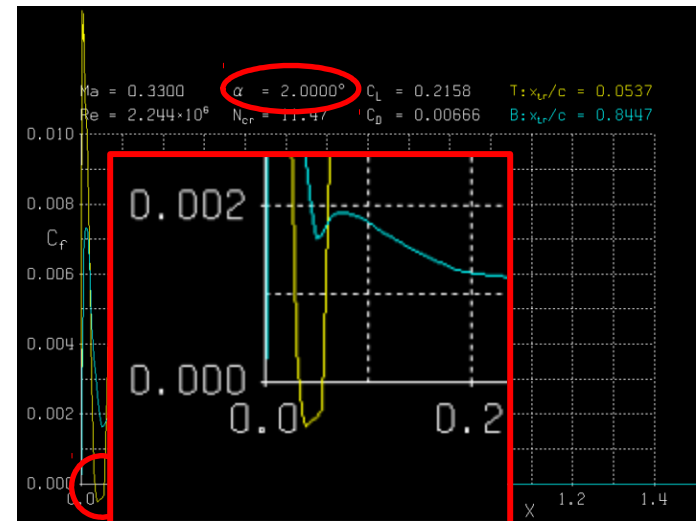


Resultados

- Faixa de transição



Análise 2D: *Xfoil*



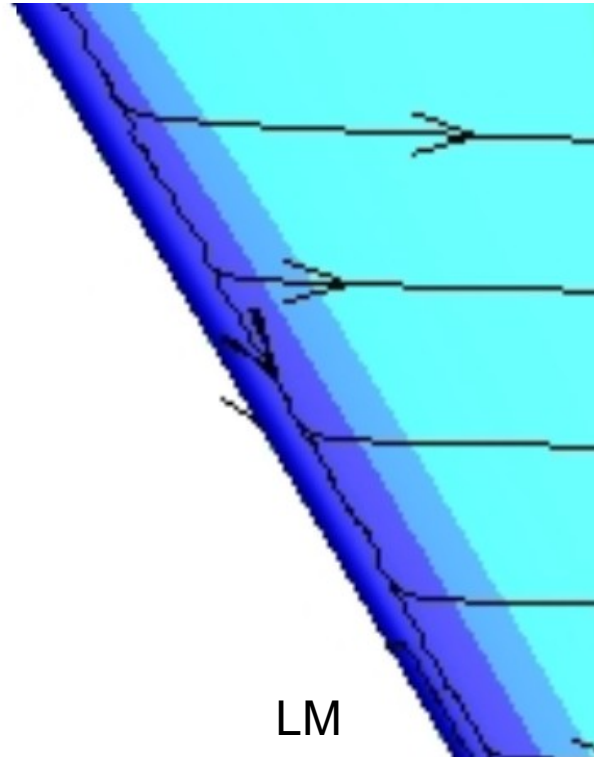
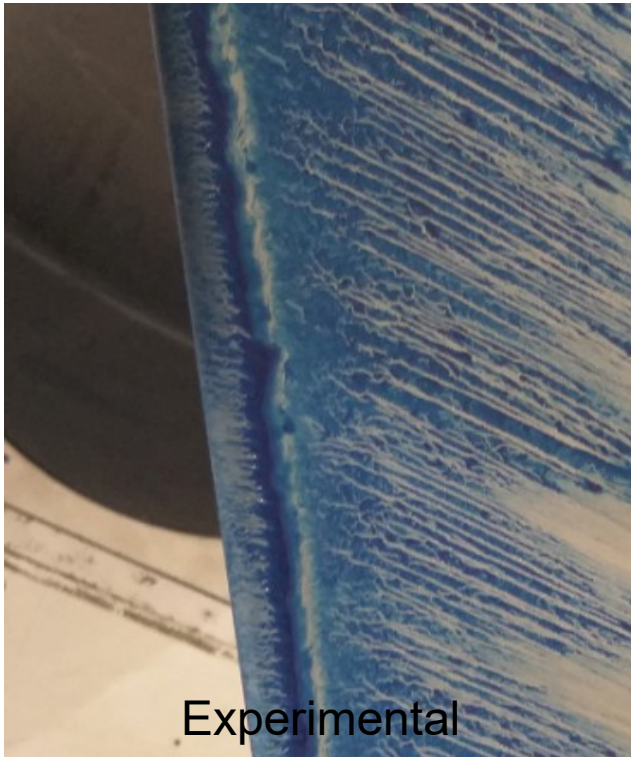
Região de menor pressão:
6% da corda

Bolha de separação laminar

Resultados

- Visualização

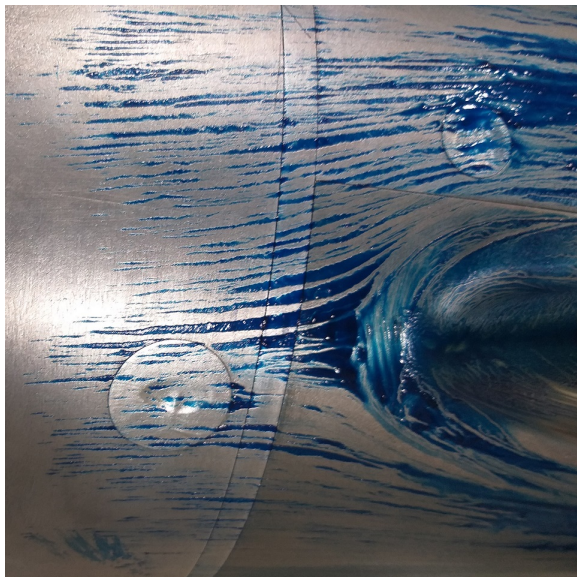
Faixa de transição



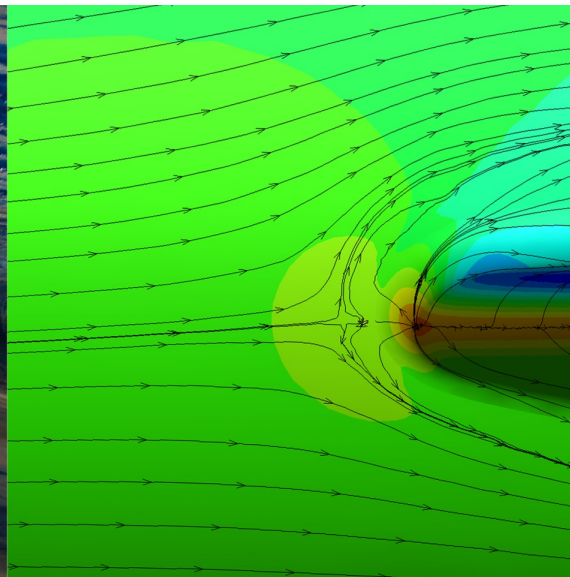
Resultados

- Visualização
Pontos de estagnação

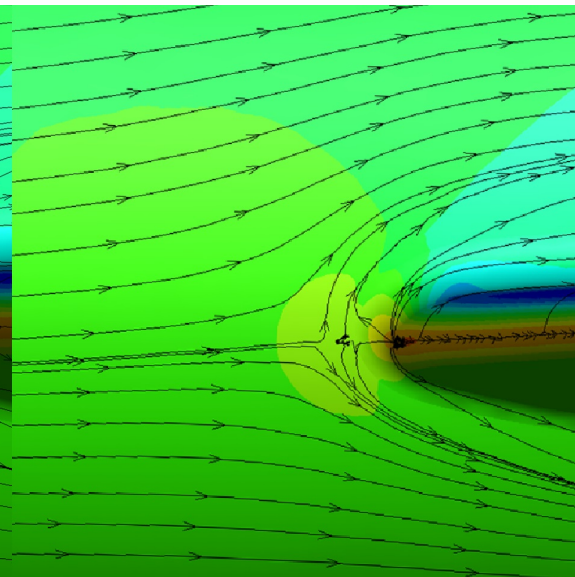
Experimental



LM



SST



Conclusões

- Conhecer com mais propriedade o Modelo Padrão;
- Aplicação das análises numéricas na preparação de ensaio em túnel de vento;
- Enriquecimento de conhecimentos sobre aerodinâmica, CFD e ensaios em túnel de vento.

Agradecimentos

- Dr. Ricardo Galdino da Silva, orientador
- Dra. Maria Luísa Colluci da Costa Reis, professor e Chefe da ACE-L, IAE
- Me. Amanda Poncio, amiga