

## Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Análise numérica de correções de bloqueio em escoamento confinado em túneis de vento subsônico

Bolsista: Alef Fernandes Silva

Orientador (a): Marcos da Silva e Souza

Período a que se refere o relatório: Agosto de 2017 a Julho de 2018

### Resumo

Análises computacionais de dinâmica tem sido usada amplamente no estudo de escoamento de fluidos, e tem grande aplicação na área aeronáutica. Este trabalho tem a finalidade de fazer uma análise e estudo de correlação entre os dados aerodinâmicos obtidos em túnel de vento e simulações, aplicado a uma aeronave e modelo, para obter as características de estol e coeficientes de sustentação, arrasto e arfagem do veículo. O modelo da análise foi uma meia maquete da aeronave Loong em fase de projeto e fabricação pela empresa *Advanced Composite Solutions Aviation* (ACS). Este trabalho apresenta a segunda parte do estudo de correlação, que se refere as análises computacionais. Os ensaios foram realizados a velocidade de 100 km/h e na velocidade de estol, 260 km/h, com levantamento das polares de arrasto, e visualização da distribuição de pressão sobre a modelo.

### 1. Introdução

A Dinâmica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics*) tem sido extensivamente usada na indústria aeronáutica para avaliar a performance aerodinâmica durante os estágios de projeto conceitual e projeto preliminar. Com os avanços recentes em CFD e capacidade dos computadores, é possível agora simular uma configuração da aeronave completa em um curto período o que causa um impacto significativo no ciclo do projeto, e ajuda os engenheiros e pesquisadores no entendimento do comportamento do fluido [1].

As simulações em CFD podem fornecer evidências objetivas de que o protótipo atende as especificações relativas à segurança, ao desempenho e à confiabilidade.

As vantagens das simulações em CFD em relação aos ensaios realizados em túnel de vento [2] incluem, em muitos casos, um preço e tempo menor devido à alta velocidade dos computadores

modernos, os resultados podem validados com testes em túnel de vento e aplicados para uma diversidade de fenômenos quantitativa e qualitativamente.

O CFD é uma ferramenta que auxilia a análise experimental ajudando a compreender os erros associados à escala, bloqueio e extrapolação do número de Re, obtido em ensaios em túneis [3]. As medidas aerodinâmicas obtidas a partir de um túnel de vento apresentam características exclusivas do túnel utilizado e equações semi-empíricas precisam ser levantadas por todo laboratório que utiliza resultados de túneis.

Os dados e características que serão obtidos do protótipo através das simulações computacionais são: coeficiente de sustentação, arrasto e momento, velocidade, ângulo e características de estol e polar de arrasto.

As diferenças entre os resultados brutos obtidos em medições em túneis de vento e análises computacionais e em ensaios em voo têm como fonte questões relacionadas à escala do modelo, influência das paredes do túnel, bloqueio do escoamento, distorções aeroelásticas do modelo, adaptações de instalação do modelo na seção de teste (tara, mastro, bases), fidelidade geométrica, transição turbulenta no modelo, entre outras. Esses efeitos são ainda alterados para diferentes parâmetros adimensionais, como o número de Reynolds, principal coeficiente do escoamento utilizado em ensaios aeronáuticos. O objetivo deste trabalho é realizar uma análise e estudo de correções de dados no túnel de vento subsônico da divisão de aerodinâmica do IAE/ALA.

A primeira fase deste trabalho foi a campanha de ensaios de uma meia-maquete da aeronave Loong com utilização de balança externa com variação do ângulo de ataque e velocidade, além de ensaios de visualização com aplicação de óleo. A segunda fase é a simulação no programa de BRU3D, para gerar resultados numéricos.

## **2. Materiais e métodos**

Os resultados obtidos são específicos do túnel aerodinâmico utilizado bem como para o modelo e metodologia aqui descritos.

### **2.1 Loong**

O Loong é uma aeronave experimental que foi desenvolvida pela ACS Aviation e terá como principais missões o uso recreativo, viagens curtas e voos de instrução. Sua configuração básica

é *bi-place*, asa baixa trapezoidal com enflechamento negativo no bordo de fuga e sem enflechamento no bordo de ataque, trem de pouso triciclo, empenagens convencionais e motor à pistão. A configuração geral da aeronave pode ser observada na Figura 1.

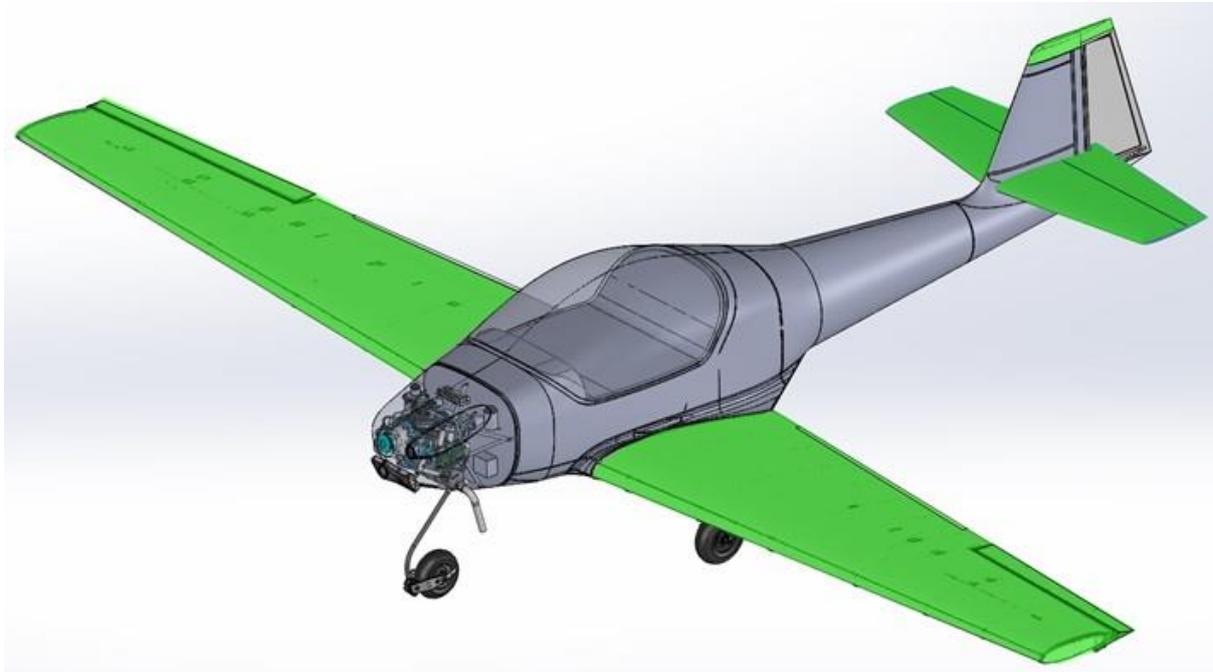


Figura 1 – Vista das configurações da aeronave Loong (ACS Aviation: 2017)

## 2.2 Descrição da maquete

O perfil da asa simulado é um perfil NACA 63(2)-215 modificado. A escala da maquete é 1:3, e a medida da envergadura é de 1,75 m (Figura 2).

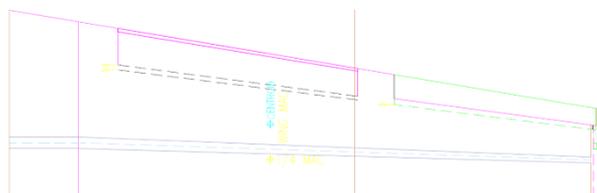


Figura 2 – Semi asa da aeronave Loong (Autor: 2017)

O perfil NACA 63(2)-215, mostrado na Figura 3a, foi projetado para toda seção ao longo da envergadura da asa. As características do perfil bidimensional foram obtidas através do programa computacional de código aberto XFOIL, simulado por unidade de comprimento, cujos resultados são apresentados na Figura 3b e 3c. Esses resultados numéricos ajudam a

entender as características gerais do perfil como a expectativa do ângulo de estol e coeficiente máximo de sustentação.

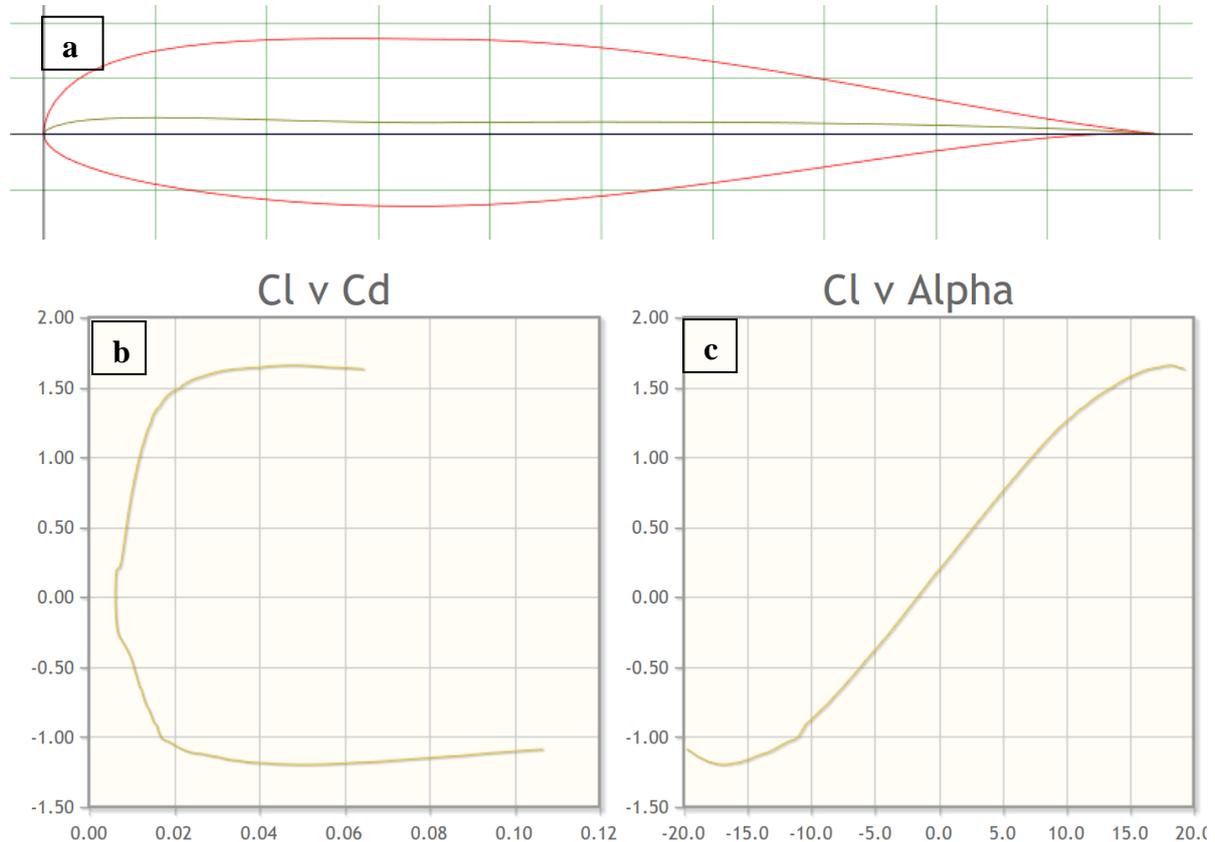


Figura 3 – a) Perfil NACA 63(2)-215, b) Polar de arrasto, c) Curva do coeficiente de sustentação em função de alfa (XFOIL: 2017)

### 2.3 BRU3D

O código BRU3D foi desenvolvido pelo grupo de mecânica dos fluidos computacional do IAE/ALA. Este código resolve numericamente as equações de Navier-Stokes com média de Favre, ou seja, a média é ponderada pela densidade do fluido. O processo de média de Favre é utilizado para escoamentos turbulentos compressíveis. O fechamento da turbulência é realizado por meio do modelo de turbulência de Spalart-Allmaras (SA) proposto por Spalart e Allmaras (1994).

### 2.4 Condições iniciais e de contorno

Para início da simulação em CFD é necessário definir as condições iniciais e de contorno. As condições iniciais são pressão atmosférica (101325 Pa), densidade (1,18 kg/m<sup>3</sup>), temperatura (298,15 K), velocidade (100 e 260 km/h) e variável do modelo de turbulência Spalart-Allmaras

( $5,513 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ). As condições de contorno utilizadas são paredes viscosas (aeronave e peniche – velocidade nula na parede), simetria e Farfield (escoamento não perturbado).

### 3. Resultados

Para a geração da malha foi utilizado o software ICEM. A Figura 4 apresenta a maquete mais o peniche (suporte sob a maquete) com a malha gerada.

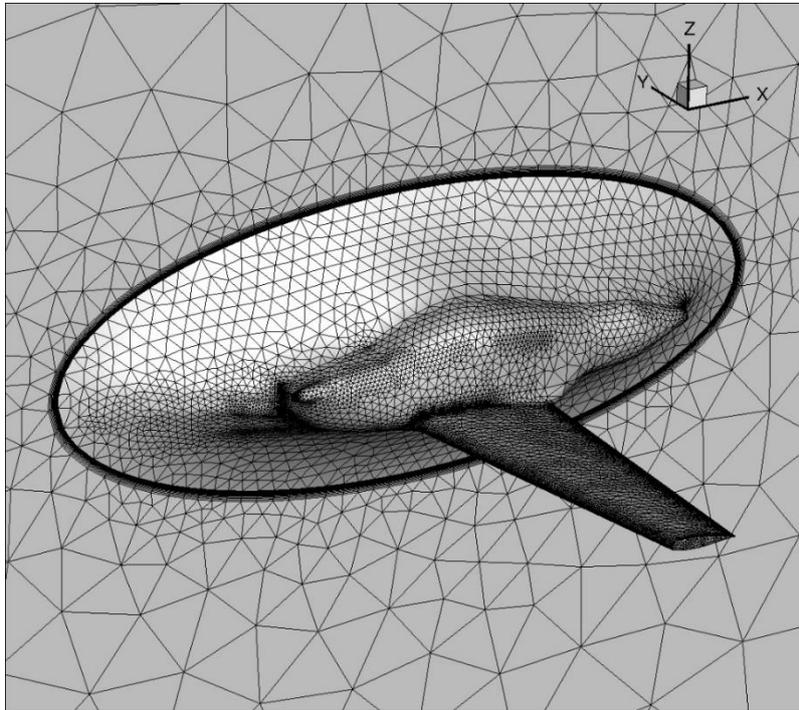


Figura 4 – Meia maquete mais peniche com a malha gerada (Autor: 2018)

A Figura 5 apresenta o gráfico de coeficiente de sustentação ( $C_L$ ) com o aumento do ângulo de ataque (AoA) para velocidades de 100 e 260 km/h com o peniche e sem o peniche. As simulações foram realizadas com e sem o peniche de forma a comparar a influência desse dispositivo.

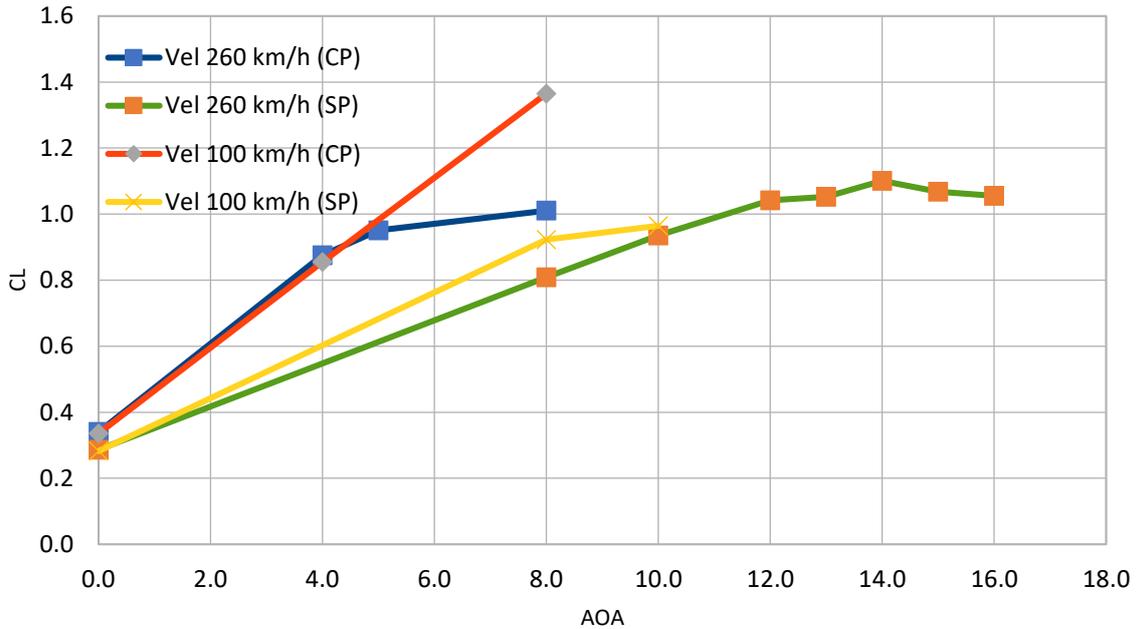


Figura 5 – Gráfico do coeficiente de sustentação com o aumento do ângulo de ataque (Autor: 2018)

A Figura 6 apresenta o gráfico de polar de arrasto que é coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) pelo coeficiente de sustentação ( $C_L$ ) para velocidades de 100 e 260 km/h com o peniche e sem o peniche.

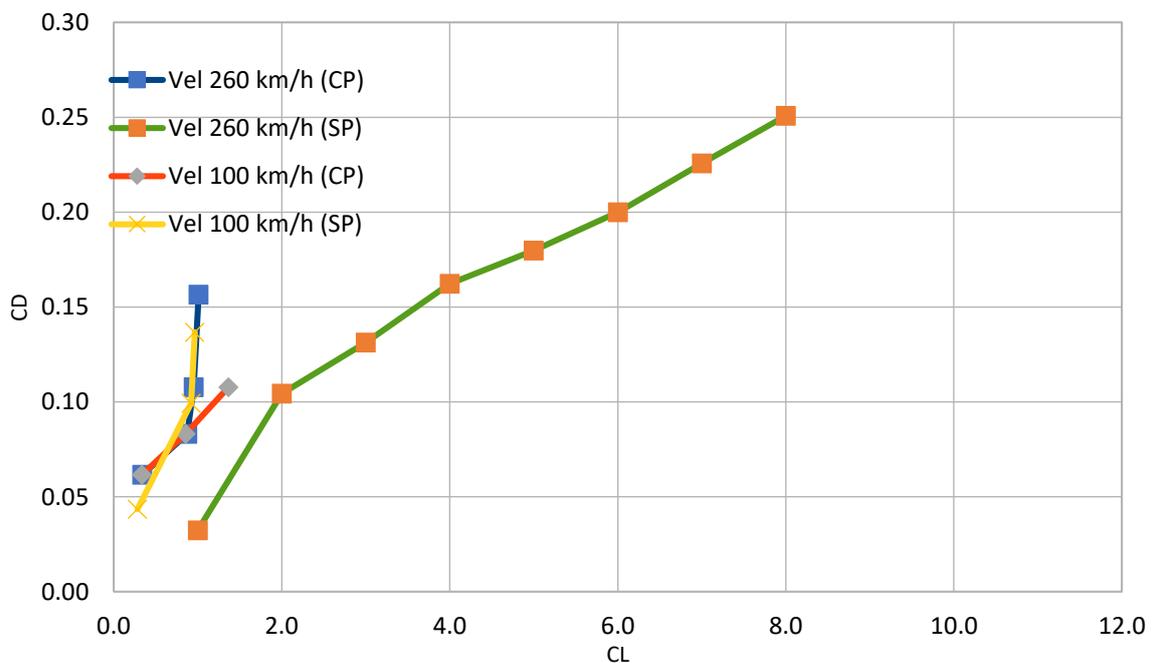


Figura 6 – Gráfico do coeficiente de arrasto pelo coeficiente de sustentação (Autor: 2018)

Com as simulações computacionais foi possível ainda observar a distribuição de pressão na fuselagem e asa do Loong. A Figura 7 apresenta a simulação à velocidade de 100 km/h para as duas configurações propostas: CP – com peniche e SP – sem peniche.

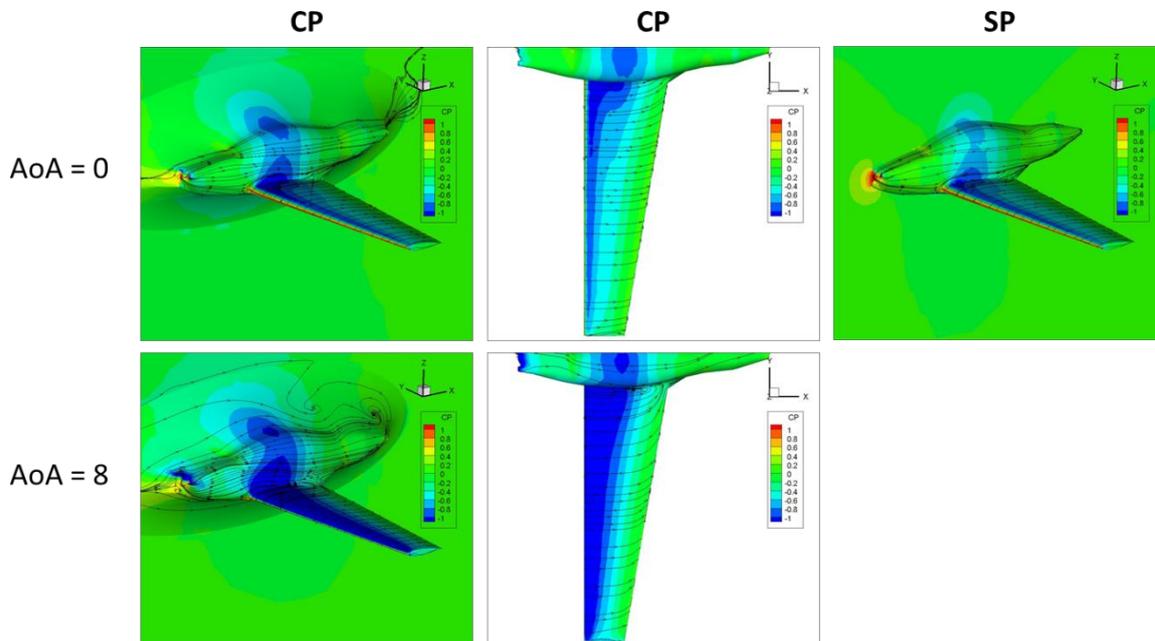


Figura 7 – Distribuição de pressão à velocidade de 100 km/h (Autor: 2018)

A Figura 8 apresenta a simulação à velocidade de 260 km/h para as duas configurações propostas.

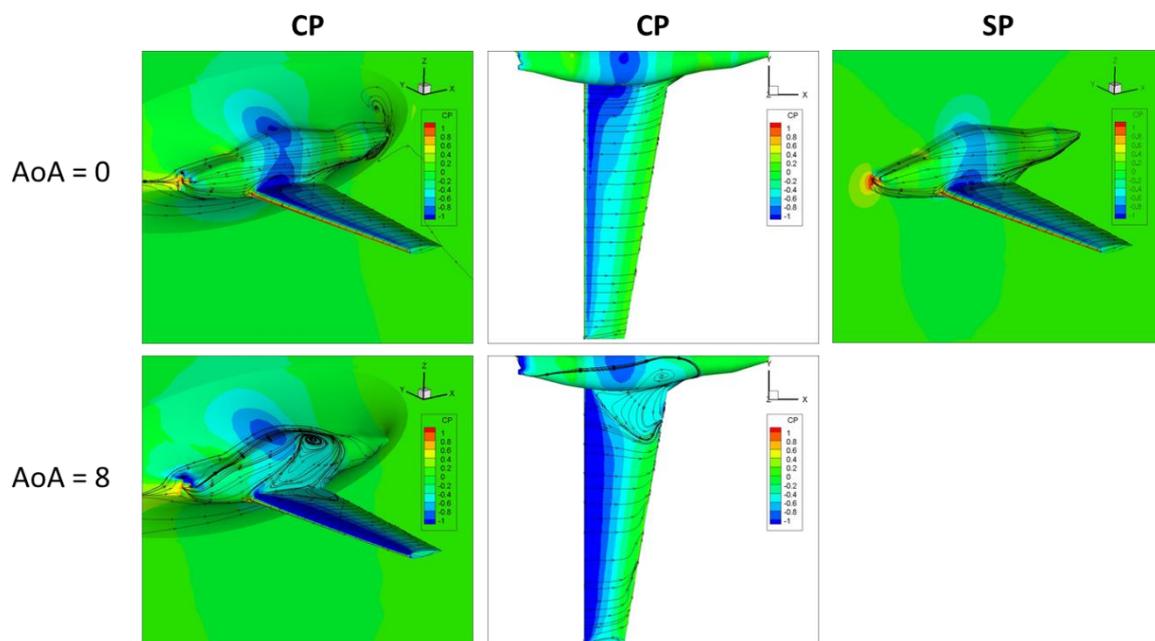


Figura 8 – Distribuição de pressão à velocidade de 260 km/h (Autor: 2018)

Os resultados das análises dos dados obtidos com as simulações e os dados obtidos nos ensaios em túnel de vento na região linear dos gráficos dos coeficientes de sustentação e arrasto são apresentados na Tabela 1 (ângulo de ataque a  $0^\circ$ ) e na Tabela 2 (ângulo de ataque a  $8^\circ$ ).

Dados	Experimental	Simulação	Dif
CL	0,175	0,340	0,165
CD	0,027	0,061	0,034

Tabela 1 – Comparação dos resultados experimentais e computacionais com ângulo de ataque a  $0^\circ$  (Autor: 2018)

Dados	Experimental	Simulação	Dif
CL	1,153	1,011	0,142
CD	0,057	0,156	0,099

Tabela 2 – Comparação dos resultados experimentais e computacionais com ângulo de ataque a  $8^\circ$  (Autor: 2018)

#### 4. Próximas Etapas

A próxima etapa deste projeto é finalizar a simulação para ângulos de ataque maiores que  $8^\circ$  e obter os dados em voo para comparação entre as três fontes de dados.

#### 5. Conclusões

- O escoamento, em parte laminar, ao longo do aerofólio nas velocidades testadas é modelado totalmente turbulento no numérico;
- A influência do peniche é significativa nos coeficientes de sustentação o que pode implicar em discrepâncias com os futuros resultados de ensaio em voo;
- O início do aparecimento da bolha de estol não caracteriza um estol completo, sendo a mesma confinada em uma região do bordo de fuga do extradorso da asa e permitindo que o coeficiente de sustentação continue crescendo com o aumento do ângulo de ataque;
- As relações de correção e bloqueio em túnel serão levantadas após resultados obtidos em ensaio em voo;



## 6. Divulgação dos Resultados

O resumo estendido deste trabalho foi submetido ao *31st ICAS – Congress of the International Council of the Aeronautical Science*, que ocorrerá em setembro de 2018.

## Referências

- [1] SOUZA, F. J. et al. *Engine airframe integration studies using the CFD++ Code*. Trabalho apresentado ao 18º Congresso Internacional de Engenharia Mecânica. Ouro Preto – MG, 2005.
- [2] SAHINI, D. **Wind Tunnel Blockage Corrections: A Computational Study**. New York: John Willey & Sons, 2004.
- [3] WILLIAM, C. L. *Computation of two-dimensional blocked flow normal to a flat plate. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. p. 493-513. 2001.*