

Análise de aerofólios de alta sustentação para aplicação em aeronave cargueira não tripulada da equipe araero aerodesign**Analysis of high-sustainable airlines for
Application in aircraft unraveled load of the araero aerodesign team**

DOI:10.34117/bjdv6n10-331

Recebimento dos originais: 13/09/2020

Aceitação para publicação: 15/10/2020

Jéssica Sales Pereira dos Santos

Mestranda em Engenharia Mecânica

Universidade de São Paulo – USP

Endereço: Av. Prof. Almeida Prado, 1280 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-070

E-mail: jessicasales@usp.br

João Pedro Avancini Dias

Graduado em Engenharia Mecânica

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, campus Aracruz

Endereço: Av. Morobá, 248 - Morobá, Aracruz - ES, 29192-733

E-mail: avancinidiasjp@gmail.com

Antonio Ricardo Grippa Satiro

Mestre em Energia

Instituto Federal do Espírito Santo – Ifes, campus Aracruz

Endereço: Av. Morobá, 248 - Morobá, Aracruz - ES, 29192-733

E-mail: antonio.satiro@ifes.edu.br

RESUMO

O presente trabalho desenvolveu uma metodologia de escolha de perfis de alta sustentação com base em perfis já existentes e amplamente utilizadas por equipes de aerodesign, de forma a ser aproveitada no progresso de projetos futuros da Equipe Araero Aerodesig do Ifes Campus Aracruz, além da criação de um perfil aerodinâmico de maior eficiência para a Equipe. Foram realizados cálculos estatísticos de informações fornecidas pela SAE Brasil das equipes participantes em torneios anteriores, de modo a estabelecer critérios mais apropriados ao projeto. Também se utilizaram os softwares XFLR5 para análise de coeficientes aerodinâmicos de momento, sustentação e arrasto dos perfis e o Microsoft Excel no auxílio de cálculos. Percebeu-se que a metodologia criada foi efetiva para a escolha e aplicação do perfil no projeto de 2019 da Equipe Araero no Torneio de Acesso por conceder uma estratégia criteriosa de definição dos aerofólios, além da diminuição considerável de tempo na designação dos demais parâmetros, sendo possível sua utilização em projetos futuros. O software XFLR5 se mostrou sensível aos dados fornecidos, permitindo uma melhor eficiência na análise além da fácil projeção gráfica de apresentação. Por fim, o perfil desenvolvido se apresenta como eficaz em projetos futuros da Equipe Araero e também abre oportunidades de pesquisas específicas na área de desenvolvimento de aerofólios.

Palavras-chave: aerodesign, perfis aerodinâmicos, sustentação, arrasto, XFLR5.

Brazilian Journal of Development

ABSTRACT

The present work developed a methodology to select high lift profiles based on existing profiles and widely used by other teams, in order to be used in the progress of future projects of the Araero Aerodesign Team of the Ifes Campus Aracruz, in addition to the creation of a aerodynamic profile of greater efficiency for the Team. Statistical calculations were performed on information provided by SAE Brasil from teams participating in previous tournaments, in order to set more appropriate criteria for the project. The XFLR5 software was also used to analyze the aerodynamic coefficients of the moment, lift and drag of the profiles, Microsoft Excel in the aid of calculations. It was noticed that the methodology created was effective for the choice and application of the profile in the 2019 Araero Team's project in the Access Tournament for granting a careful strategy for defining the airfoils, in addition to the considerable decrease of time in the designation of the other parameters, being possible use in future projects. The XFLR5 software proved to be sensitive to the data provided, allowing for better efficiency in the analysis in addition to the easy graphic presentation projection. Finally, the profile developed is shown to be effective in future projects by the Araero Team and also opens up opportunities for specific research in the area of airfoil development.

Keywords: aerodesign, aerodynamics profiles, lift, drag, XFLR5.

1 INTRODUÇÃO

A competição SAE Brasil Aerodesign foi criada no ano de 1999, com influências da SAE International, sociedade que organiza a competição SAE Aerodesign nos Estados Unidos desde 1986. (SAE, 2019).

O evento realizado pela SAE Brasil Aerodesign possui três diferentes classes de competição, Regular, Micro e Advanced, além do Torneio de Acesso que funciona como uma etapa preliminar para a competição principal. (SAE, 2019)

Segundo Rodrigues (2014), projetos com o propósito de participarem desta competição devem utilizar perfis aerodinâmicos que possuam um alto coeficiente de sustentação com coeficientes de arrasto e momento pequenos, tendo assim uma alta eficiência.

Portanto, este trabalho tem por objetivo criar uma metodologia de seleção de perfis aerodinâmicos de alta sustentação para utilização no Torneio de Acesso e Competição desenvolvida pela SAE Brasil Aerodesing, além de desenvolver, com o auxílio do software XFLR5, um perfil aerodinâmico de maior eficiência em relação aos perfis já existentes na base de dados utilizada neste projeto.

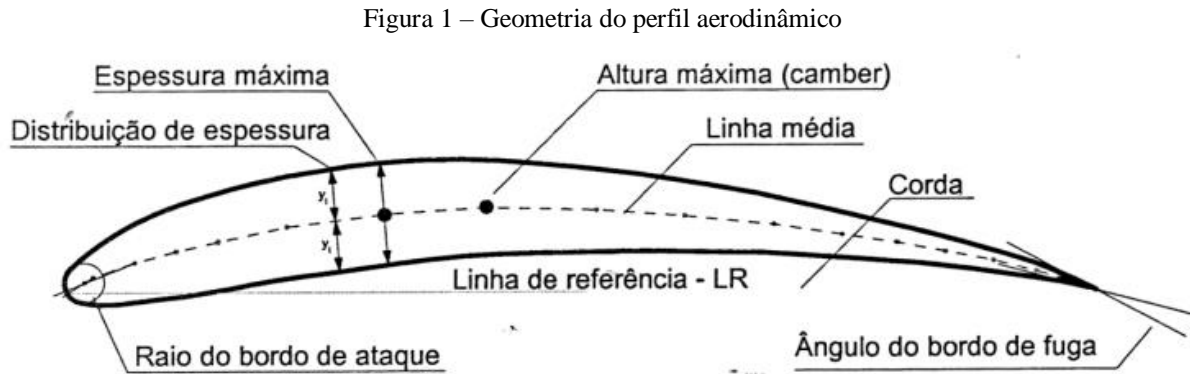
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PERFIL AERODINÂMICO

O perfil aerodinâmico de um avião é descrito como a seção transversal das asas que o compõe, possuindo algumas importantes características geométricas. Segundo Rosa (2006), a geometria do

Brazilian Journal of Development

perfil pode ser definida por determinados parâmetros, como a corda, linha média, raio do bordo de ataque, ângulo do bordo de fuga, entre outros, como pode ser visto na Figura 1.



Os perfis de alta sustentação são reconhecidos por possuírem uma linha média com grande curvatura e o ponto de altura máxima (camber) deslocado para frente, gerando um momento. (ROSA, 2006).

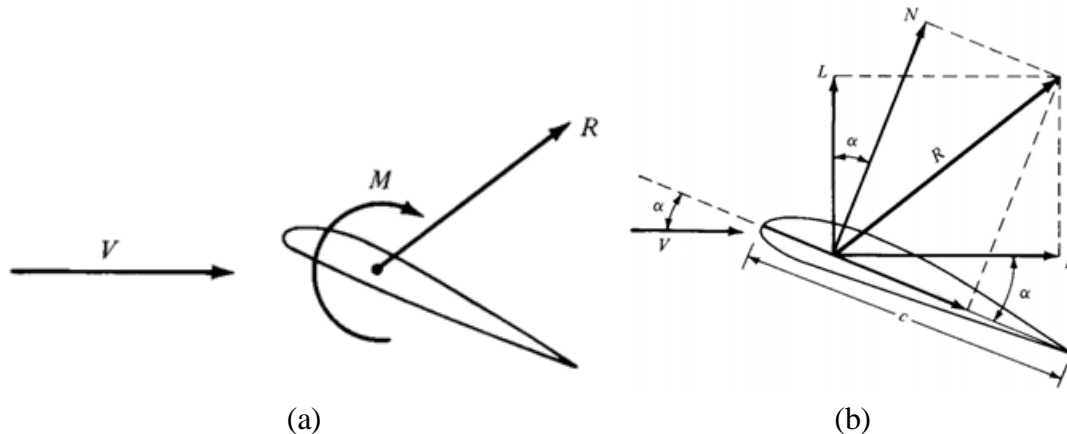
2.2 ÂNGULO DE ATAQUE

O ângulo agudo (α) formado entre a linha da corda do perfil e a direção do vento relativo ao escoamento é chamado de ângulo de ataque. Este parâmetro influi diretamente na capacidade de sustentação de um determinado perfil. De forma geral, o aumento do ângulo de ataque produz aumento na força de sustentação até o ponto de estol. (SAMPAIO, 2006). A força de sustentação, que representa uma das forças aerodinâmicas, ocorre simultaneamente a uma força paralela ao escoamento que dificulta o movimento no sentido contrário a ele, chamada de força de arrasto.

2.3 FORÇAS AERODINÂMICAS

As modificações nas propriedades do aerofólio são espelhadas para a asa finita. Essa análise é fundamentada no estudo das forças e momentos que atuam sobre o aerofólio e são originadas por dois fatores: distribuição de tensão de cisalhamento e força pressão. (NETTO; CAMACHO; SOUZA, 2019). Tais forças agem sobre a superfície do corpo de forma a gerar um momento M e uma força resultante R . A força aerodinâmica R pode ser decomposta em uma força perpendicular ao escoamento de velocidade V , chamada de Força de Sustentação (L) e uma força paralela ao escoamento, chamada de Força de Arrasto (D), como pode ser visto na Figura 2. (VISCONTI, 2016).

Figura 2 – (a) Força Resultante R e Momento M . (b) Decomposição da Força R em L e D



Fonte: Anderson Jr (2010)

Rodrigues (2014) afirma que o momento e as forças de sustentação e arrasto que atuam sobre as asas durante o voo podem ser calculados por meio das Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$M = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_M \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_L \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot c \cdot C_D \quad (3)$$

sendo ρ a densidade do ar (por ser este o fluido do escoamento em voo), V a velocidade do escoamento, S a área alar, c a corda do perfil e C_M , C_L e C_D os coeficientes aerodinâmicos, que serão apresentados na próxima seção.

Os coeficientes aerodinâmicos mostram-se de grande importância na aeronáutica, uma vez que tornam possível a comparação entre perfis ou entre asas de dimensões variadas, tendo por base parâmetros adimensionais.

2.4 COEFICIENTES AERODINÂMICOS

As características aerodinâmicas de um perfil são atribuídas por três coeficientes adimensionais, o de sustentação (C_l), o de arrasto (C_d) e o de momento (C_m) que é relacionado ao centro aerodinâmico do perfil. (ROSA, 2006). O coeficiente de sustentação configura a eficiência do perfil em produzir a força de sustentação. Este coeficiente é obtido em função do modelo do perfil,

Brazilian Journal of Development

Número de Reynolds e também pelo ângulo de ataque. (RIBEIRO, 2011). De forma similar, o coeficiente de arrasto representa a capacidade do perfil em gerar a força de arrasto. Dessa forma, valores menores devem ser desejados para que o perfil seja apontado como aerodinamicamente eficiente. (RODRIGUES, 2014).

3 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

3.1 XFLR

Segundo Clark (2013, apud DANTAS, 2014), o software XFLR5 foi desenvolvido tendo como base o XFOIL, criado por Mark Drela, professor do Massachusetts Institute Technology (MIT), no ano de 1998, facilitando as análises de estudantes de engenharia aeronáutica em projetos de pequeno e até médio porte oferecendo uma interface gráfica bastante intuitiva.

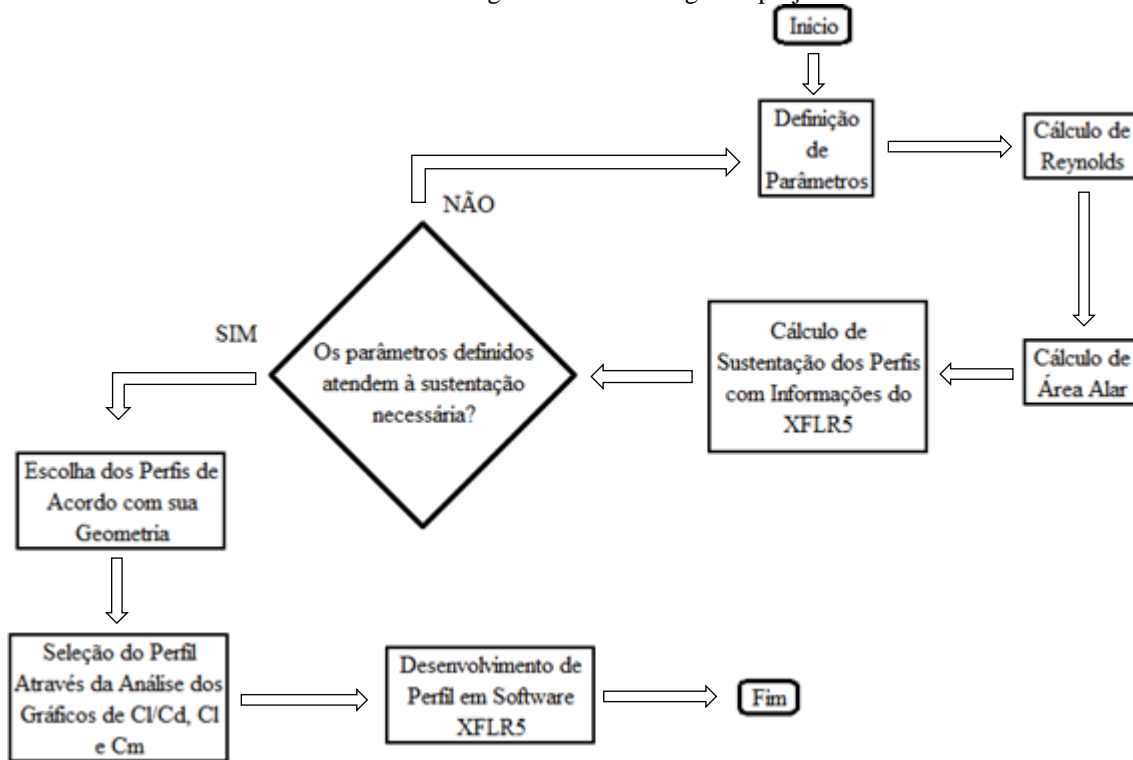
Dantas (2014) acrescenta que o XFLR5, proporciona uma vasta e refinada análise dos efeitos que ocorrem em um escoamento sobre um corpo imerso em um fluido, permitindo uma boa aproximação dos parâmetros necessários aos projetos de perfis, baseado em métodos numéricos tais como teoria da linha sustentadora, método da malha de vórtices (VLM) e método dos painéis tridimensional.

Pontanto, neste trabalho será utilizado o software XFLR5 para obtenção e análise dos gráficos de coeficiente de sustentação ($C_l \times \alpha$), coeficiente de momento ($C_m \times \alpha$) eficiência ($C_l/C_d \times \alpha$).

4 METODOLOGIA

Para o melhor entendimento do desenvolvimento deste trabalho, a metodologia desenvolvida pode ser visualizada por meio do fluxograma descrito na Figura 3.

Figura 3 – Metodologia do projeto



Fonte: Autores (2019)

4.1 ANÁLISE E SELEÇÃO DE PERFIS DE ALTA SUSTENTAÇÃO

4.1.1 Definição de Parâmetros

A escolha dos parâmetros leva em consideração, de maneira geral, a obtenção de pontos no Torneio de Acesso, os conceitos teóricos de aeronáutica, complexidade de fabricação dos aerofólios e asas, bem como o deslocamento dos mesmos até à pista de voo.

4.1.1.1 Viscosidade Cinemática do Ar

Para o cálculo do número de Reynolds é necessário estabelecer a viscosidade cinemática do ar em conformidade com as condições atmosféricas do local de voo, sendo tal parâmetro definido pela pressão e temperatura. Para estabelecer a pressão e temperatura, utiliza-se como estimativa, a altitude e temperatura média anual da cidade em que ocorrerá o teste de voo, por meio de dados oficiais de institutos governamentais. Portanto, tendo estes parâmetros definidos, a viscosidade cinemática será obtida utilizando-se a ferramenta de cálculo do site The Engineering ToolBox.

Brazilian Journal of Development

4.1.1.2 Velocidade do Escoamento

A velocidade do escoamento será definida de maneira teórica de acordo com Rosa (2006) como sendo de 15m/s, que estima a velocidade de voo em projetos de aerodesign da ordem de 15 a 20m/s.

4.1.1.3 Carga Paga e Peso Vazio

Como meio de identificar a pontuação suficiente para a classificação da equipe Araero dentro do 1º Grupo de Inscrição para a Competição do ano posterior, será realizada uma análise estatística dos resultados obtidos por outras equipes nos Torneios de Acesso dos anos anteriores, nos quais os objetos de estudo (informações sobre as equipes classificadas no 1º Grupo de Inscrição) serão coletadas como parâmetro para cálculo da média aritmética (μ_{ano}), desvio padrão (σ_{ano}) e coeficiente de variação (CV_{ano}) das pontuações de voo (onde *ano* representa a informação do respectivo ano do Torneio de Acesso), para análise da viabilidade das médias como parâmetro de projeto para a Equipe Araero Aerodesign. As principais informações a serem analisadas serão:

- Carga Paga (CP) - carga transportada pela aeronave, em quilogramas;
- Peso Vazio da Aeronave (PV), em quilogramas;
- Eficiência da Aeronave (EE);
- Pontuação de Voo (P_{Voo});
- Pontuação Geral.

Utiliza-se tais valores como parâmetros para definição da eficiência mais adequada ao projeto, estipulando-se o peso vazio da aeronave e da carga paga transportada, levando-se em consideração a carga paga mínima exigida pelo regulamento.

A pontuação total de classificação consiste na soma da Pontuação de Voo (P_{Voo}) e da Pontuação de Projeto (P_P), sendo a Pontuação de Voo a mais significativa na Pontuação Geral. Desta forma, de acordo com o Regulamento, as equações para cálculo da Pontuação de Voo e da eficiência, são descritas pelas Equações x e x, respectivamente.

$$P_{Voo} = 15 \times EE + CP \quad (20)$$

$$EE = \frac{CP}{PV} \quad (21)$$

Brazilian Journal of Development

4.1.1.4 Envergadura e Corda

Tendo estipulado os valores de carga paga, peso vazio e velocidade do escoamento, a próxima etapa consiste em estabelecer os valores de envergadura e corda de modo a produzir uma área alar que promova uma sustentação igual ou ligeiramente superior ao Peso Máximo de Decolagem – comumente expresso na aviação como a abreviação MTOW, do inglês Maximum Take-Off Weight – designado. Para isto, será utilizado o menor Reynolds possível dentro da faixa descrita por Rodrigues (2014), para se possa estipular a menor corda possível, de forma a se elevar gradativamente a área alar aumentando-se apenas a envergadura, considerando-se a construção de uma asa retangular. Definindo-se a corda, em metros, com precisão de duas casas decimais, recalcula-se o Reynolds para encontrar seu valor correto e, logo após, estabelece-se a envergadura por meio de duas condições fundamentais, sendo o primeiro, o requisito de alongamento de asa $AR > 4$, calculado pela Equação x para uma asa de geometria retangular (onde b é a envergadura da asa e c é a corda do perfil), e o segundo, o tamanho máximo da envergadura.

$$AR = \frac{b}{c} \quad (12)$$

4.1.2 Cálculo de Reynolds

Para o cálculo de Reynolds será utilizada a Equação x, levando-se em consideração a velocidade do escoamento V , a viscosidade cinemática ν e a corda c definidas nas seções anteriores.

$$Re = \frac{Vc}{\nu} \quad (12)$$

4.1.3 Cálculo de Área Alar

Considerando-se a escolha do projeto de uma asa retangular, o cálculo da área alar para este tipo de geometria será realizado por meio da Equação x, conforme Filho e Júnior (2019).

$$S = b \cdot c \quad (14)$$

4.1.4 Cálculo de Sustentação dos Perfis com Informações do XFLR5

As análises dos perfis de interesse para este trabalho serão iniciadas utilizando-se o software gratuito XFLR5 versão 6.41, para obtenção dos coeficientes de sustentação, arrasto e momento

Brazilian Journal of Development

gerados de acordo com o Número de Reynolds estabelecido pela velocidade do escoamento, viscosidade cinemática do ar a uma determinada temperatura e pressão, e pela corda do perfil.

Será realizada a análise dos perfis de alta sustentação, expostos na Tabela 1, presentes na base de dados do site do Departamento de Engenharia Aeroespacial da Universidade de Illinois, para seleção do perfil mais adequado ao projeto.

Tabela 1 – Aerofólios de Alta Sustentação a serem analisados

Aerofólio	Código
Chen	CHEN
Chuch Hollinger CH 10-48-13	CH10SM
Eppler E420	E420
Eppler E421	E421
Eppler E422	E422
Eppler E423	E423
Wortmann FX 74-CL5-140	FX74CL5140
Modified Wortmann FX 74-CL5-140	FX74MODSM
Kennedy and Marsden	KENMAR
Liebeck	L1003
Liebeck	LA5055
Douglas/Liebeck LA203A	LA203A
Douglas/Liebeck LNV109A	LNV109A
Selig S1210	S1210
Selig S1223	S1223
Strand	STRAND
University of Illinois UI-1720	UI1720

Fonte: https://m-selig.ae.illinois.edu/ads/coord_database.html












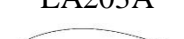

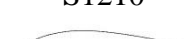
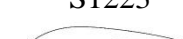

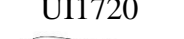
Brazilian Journal of Development

Será utilizando o software Microsoft Excel, de modo a facilitar e tornar mais rápidas as análises utilizando sua ferramenta de fórmulas, calculando-se o momento e as forças de sustentação e arrasto geradas pelas asas por meio das Equações 1, 2 e 3, utilizando os coeficientes de sustentação, arrasto e momento obtida pelos gráficos das análises do XFLR5. Portanto, nesta etapa, serão eliminados os perfis que não atenderem, por meio da área alar estipulada, a sustentação necessária para o MTOW definido.

4.1.5 Escolha dos Perfis de Acordo com sua Geometria

A próxima etapa de análise está relacionada à geometria dos perfis (Figura 4), de forma a se observar as condições de fabricação de acordo com o material e ferramentas disponíveis para corte.

Figura 4 – Geometria dos Aerofólios de Alta Sustentação Analisados

CHEN 	CH10SM 	E420 	E421 	E422 
E423 	FX74CL514 	FX74MODSM 	KENMAR 	L1003 
LA5055 	LA203A 	LNV109A 	S1210 	S1223 
STRAND 	UI1720 			

Fonte: Autores (2019)

Dentre os perfis restantes da Seção 4.1.4, eliminam-se aqueles que possuem uma geometria de difícil fabricação, que comumente se caracteriza pelo extremo afilamento do bordo de fuga.

4.1.6 Seleção do Perfil por meio da Análise dos Gráficos de Cl/Cd , Cl e Cm

Como forma de estabelecer o perfil mais adequados ao projeto dentre os restantes até o presente momento, se utilizará a metodologia apresentada em Souza et al. (2016), retratando uma tabela de pesos, sendo respectivamente 3, 2 e 1 para análise dos gráficos de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$), sustentação ($Cd \times \alpha$) e momento ($Cm \times \alpha$), obtidos no software XFLR5, e estabelecendo pontuações mais altas para gráficos com altos valores de eficiência e sustentação e também aos de menores valores de momento.

Brazilian Journal of Development

4.2 DESENVOLVIMENTO DE PERFIL EM SOFTWARE XFLR5

4.2.1 Desenvolvimento do Aerofólio com Maior Eficiência

Será realizada a análise no software XFLR5 com os aerofólios que atenderam às condições pré-determinadas na Seção 4.1.1.5, com o intuito de selecionar os que possuem maiores curvas de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$). O desenvolvimento de novos perfis será executado com o auxílio da função Interpolate Foils do software XFLR5, que permitirá interpolar dois perfis aerodinâmicos, determinando a porcentagem que cada um dos perfis contribuirá para o perfil gerado. Neste trabalho, realizar-se-á interpolações de perfis em pares, variando de 10 em 10% a influência de cada um sobre o novo aerofólio. Após feitas as interpolações, serão analisados os novos perfis desenvolvidos a fim de comparar seus parâmetros com o perfil aerodinâmico previamente selecionado.

4.2.2 Seleção dos Perfis por meio da Análise dos Gráficos de Cl/Cd , Cl e Cm

Utilizando novamente a metodologia descrita por Souza et al. (2016), será produzida uma tabela de pesos para analisar os gráficos de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$), sustentação ($Cd \times \alpha$) e momento ($Cm \times \alpha$), que serão obtidos utilizando o software XFLR5.

4.2.3 Análise da Força de Sustentação em Asas

Nesta etapa, serão analisadas as forças de sustentação referente a asas com o perfil selecionado e o perfil desenvolvido.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 APRESENTAÇÃO DAS ANÁLISES E DOS PERFIS SELECIONADOS

5.1.1 Parâmetros Utilizados

Os primeiros parâmetros analisados estão relacionados às condições impostas no Regulamento de Torneio de Acesso à Competição SAE Brasil Aerodesing 2020 que nos limita a uma envergadura máxima de 2,4m; limite de decolagem livre; transporte de carga paga de no mínimo 5kg e peso máximo (carga paga mais peso vazio) de 20kg.

5.1.1.1 Cálculo da viscosidade cinemática do ar

Sendo o local de voo da aeronave no Torneio de Acesso situado na cidade de Aracruz, no estado do Espírito Santo onde, de acordo com Incaper (2011), tal cidade apresenta-se à apenas 50m acima do nível do mar, utilizou-se, por simplificação, a altitude ao nível do mar e, conseqüentemente sua pressão atmosférica de 1atm. Com relação à temperatura, levou-se em consideração a temperatura

Brazilian Journal of Development

média anual da cidade de Aracruz que, também segundo Incaper (2011), é de aproximadamente 28°C. Logo, a viscosidade cinemática, de acordo com *The Engineering ToolBox* será aproximadamente $15,8 \times 10^{-6} m^2/s$.

5.1.1.2 Carga paga e peso vazio estipulados

A análise estatística dos anos de 2017 e 2018 forneceu as seguintes informações da Pontuação de Voo nos respectivos anos:

$$\mu_{2017} = 36,959 \text{ pontos} \text{ e } \sigma_{2017} = 7,579 \text{ pontos} \Rightarrow CV_{2017} = 20,507\%$$

$$\mu_{2018} = 40,87 \text{ pontos} \text{ e } \sigma_{2018} = 14,439 \text{ pontos} \Rightarrow CV_{2018} = 35,33\%$$

Por meio dos coeficientes de variação obtidos, podemos observar que a média de pontuação de voo para o ano de 2017 apresenta-se como boa estimativa de pontuação para o projeto vigente da Equipe Araero. Entretanto, no ano de 2018 percebe-se uma elevação de, aproximadamente, 72% no coeficiente de variação em relação ano anterior em decorrência do aumento do número de equipes classificadas no 1º Grupo de Inscrição, o que proporciona indícios de maiores cuidados no uso de tal parâmetro como base para o projeto da Equipe, devendo-se levar em consideração que houveram equipes com pontuações muito destoantes.

Desta forma, analisou-se o cálculo do MTOW para variadas possibilidades de PV e CP, de forma a se obter uma pontuação condizente com as médias calculadas, dentro das especificações do Regulamento de Torneio de Acesso, chegando-se nos valores ótimos como pode ser visto a seguir:
 $MTOW: 98,1N \Rightarrow \text{Massa de } 10kg \Rightarrow 7kg \text{ de CP} \text{ e } 3kg \text{ de PV} \Rightarrow P_{VOO} \cong 42 \text{ pontos}$

5.1.1.3 Envergadura e corda estipuladas

Utilizando-se dos parâmetros discutidos na Seção 5.1.1.2, chegou-se no valor inicial estimado de envergadura $b = 1,8m$ e corda $c = 0,32m$, atendendo ao requisito de $AR = 5,625 > 4$, obtido pela Equação x.

5.1.2 Reynolds Calculado

O valor de Reynolds calculado pela Equação x foi de 300375,5, caracterizado como laminar segundo Rodrigues (2014).

Brazilian Journal of Development

5.1.3 Área Alar Calculada

Utilizando os valores de envergadura e corda estipulados, o valor da área alar calculada por meio da Equação 14, foi igual a $0,576m^2$.

5.1.4 Perfis Selecionados pelo Cálculo de Sustentação

Empregando o software XFLR5, obteve-se, para cada um dos perfis da Tabela 1, os gráficos de coeficientes de momento, arrasto, sustentação e eficiência de acordo com o Reynolds estipulado. Por meio dos gráficos foi possível transportar os pontos necessários para o software Microsoft Excel de forma a se calcular os valores de momento, força de sustentação e arrasto, além da velocidade de estol.

Após as primeiras análises, observou-se que alguns aerofólios apresentaram valor aproximado ao MTOW estipulado pela equipe, o que tornou interessante a investigação de novas análises dos perfis com essa característica, aumentando sua área alar por meio do alongamento da envergadura e/ou da corda, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de Análise dos Aerofólios de Alta Sustentação

	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5
Aerofólio	$b = 1,8m$ e $c = 0,32m$	$b = 1,9m$ e $c = 0,32m$	$b = 1,9m$ e $c = 0,33m$	$b = 1,9m$ e $c = 0,34m$	$b = 1,9m$ e $c = 0,35m$
CHEN	Não Atende				
CH10SM	Atende				
E420	Aproximado	Aproximado	Atende		
E421	Atende				
E422	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Atende
E423	Atende				
FX74CL5140	Aproximado	Não Atende			
FX74MODSM	Aproximado	Aproximado	Aproximado	Atende	
KENMAR	Análise não converge				

Brazilian Journal of Development

L1003	Atende	
LA5055	Não Atende	
LA203A	Análise não converge	
LNV109A	Não Atende	
S1210	Aproximado	Atende
S1223	Aproximado	Atende
STRAND	Análise não converge	
UI1720	Não Atende	

Fonte: Autores (2010)

A Tabela 2 estabelece, além dos aerofólios que se aproximam do valor esperado de MTOW, aqueles que conseguem atender ao requisito, os que não atendem e os que não convergem para nenhum valor dentro da faixa de ângulos de ataque conforme os demais. Os que atendem, atingem de maneira satisfatória o MTOW. Os perfis que não atendem possuem a característica de apresentar uma força de sustentação muito inferior ao esperado o que, conseqüentemente, tenderia a aumentar significativamente as dimensões das asas de forma a obter a área alar suficiente para atender ao requisito, ultrapassando as dimensões estipuladas. Já os perfis que não convergiram nas análises foram eliminados na Análise 1.

5.1.5 Perfis Selecionados Pela Geometria

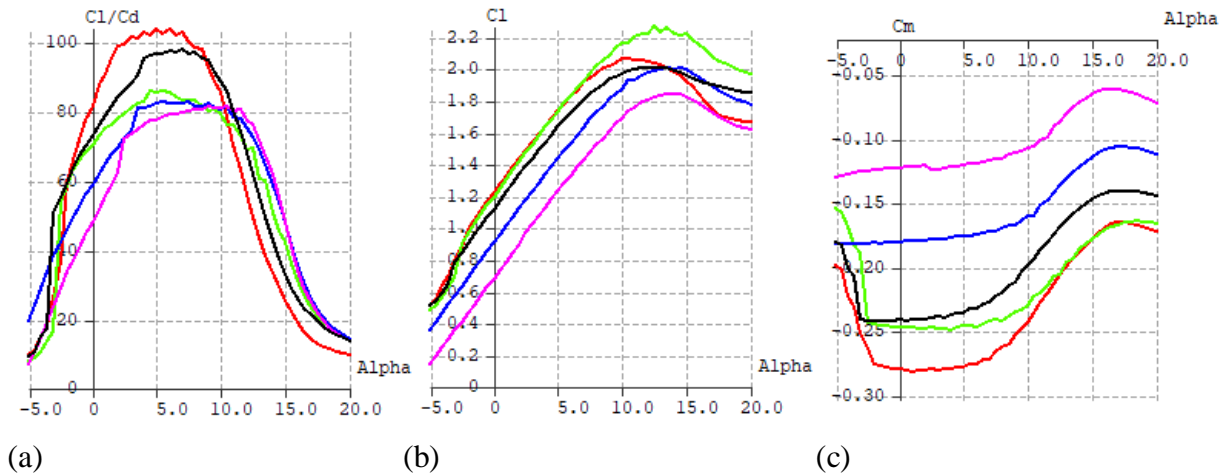
Examinando a Figura 4 juntamente à Tabela 2, é possível ver que os perfis FX74MODSM, L1003, S1210 e S1223 apresentam bordo de fuga extremamente afilados sendo, então, eliminados das próximas análises. Portanto, apenas os perfis CH10SM, E420, E421, E422 e E423 seguem nas análises para escolha dos três perfis que serão implementados no projeto.

5.1.6 Seleção do Perfil pela Comparação de Gráficos do XFLR5

Os gráficos de eficiência ($Cl/Cd \times \alpha$), sustentação ($Cd \times \alpha$) e momento ($Cm \times \alpha$), de acordo dos perfis selecionados na Seção 4 estão ilustrados na Figura 5.

Brazilian Journal of Development

Figura 5 – (a) Gráfico de eficiência; (b) Gráfico de sustentação; (c) Gráfico de momento



CH10SM E420 E421 E422 E423
 Fonte: Autores (2019)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtido pela metodologia de Souza et al. (2016).

Tabela 3 – Comparação dos Aerofólios

Peso	Parâmetro	CH10SM	E420	E421	E422	E423
3	$Cl/Cd \times \alpha$	3	1	1	1	2
2	$Cl \times \alpha$	2	3	2	1	2
1	$Cm \times \alpha$	3	3	1	1	2
Total		16	12	8	6	12

Fonte: Autores (2019)

O parâmetro $(Cl/Cd \times \alpha)$ indicado na Tabela 3 possui o maior peso por ser o parâmetro mais importante dentre todas as análises, isto porque ele estabelece uma relação entre a sustentação que o perfil proporciona e sua produção de arrasto. Desta forma, perfis com altas razões de Cl/Cd indicam que a sustentação se sobrepõe de maneira acentuada em relação ao arrasto produzido em determinadas faixas de ângulo de ataque. Já o parâmetro $Cm \times \alpha$, que diz respeito ao momento gerado pelo perfil, recebe menor pontuação dentre os três por não estar diretamente ligado à sustentação, mas sim à estabilidade longitudinal que o perfil apresentará no escoamento, não devendo ser, contudo, excluída da análise.

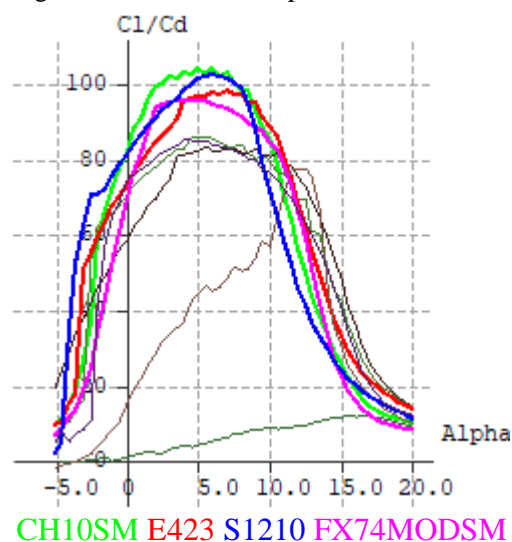
Brazilian Journal of Development

Portanto, de acordo com a Tabela 3, o aerofólio CH10SM apresenta a melhor pontuação dentro das três análises referidas sendo, desta forma, o perfil mais adequado dentre todas as etapas para o projeto da Equipe Araero no projeto do Torneio de Acesso à Competição 2020.

5.2 PERFIL DESENVOLVIDO

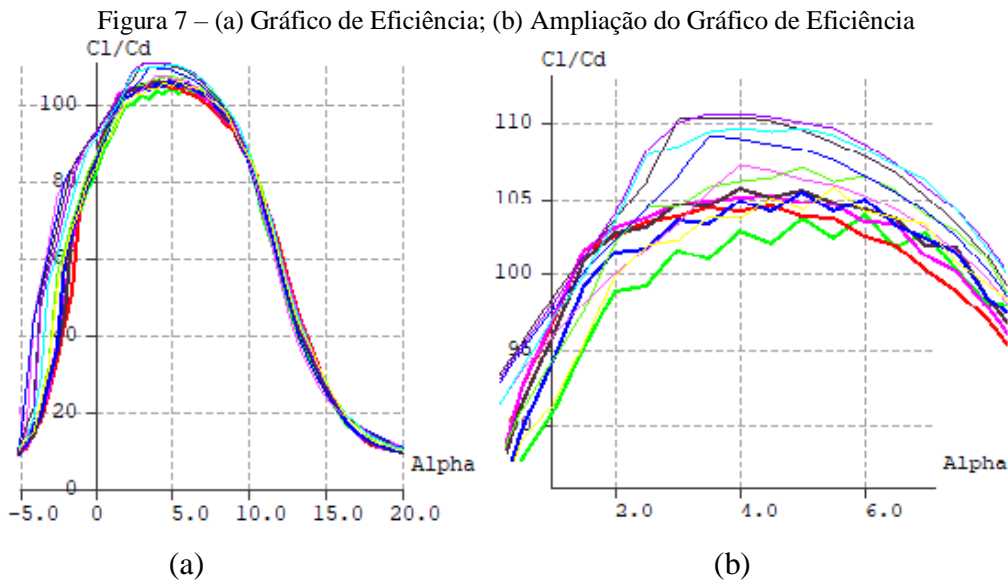
Para a criação do novo perfil, retorna-se à Tabela 2 para geração do gráfico de eficiência de todos os perfis que atendem às especificações do projeto, independentemente de sua geometria. A Figura 6 mostra tais resultados e percebe-se que os perfis CH10SM, E423, S1210 e FX74MODSM são os que possuem os maiores valores de eficiência C_l/C_d , portanto estes foram os escolhidos para serem utilizados na etapa de interpolação. Etapa esta, que resultou em 54 interpolações entre os quatro perfis selecionados.

Figura 6 – Eficiência dos perfis aerodinâmicos



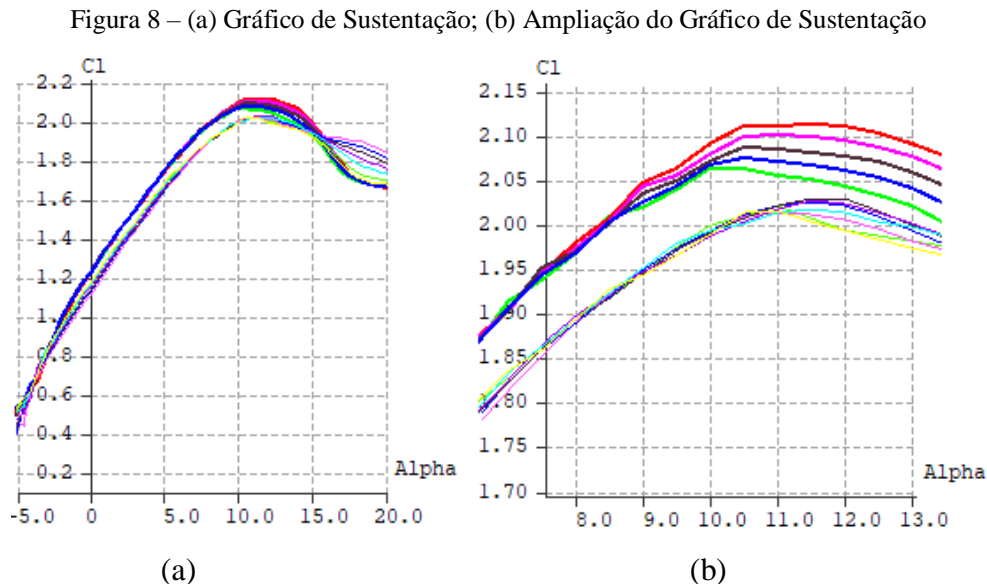
Fonte: Autores (2019)

Após as interpolações foram obtidos onze aerofólios novos que possuíam uma eficiência superior ao CH10SM, conforme mostrados na Figura 7, de maneira que os perfis da Classe A foram elaborados por meio da interpolação entre os perfis CH10SM e FX74MODSM e os da Classe B, utilizando os perfis CH10SM e S1210. As interpolações entre os perfis CH10SM e E423 não apresentaram valores de eficiência melhores do que o CH10SM.



Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.
 Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.
 Fonte: Autores (2019)

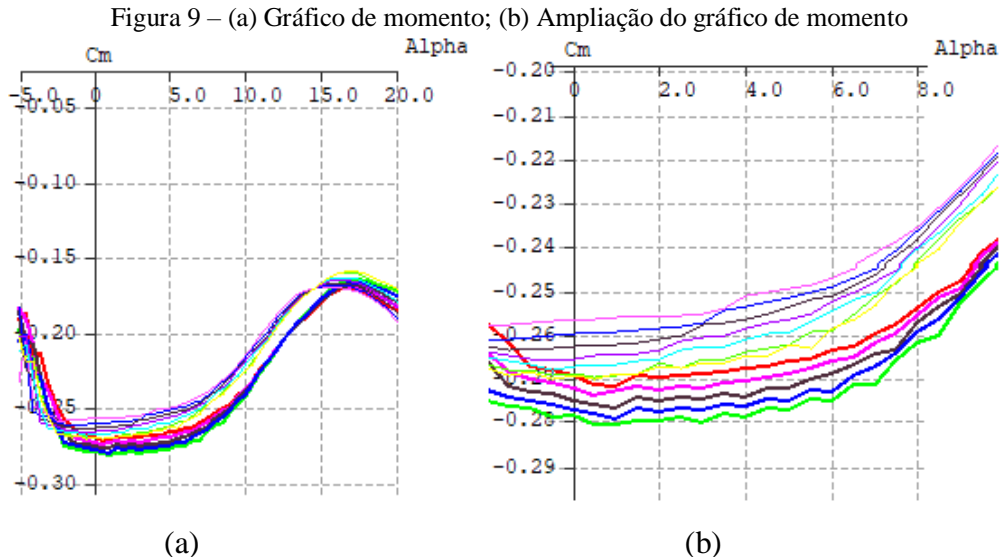
O gráfico de sustentação da Figura 8 destes onze aerofólios mostra que os da Classe A possuem sustentação superior ao CH10SM na maioria dos ângulos de ataque analisados, o que não acontece com os aerofólios da Classe B.



Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.
 Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.
 Fonte: Autores (2019)

Brazilian Journal of Development

A Figura 9 representa o gráfico de momentos dos mesmos perfis, onde os da Classe A possuem valores de C_m menores que os perfis da Classe B.



(a) Linha gráfica espessa: CH10SM, A6, A7, A8 e A9.
 Linha gráfica não espessa: B2, B3, B4, B5, B6, B7 e B9.
 Fonte: Autores (2019)

Montando-se novamente a tabela de pesos utilizando a metodologia de Souza et al (2016), fez-se possível perceber que os aerofólios A8, B4, B5, B6 e B7 possuem maiores pontuações na soma total dos três quesitos, contudo, sendo a eficiência a característica mais importante para escolha de um perfil e o perfil A8 apresentar uma pontuação para este inferior aos demais, exclui-se o mesmo da próxima etapa de análise juntamente aos demais aerofólios não citados, mantendo-se apenas os da Classe B, de B4 até B7.

Tabela 4 – Comparação dos aerofólios obtidos após interpolação com o CH10SM

Peso	3	2	1	Total
Parâmetro	cl/cd x alpha	cl x alpha	cm x alpha	
CH10SM	1	2	3	10
A6	2	3	2	14
A7	2	3	2	14
A8	2	3	3	15
A9	2	2	3	13
B2	2	1	1	9

Brazilian Journal of Development

B3	2	1	1	9
B4	4	1	1	15
B5	4	1	1	15
B6	4	1	1	15
B7	4	1	1	15
B9	2	1	1	9

Fonte: Autores (2019)

Para se determinar o perfil mais eficiente em relação ao CH10SM dentre os quatro selecionados, verificou-se o máximo valor de Cl/Cd de cada um, como pode ser visto na Tabela 5, em que mostra a eficiência dos perfis para o respectivo ângulo de ataque. O range de α descrito na tabela foi escolhido pois nele contém a maior eficiência de cada um dos perfis analisados.

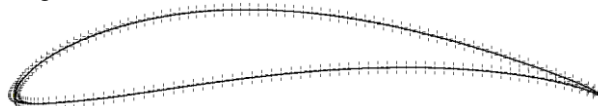
Tabela 5 – Comparação da eficiência entre os aerofólios escolhidos e o CH10SM

α (°)	Cl/Cd				
	CH10SM	B4	B5	B6	B7
3,5	100,8022	109,1011	110,2262	110,4300	109,2812
4	102,7790	108,8474	110,2577	110,4428	109,4753
5	103,5410	108,0951	109,3665	109,8755	109,5140
6	103,7279	106,3904	107,6763	108,5051	108,1080

Fonte: Autores (2019)

Desta forma, o perfil B6, representado na Figura 10, será o aerofólio mais eficiente, com maior valor de Cl/Cd sendo igual a 110,4428.

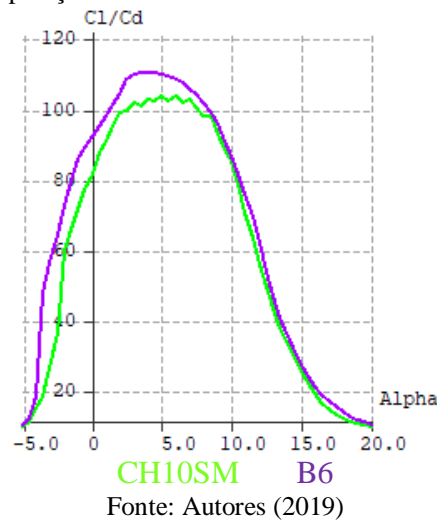
Figura 10 – Perfil B6 modelado em Autodesk Inventor



Fonte: Autores (2019)

Portanto, como pode ser visto na Figura 11, o perfil B6 possui eficiência maior do que o CH10SM para todos os ângulos de ataque analisados.

Figura 11 – Comparação entre as eficiências dos aerofólios B6 e CH10SM



Para o estudo em questão, a força de arrasto do novo perfil permitiu uma diminuição da ordem de 22,64%. Por fim, o aerofólio B6 foi nomeado de Araero Aerodesign 2019, com a sigla AA2019.

6 CONCLUSÃO

A partir das simulações realizadas em software XFLR5, foi possível afirmar a eficiência do software na análise do momento e forças de sustentação e arrasto que agem sobre perfis e asas inseridas em um escoamento subsônico. Sua interface visual e os resultados em forma de gráficos dos coeficientes aerodinâmicos em relação à variação do ângulo de ataque, permitiram a compreensão e uma facilitada escolha do perfil mais eficiente ao projeto vigente através da metodologia de pesos de Souza et al (2016). O perfil CH10SM escolhido percebeu-se superior a todos os outros perfis da base de dados coletada de acordo com a corda e envergadura estipuladas, levando-se em consideração também a sua geometria de bordo de fuga satisfatória para fabricação dos perfis.

A metodologia desenvolvida no presente trabalho mostrou-se eficaz por proporcionar a Equipe uma forma facilitada de escolha do perfil mais eficiente, visto que a literatura sobre o tema não abrange detalhadamente os passos a serem seguidos, causando um atraso nesta fase de projeto, podendo, agora, ocorrer de forma mais fluente e possibilitando maior tempo disponível para fabricação. Tal metodologia também poderá ser utilizada para asa de geometria diferente à utilizada no projeto vigente, de forma apenas a usar as equações adequadas para cálculo de área alar e alongamento.

Por fim, através da utilização do software XFLR5 e de seu domínio para utilização na escolha do perfil ideal ao projeto, o desenvolvimento do perfil Araero Aerodesing 2019 (AA2019) que,

Brazilian Journal of Development

quando comparado aos perfis disponíveis na base de dados, mostrou-se de maior eficiência, possibilita à Equipe uma vantagem competitiva nos Torneios de Acesso e Competição da SAE Brasil Aerodesign, torna-se possível sua utilização em projetos futuros da Equipe Araero, além de abrir oportunidades de pesquisas específicas na área de desenvolvimento de aerofólios.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON JR, John David. **Fundamentals of aerodynamics**. Tata McGraw-Hill Education, 2010.
- DANTAS, Albert Franklin de Moura. **Análise Aerodinâmica de Perfis de Asa para Veículos Aéreos Não Tripulados Usando o Software XFLR5**. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, 2014.
- RIBEIRO, Fernanda Alves. **Análise aerodinâmica de perfis de asa para aeronaves experimentais tipo jn-1**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2011.
- RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica com Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign: Aerodinâmica e Desempenho**. 1ª ed. Salto: 2014.
- ROSA, Edison da. **Introdução ao Projeto Aeronáutico: Uma contribuição à Competição Sae Aerodesig**. Florianópolis: UFSC/GRANTE, 2006.
- SAMPAIO, Ronivaldo Passos. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. Salvador: 2006.
- SOUZA, Lucas Guimarães et al. **Metodologia de um Projeto Aerodinâmico Básico Voltado A Competição Sae Brasil Aerodesign**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44. *Anais...* Natal: UFRN/ABENGE. 2016.
- VISCONTI, João Pedro Portela Guedes. **Estudo inicial de um veículo aéreo não tripulado do tipo tilt-rotor**. Juiz de Fora: 2016.