

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DE UM NOVO PERFIL AERODINÂMICO VOLTADO PARA A COMPETIÇÃO SAE BRASIL AERODESIGN**

**Iago A. Souza** – iago\_araujo@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica

Av. Augusto Corrêa, S/n

66075900 – Belém - Pará

**Emílio H. F. Ferreira** – henricksbc@yahoo.com.br

**Pedro V. M. Maia** – pe\_andreas@hotmail.com

**Jérson R. P. Vaz** – jerson@ufpa.br

**Marcelo O. Silva** – mos@ufpa.br

***Resumo:** Este trabalho mostra as etapas seguidas por alunos de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará – UFPA para o desenvolvimento de um novo perfil aerodinâmico - mais adequado que os perfis aerodinâmicos disponíveis atualmente sob domínio público - a ser utilizado na aeronave rádio controlada projetada e construída por alunos do curso. Durante a jornada de pesquisa do novo perfil os alunos desenvolveram um estudo para o respectivo desenvolvimento e construção do material de ensaio para teste em um túnel de vento. Após a realização de uma pesquisa para a correta utilização dos equipamentos de ensaio de eficiência aerodinâmica do perfil e tratamento dos dados obtidos durante os testes, os alunos constataram que o perfil ACSM 2030, desenvolvido por alunos da equipe participante da competição SAE Aerodesign: Iaçá Aerodesign/UFPA, possui qualidades mais adequadas do que as encontradas nos atuais perfis aerodinâmicos disponíveis sob domínio público.*

***Palavras-chave:** ACSM 2030, Perfil Aerodinâmico, SAE Aerodesign, Túnel de Vento.*

### **1 INTRODUÇÃO**

Sustentação é uma componente das forças aerodinâmicas resultantes na normal do avião para o vetor velocidade da aeronave. O componente de um avião responsável por gerar a maior parte da sustentação necessária para manter a aeronave em vôo é a asa, diferentes configurações deste componente podem ser cruciais para a adequação das características da aeronave para sua missão de vôo, no caso da competição SAE Brasil Aerodesign: decolar e pousar em segurança uma aeronave rádio-controlada com a maior carga possível.

Um dos maiores desafios enfrentados pelas equipes participantes da competição é a maximização do desempenho de vôo, uma vez que a regulamentação da competição define limites para as dimensões totais da aeronave ( $x+y+z \leq 5000$  mm) e para o peso total da aeronave em 20 quilogramas (Peso da Aeronave + Carga  $\leq 20$  kg), fato que obriga as equipes a desenvolverem, com perícia, um estudo do sistema Aerodinâmico, Estrutural, Moto-Propulsor, Metodologia de Construção, Metodologia de Gestão Pessoal e Financeira do

projeto. Este trabalho será focado em um dos estudos realizados a fim de melhorar o sistema Aerodinâmico do Projeto de 2011 da equipe Iaçá de Aerodesign.

## 2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Dados de aerofólios sendo submetidos a altos números de Reynolds são amplamente conhecidos pela comunidade aeronáutica, graças a pesquisas realizadas pelo Comitê Consultivo Nacional para Aeronáutica (NACA) por volta da década de 1930. Porém o desempenho de um perfil aerodinâmico cai drasticamente quando submetido a um número Reynolds baixo ( $Re < 300000$ ), justamente um valor a qual será submetido à maioria das aeronaves utilizadas na competição SAE Aerodesign. Por conta da restrita aplicabilidade de perfis a um baixo número Reynolds, são raras as pesquisas voltadas para esse campo da mecânica aeronáutica.

### 2.1 Pesquisa Teórica

Munindo das teorias apresentadas por SELIG (1996) durante o programa de pesquisa de aerofólios de baixa velocidade feito na Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, foram selecionados diversos perfis que apresentaram características de alta eficiência a baixos Reynolds, entre eles: Selig 1223, E423, FX-74, FX-61 e FX-63, mostrados na Figura 1. Onde foi determinado que nosso novo perfil aerodinâmico deveria apresentar melhores características de Coeficiente de Sustentação ( $C_l$ ), Coeficiente de Arrasto ( $C_d$ ) e Eficiência Aerodinâmica ( $C_l/C_d$ ) que os perfis apresentados por SELIG (1996).

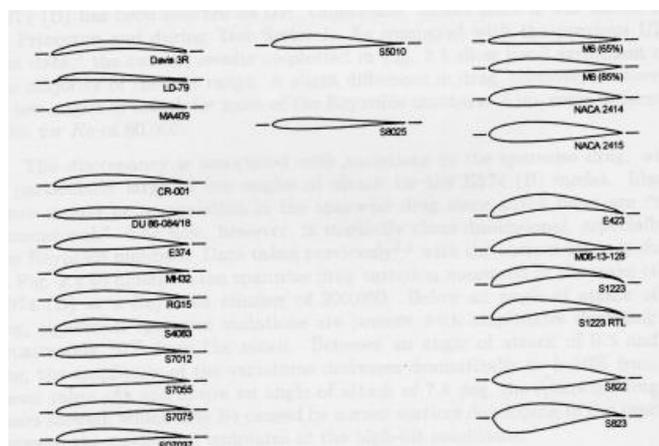


Figura 1- Diversos Perfis Aerodinâmicos apresentados por SELIG (1996).

### 2.2 Pesquisa Computacional

Os diversos perfis selecionados foram trabalhados sob regime de aperfeiçoamento, mistura de perfis e modificações diversas, que foram trabalhados com a ajuda do software XFLR 5, uma extensão do conceituado XFOIL, um programa interativo para o desenvolvimento e análise de aerofólios subsônicos. O software consiste em uma coleção de rotinas que promovem várias funções úteis para uma análise completa de um perfil aerodinâmico, tais como: análise de descolamento do fluido, previsão de sustentação e arrasto sob diversos valores Reynolds e velocidades (DRELA, 2000). As análises computacionais dos perfis realizadas com o software: XFLR 5, resultou na seleção dos perfis com melhores características de  $C_l$ ,  $C_d$  e  $C_l/C_d$ , sendo eles: ACSM 2030, Selig 1223 e Eppler 423. O

resultado da análise em software pode ser observada no Gráfico 1, onde o perfil Acsm 2030 se destaca por ter um baixo coeficiente de arrasto ( $C_d$ ).

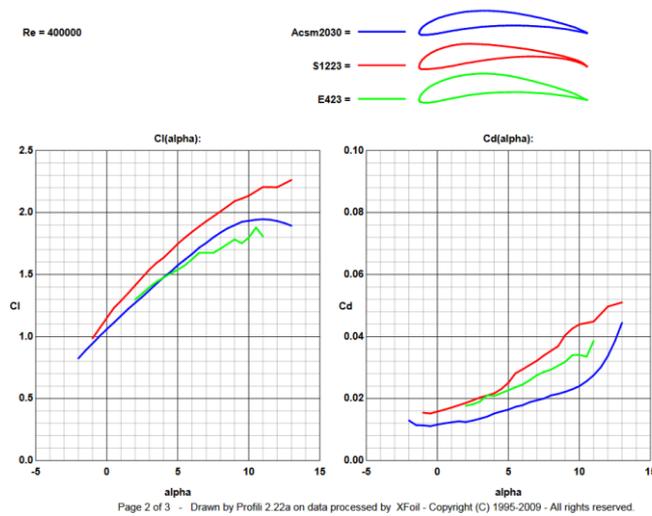


Gráfico 1 - Gráfico Alfa x  $C_l$  e Alfa x  $C_d$ , gerado pelo software, do perfil desenvolvido pela equipe Iacá (Acsm 2030) em comparação com os dois perfis que possuem as melhores características aerodinâmicas apresentados por SELIG (1996).

### 3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A fim de comparar os resultados obtidos computacionalmente com dados reais, os alunos trabalharam no desenvolvimento de um teste experimental realizado em um túnel de vento do laboratório de Mecânica dos Fluidos da Universidade Federal do Pará - UFPA. O equipamento (Figura 2) permite que sejam simuladas condições de escoamento não turbulento com velocidades inferiores a 16 m/s, permitindo que diversos dados a respeito do material de teste sejam coletados, tais como: velocidade do escoamento, distribuição de pressão e forças atuantes, além de permitir a visualização do comportamento do objeto e do fluxo do fluido com auxílio de um dispositivo de fumaça.



Figura 2 - Um Perfil posicionado dentro de um túnel de vento.

## 3.1 Construção do Material de Ensaio

Os perfis aerodinâmicos utilizados no ensaio foram construídos utilizando um método simples e econômico de criar superfícies aerodinâmicas de pequeno porte, usando um fio metálico aquecido por uma resistência a fim de cortar uma asa de poliestireno expandido (Figura 3 a 5). Apesar da baixa resistência do poliestireno expandido, este problema foi contornado através da escolha correta da densidade do polímero, disponível no mercado com densidades que variam entre  $10 \text{ kg/m}^3$  a  $35 \text{ kg/m}^3$ , e através de técnicas de revestimento com madeira balsa, colocação de longarinas e revestimento com materiais plásticos, tais como: “Monokote” ou fita adesiva. Este processo foi o mesmo utilizado na construção da asa da aeronave da equipe Iaçá Aerodesign no ano de 2010 e nos três perfis utilizados no ensaio no túnel de vento.

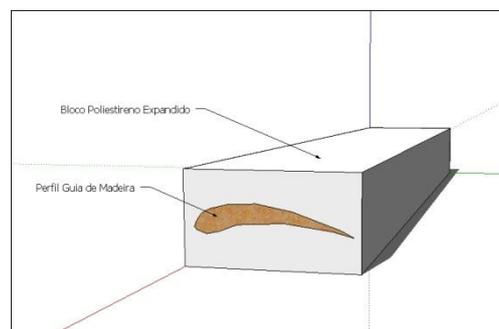


Figura 3: Bloco de Poliestireno, ainda intacto, após a fixação de um Perfil Guia.

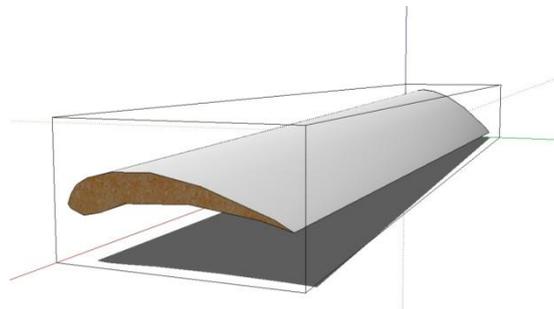


Figura 4: Resultado após o corte com o fio quente.



Figura 5: Asa pronta para ensaio no túnel de vento.

## 3.2 O equipamento de ensaio

Para o ensaio experimental foi utilizado uma balança aerodinâmica, equipamento que realiza medições das forças atuantes no aerofólio sob diversos ângulos. A balança possui três dinamômetros capazes de medir as forças de Sustentação, Arrasto e Momento geradas pelo aerofólio com precisão de 0,01 Newton, as forças atuantes em cada dinamômetro são mostradas em um display eletrônico (Figura 6), onde as forças atuantes em cada dinamômetro são identificadas como: F1, F2 e F3. Em função do mecanismo de funcionamento da balança sabe-se que a Força de Sustentação é dada pela soma das forças F2 e F3, a Força de Arrasto é dada por F1.



Figura 6: Equipamento que mostra as forças atuantes nos dinamômetros da balança aerodinâmica.

## 3.3 Metodologia de Ensaio

Foram testados no túnel de vento três perfis aerodinâmicos diferentes, sendo um deles o perfil com melhor desempenho obtido nas simulações (ACSM 2030) e dois perfis conhecidos (SELIG 1223 e E423), onde foram registrados, com o tratamento estatístico adequado, valores entre 0 e 25 graus à uma velocidade de 10,57 m/s, o que proporciona um número Reynolds de 154662 de acordo com a Equação (1) (ROSKAM, 1997), um valor adequado para a utilização na aeronave da competição SAE Aerodesign.

$$Re = \rho \cdot v \cdot \bar{c} \cdot \mu^{-1} \quad (1)$$

Onde o Número de Reynolds é uma constante adimensional utilizado para cálculos de escoamento de um fluido,  $\rho$  é a massa específica do fluido [ $\text{kg/m}^3$ ],  $v$  é a velocidade de escoamento do fluido [ $\text{m/s}$ ],  $\bar{c}$  é a corda média aerofólio [ $\text{m}$ ] e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica do fluido [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ].

## 4 TRATAMENTO DOS DADOS EXPERIMENTAIS

A partir das forças coletas, foi possível calcular o coeficiente de sustentação ( $C_L$ ), e o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) do aerofólio.

A partir da Equação (2) calculou-se o CL (ROSKAM, 1997):

$$C_L = \frac{L}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (2)$$

Onde L é a sustentação gerada pelo aerofólio [N],  $\rho$  é a massa específica do fluido [ $\text{kg/m}^3$ ], “V” a velocidade de escoamento [m/s] e “A” a área projetada do aerofólio [ $\text{m}^2$ ].

A partir da Equação (3) calculou-se o CD:

$$C_D = \frac{D}{0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (3)$$

Onde D é a força de arrasto gerada pelo aerofólio [N],  $\rho$  é a massa específica do fluido [ $\text{kg/m}^3$ ], “V” a velocidade de escoamento [m/s] e “A” a área projetada do aerofólio [ $\text{m}^2$ ].

A partir do cálculo desses coeficientes para cada ângulo dos perfis foi possível montar o gráfico de dispersão para o Coeficiente de Sustentação e Arrasto e sua respectiva linha de tendência (Gráfico 2 a 7):

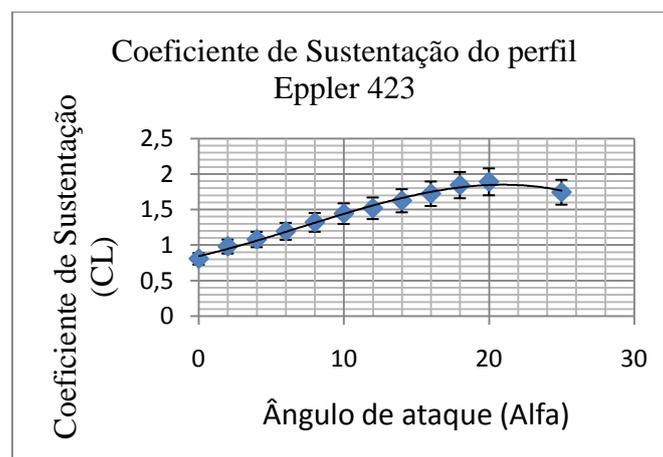


Gráfico 2: Gráfico de Coeficiente de Sustentação do Perfil Eppler 423 obtido no túnel de vento.

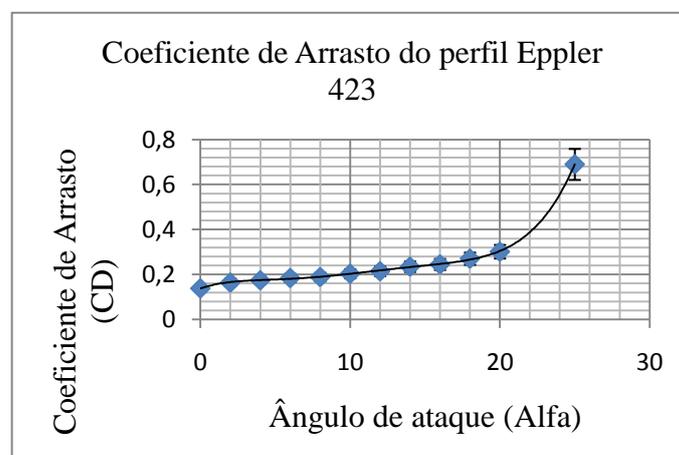


Gráfico 3: Gráfico de Coeficiente de Arrasto do Perfil Eppler 423 obtido no túnel de vento.

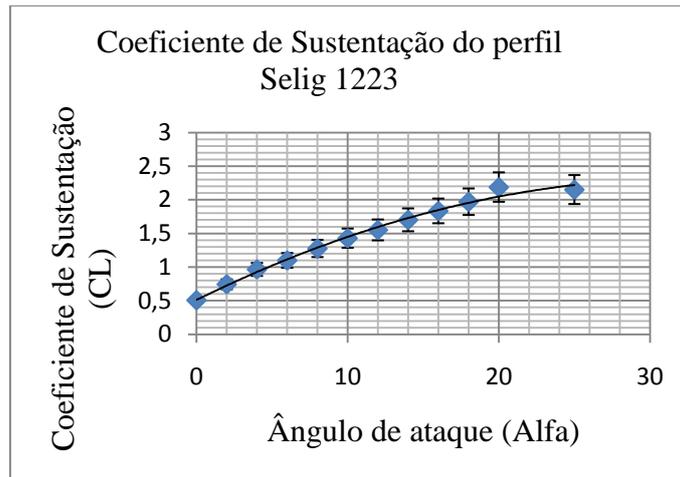


Gráfico 4: Gráfico de Coeficiente de sustentação do Perfil Selig 1223 obtido no túnel de vento.

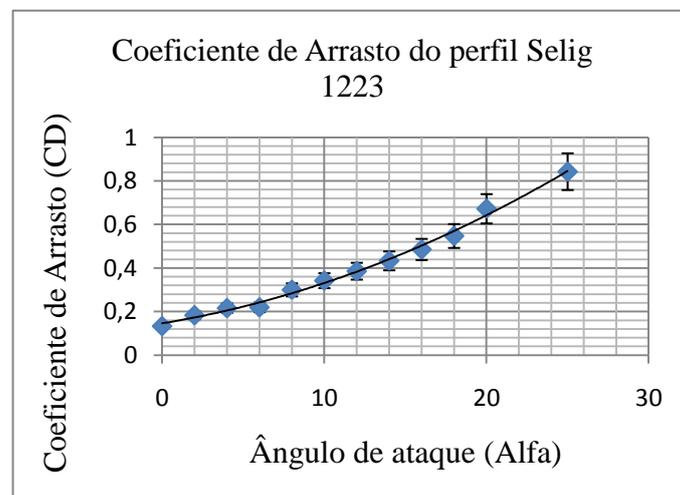


Gráfico 5: Gráfico de Coeficiente de arrasto do Perfil Selig 1223 obtido no túnel de vento.

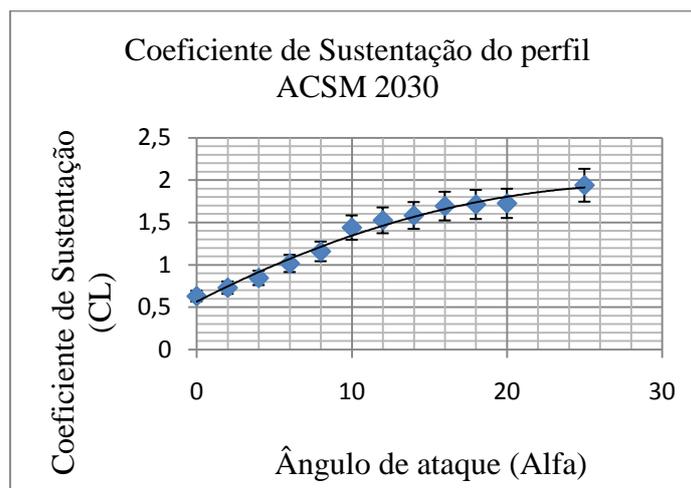


Gráfico 6: Gráfico de Coeficiente de sustentação do Perfil ACSM 2030 obtido no túnel de vento.

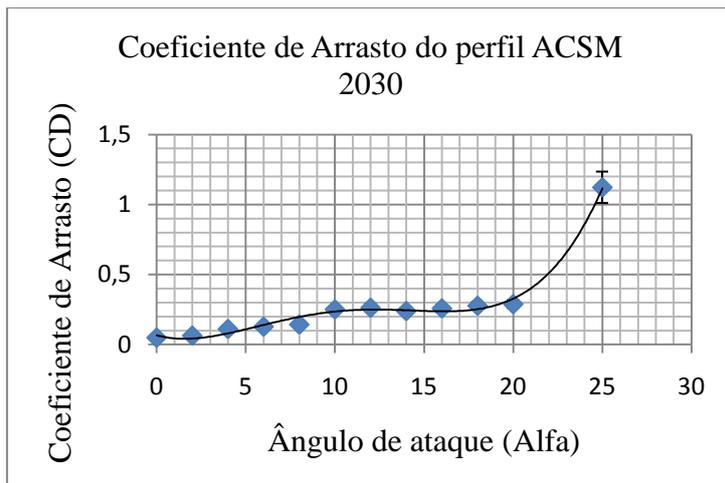


Gráfico 7: Gráfico de Coeficiente de arrasto do Perfil ACSM 2030 obtido no túnel de vento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de fazer uma comparação adequada dos perfis utilizou-se como critério a eficiência do perfil, dada pela razão de planeio, onde se divide o valor de CL por CD (Gráfico 8).

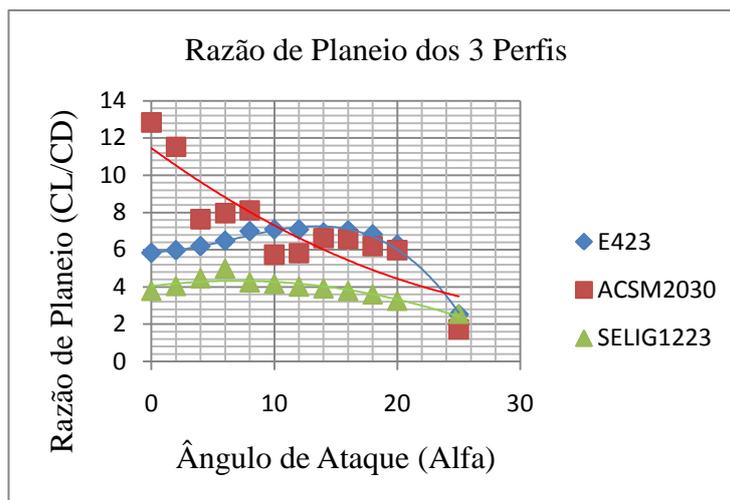


Gráfico 8: Gráfico de eficiência dos 3 perfis utilizados no ensaio experimental.

Uma vez que o objetivo deste estudo experimental consiste na comprovação do estudo computacional realizado sobre os perfis aerodinâmicos, é importante comparar o gráfico de eficiência obtido no túnel de vento com o resultado obtido no software XFLR 5 (Gráfico 9).

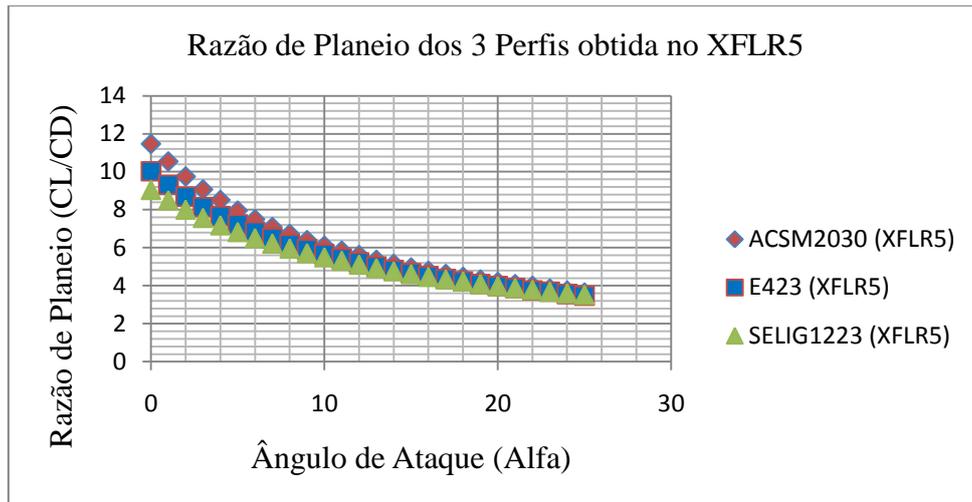


Gráfico 9: Gráfico de eficiência dos 3 perfis obtido no software XFLR 5, nota-se que os pontos localizam-se na mesma região vertical em ambos os Gráficos 14 e 15, conservando a relativa linearidade e ordem de eficiência dos perfis.

Observa-se que houve divergências entre método numérico obtido no XFLR 5 (Gráfico 9) e o método experimental (Gráfico 8). Os perfis E423 e S1223 apresentaram menor eficiência do que esperado para ângulos menores que 10°, fato que pode ser reflexo de: flutuações apresentadas pela balança aerodinâmica, estimadas na ordem de 20%, turbulências geradas no túnel de vento, interferências nas leituras geradas pelas conexões do equipamento ou mesmo podem ser resultados de um comportamento inadequado do perfil aerodinâmico a baixos Reynolds.

## 6 CONCLUSÃO

Este artigo teve por objetivo mostrar uma das diversas etapas realizadas pelos alunos de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará para o projeto SAE Aerodesign. A competição realizada pela Sociedade de Engenheiros da Mobilidade SAE vai além de uma simples disputa entre estudantes universitários, o evento proporciona uma intensa mobilização técnico-científica dos alunos e orientadores envolvidos, contribuindo para o amadurecimento profissional dos alunos, além de incentivar a criação tecnológica, como foi demonstrado nesse artigo.

Após a realização de um estudo para a correta utilização dos equipamentos de ensaio de eficiência aerodinâmica do perfil e tratamento dos dados obtidos durante os testes, os alunos constataram que o perfil ACSM 2030, desenvolvido por alunos da equipe participante da competição SAE Aerodesign: Iaçá Aerodesign/UFPA, possui qualidades mais adequadas do que as encontradas nos atuais perfis aerodinâmicos disponíveis sob domínio público para uso na competição.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, John. Introduction to Flight.4. ed. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1999. 784 p.

ANDREW, J., TREVOR, M. Y. Aerodynamics, Performance And Stability And Control.2. ed. AIAA, 2004. 780 p.

DRELA, Mark. Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics, Design Methodology. Low-Order Modeling of Aeromechanical Systems. 2000.

MCCORMICK, Bames. Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics.2. ed. San Francisco: Wiley, 1994. 652 p.

RODRIGUES, L. E. M. J, Fundamentos da Engenharia Aeronáutica.1. ed. São Paulo: Edição do Autor, 2010.

ROSKAM, Jan. LAN, C.T. Airplane Aerodynamics and Performance.2. ed. Darcorporation, 1997. 743 p.

SELIG, M.S., GUGLIELMO, J.J., Broeren, A.P. and Giguere, P., “Summary of Low-Speed Airfoil Data”, Virginia: SoarTech Publications, 1996.

Heavy Lift Design Team. SAE Aerodesign East 2001 Status Report. College Park: University of Maryland, 2001.

## **EXPERIMENTAL STUDY OF A NEW AERODYNAMIC PROFILE DESTINATED TO SAE BRAZIL AERODESIGN COMPETITION**

***Abstract:** This study shows the steps followed by Mechanical Engineering students of Universidade Federal do Pará to develop a new aerodynamic profile – with more appropriate features than currently available profile in public domain – to be used in a small aircraft designed and built by undergraduates to be used in SAE Aerodesign competition. During the research the students worked on theoretical, numerical and experimental development of an aerodynamic profile, including wind tunnel tests and data treatment. Students concluded that the new profile ACSM 2030, developed by the team: IAÇÁ AERODESIGN has more suitable qualities than other profiles available in public domain.*

***Key-words:** ACSM 2030, Aerodynamic Profile, SAE Brasil Aerodesign, Wind Tunnel.*