

Projeto de uma aeronave leve utilitária e acrobática de alto desempenho

Cláudio Pinto de Barros

Centro de Estudos Aeronáuticos - EEUFMG

Ricardo Luiz Utsch de Freitas Pinto

Paulo Henriques Iscold Andrade de Oliveira

Centro de Estudos Aeronáuticos - EEUFMG

Copyright © 2000 Society of Automotive Engineers, Inc

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto da aeronave CEA 306 – CB.10 – *Triathlon* do Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG. O projeto foi desenvolvido visando a maximização do índice de desempenho global C.A.F.E. Challenge apropriado para aeronaves utilitárias. Não obstante o antagonismo entre as categorias utilitária e acrobática, através de artifícios de projeto, foi possível obter para o *Triathlon* também um índice de desempenho global na categoria acrobática (C.A.F.E. Triaviathon) bastante satisfatório. O *Triathlon* é uma aeronave, biplace, monomotor da categoria *JAR-VLA*. Utilizado um motor de 120 hp, o *Triathlon* é capaz de desenvolver uma velocidade máxima nivelada de 324 km/h, velocidade de cruzeiro com 75% da potência de 290 km/h, razão de subida com potência máxima de 9m/s, suportando fatores de carga entre -2.87 e +4.87 gravidades, quando operando com peso máximo, e entre -3 e +6 gravidades, quando operado com metade da carga útil.

INTRODUÇÃO

No presente trabalho apresenta-se o projeto da aeronave CEA 306 – CB.10 – *Triathlon*, desenvolvido segundo uma metodologia própria do Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG, baseada em procedimentos mundialmente comuns para o desenvolvimento de aeronaves leves [1] [2] [3] [4].

A aeronave *Triathlon* foi projetada para atender os requisitos da categoria *JAR-VLA*, a qual estabelece o limite de dois tripulantes, peso máximo de decolagem de 750 kgf, velocidade de estol de 83 km/h .

Uma característica importante do projeto *Triathlon* é que o mesmo foi desenvolvido visando maximizar o índice global de desempenho *C.A.F.E. Challenge* [5] (*transportation efficiency factor*) que objetiva comparar aeronaves sob o aspecto de suas eficiências como aeronaves de transporte, proposto pela Experimental Aircraft Association, definido como:

$$CAFE_{\text{Challenge}} = (V_{\text{max}})^{1.3} \cdot C \cdot (W_U)^{0.6}$$

que combina velocidade máxima (V_{max} , em mph), consumo (C , em milhas/gal) e carga útil (W_U , em lbf).

Não obstante o antagonismo entre as categorias utilitária e acrobática, utilizando-se de recursos especiais de projeto, foi possível no projeto *Triathlon*, obter também um valor bastante satisfatório para o índice *C.A.F.E. Triaviathon* [5] (*exhilaration factor*, ou *fator de entusiasmo*) próprio para comparar a “agilidade” de aeronaves, definido como:

$$CAFE_{\text{Triaviathon}} = \frac{28110625 \cdot [V_{\text{max}} \cdot R / S]^2}{[4100625 + V_{\text{so}}^4] \cdot 10^9}$$

que combina velocidade máxima (V_{max} , em mph), velocidade de estol (V_{so} , em mph), razão de subida (R/S , em ft/min).

O projeto *Triathlon* é uma evolução do projeto CEA 205 – CB.9 – *Curumim*, um ultraleve de alto desempenho, com 14 metros de envergadura, 7.37 metros de comprimento, peso vazio de 300 kgf e razão de planeio de 18:1 (Figura 1) [6].

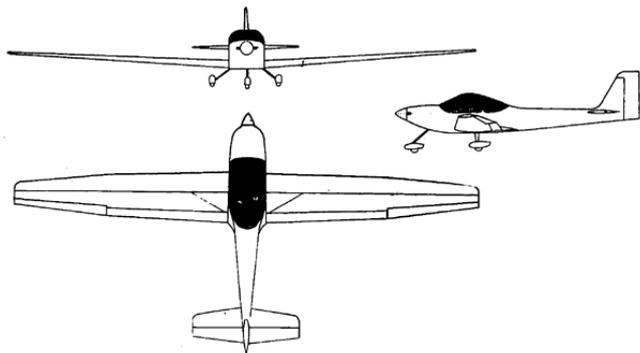


Figura 1 . CEA 205 CB.9 Curumim

O protótipo do *Curumim* foi construído na oficina do Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG com recursos da FUNDEP – Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa da UFMG. Construído com estrutura em madeira (freíjo), revestimento em contraplacado de pinho e fibra de vidro, o *Curumim*, por exigência de norma, não pode ser utilizado em vôos acrobáticos.

O *Triathlon*, por sua vez, embora originário do projeto *Curumim*, foi projetado dentro das categoria *JAR-VLA*, possuindo características que o colocam fora da categoria *ultraleve*, livre, portanto, da proibição de executar vôos acrobáticos. Trata-se de uma aeronave monomotora, de dois lugares lado-a-lado, asa baixa, trem de pouso triciclo escamoteável e empenagens em disposição convencional. (Figura 2).

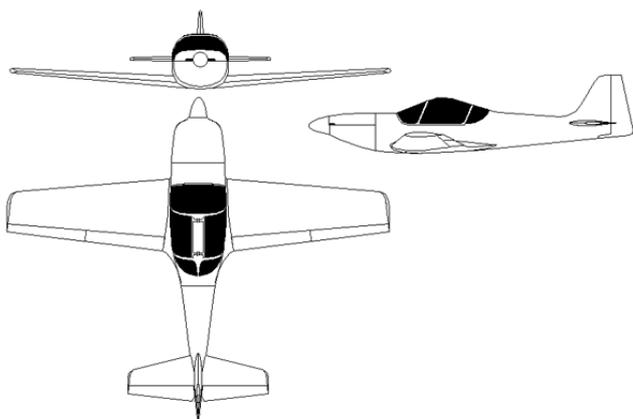


Figura 2 . Três vistas da aeronave Triathlon

Com 7.45 metros de envergadura, 6.27 metros de comprimento, o *Triathlon*, respeitando a norma *JAR-VLA*, apresenta peso máximo de decolagem de 610 kgf e velocidade de estol de 83 km/h.

ALGUNS ASPECTOS DA CONFIGURAÇÃO EXTERNA

Sobre a configuração apresentada na Figura 2, merecem destaque os seguintes aspectos [7]:

MOTORIZAÇÃO

A aeronave *Triathlon* foi idealizada para operar com uma ampla variedade de motores desde os puramente aeronáuticos até os automotivos adaptados, como por exemplo:

- i) Lycoming IO-235 – 115 hp
- ii) ROTAX 914 (turbo) – 115 hp
- iii) Subaru/NSI EA81 – 120 – TBI – 120 hp

Para utilização de cada motor não é necessária nenhuma modificação da fuselagem exceto pela troca do berço do motor. Esta é uma característica importante, particularmente útil no caso de construções amadoras.

FORMA EM PLANTA DA ASA

Para o projeto *Triathlon*, optou-se por asas trapezoidais, fáceis de fabricar, permitindo boa distribuição de eficiência estrutural ao longo da envergadura e apresentando arrasto induzido muito pouco maior que asas elípticas (diferença menor do que 5%).

Optou-se por afilamento $\lambda = 0.5$ (razão entre a corda na ponta e a corda na raiz) com detalhes de projeto que evitam estol de ponta de asa [8].

FUSELAGEM

Cuidado especial foi dado ao projeto da fuselagem, colocando-se os tripulantes assentados praticamente no fundo da cabine visando a menor área frontal possível (mínimo arrasto), preservando-se todas as exigências ergonômicas (Figura 3).

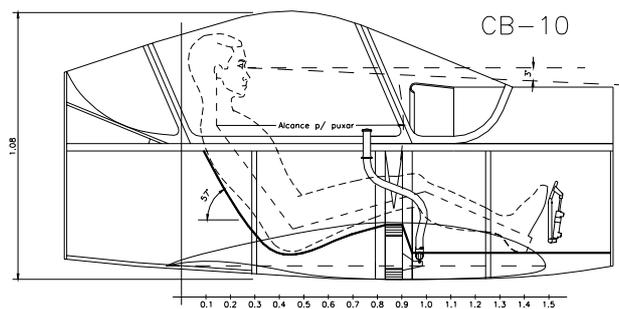


Figura 3 . Posição do piloto

A mesma também foi adelgada logo após a cabine (Figura 4) buscando redução de sua área molhada (novamente, mínimo arrasto) [9].

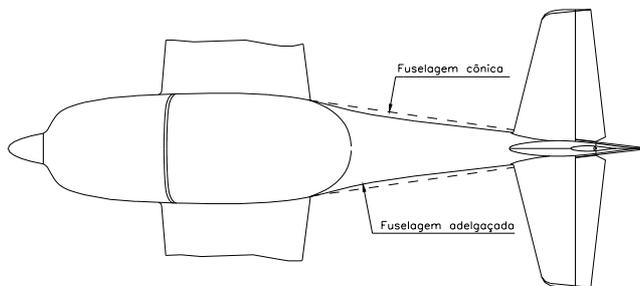


Figura 4. Adelgaçamento do conde de cauda

TREM DE POUSO

Adotou-se trem de pouso escamoteável visando-se mínimo arrasto e triciclo para facilidade de pouso e decolagem, bem como melhor visibilidade durante taxiamentos.

SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

O *Triathlon* oferece duas opções de sistema de refrigeração: i) a ar para o caso de adoção de motores aeronáuticos clássicos; ii) a água para motores automobilísticos adaptados.

PERFILAGEM

Visando um equilíbrio entre desempenho aerodinâmico e facilidade construtiva, foram escolhidos para as asas os seguintes perfis com propriedade de fluxo laminar natural (Natural Laminar Flow) [10] [11]:

Raiz: NLF 1 – 0215F
 Ponta: FX 62 – K – 131

Para as empenagens foram adotados o perfil simétrico laminar NACA 64₁-012 [11].

SISTEMAS DE HIPERSUSTENTAÇÃO

Para conciliar a busca de máxima velocidade de cruzeiro com o limite máximo de velocidade de estol de 83 km/h, adotou-se uma asa de área mínima auxiliada por dispositivos não convencionais de hipersustentação.

Trata-se do uso de flapes convencionais auxiliados pela deflexão conjunta dos ailerons, sem comprometimento das deflexões diferenciadas destes para rolamento [7].

Esta opção, concordantemente, permitiu atender, simultaneamente, características utilitárias e esportivas, normalmente conflitantes.

POLAR DE ARRASTO

A polar de arrasto foi levantada utilizando Pullin [12] e Hoerner [13]. Foram obtidos resultados para

operação sob condições de atmosfera padrão e deflexão de -10° para flapes/aileron.

As Figuras 5 e 6 apresentam as polares de arrasto e de velocidades respectivamente.

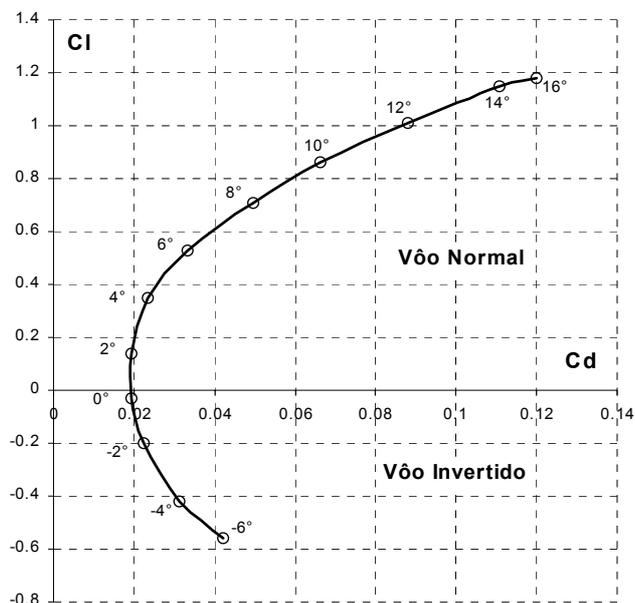


Figura 5 . Polar de arrasto da aeronave completa utilitário

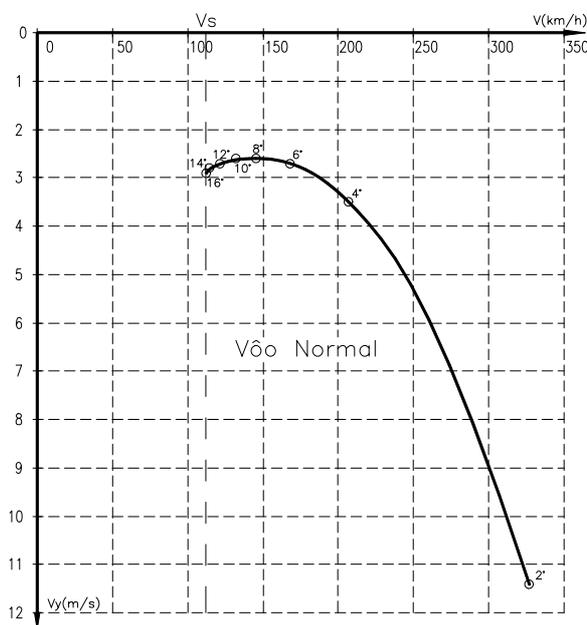


Figura 6 . Polar de velocidades da aeronave completa utilitário

A título de ilustração, a Figura 7 apresenta, para várias velocidades de vôo, a parcela de arrasto correspondente a cada componente da aeronave.

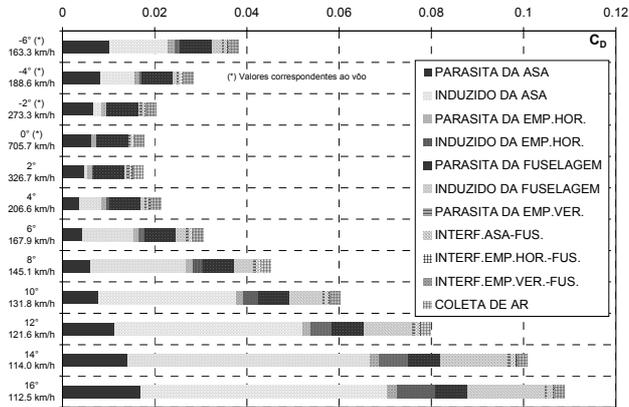


Figura 7. Contribuição das parcelas de arrasto para o valor global (kgf)

Note que as parcelas referentes a arrasto induzido são muito significativas para baixas velocidades e pouco significativas para altas velocidades. Com um comportamento de natureza diferente, a parcela de arrasto parasita da asa representa menor contribuição para velocidades intermediárias. Já outras parcelas de arrasto parasita são mais significativas para velocidades maiores.

ESTIMATIVA DE DESEMPENHO

De posse da polar de arrasto e das curvas do grupo motopropulsor, levantou-se as curvas de potência requerida e disponível [7]. Na Figura 8 apresentam-se os resultados obtidos para a versão *utilitário* utilizando o motor Subaru/NSI EA81 – 120 – TBI.

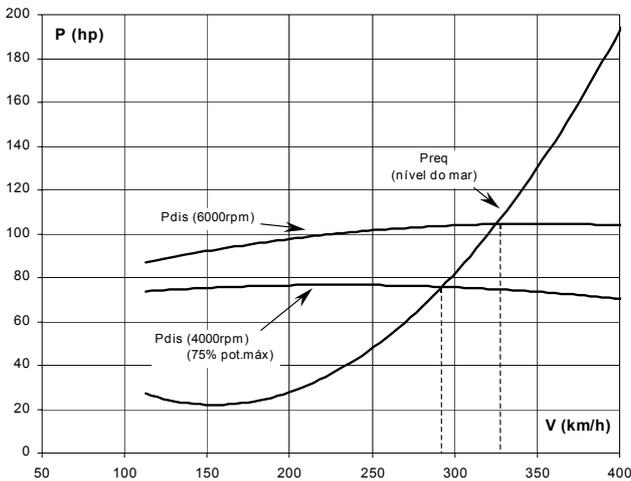


Figura 8. Curvas de potência

Os principais parâmetros de desempenho, nesta versão, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características de desempenho

Velocidade Máxima Nivelada	324 km/h
Velocidade Nivelada a 75% potência	290 km/h
Razão de Subida máxima	9.0 m/s
Razão de Subida a 75% potência	6.4 m/s
Alcance máximo	1050 km
Autonomia máxima	6.4 horas

DIAGRAMA V-N

Os fatores de carga limites foram escolhidos segundo as indicações dos requisitos *JAR-VLA*. Na figura 9 apresenta-se o diagrama V-n combinado (de manobra e de rajada) para a condição *utilitário*.

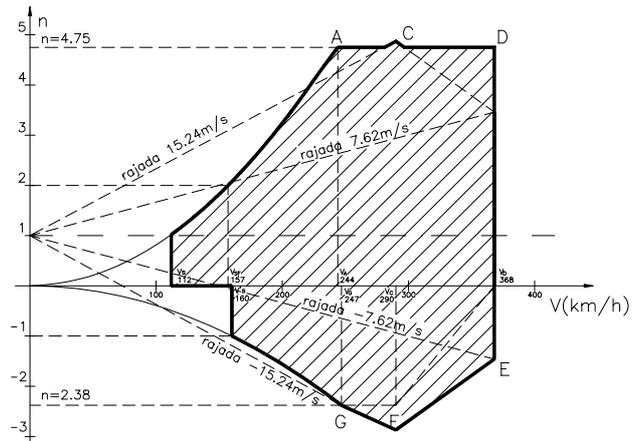


Figura 9. Diagrama V-n

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE ESTABILIDADE E CONTROLE

A Tabela 2 resume as principais características de estabilidade e controle longitudinais e direcionais obtidas.

Tabela 2. Principais características de estabilidade e controle longitudinais e direcionais

Deflexão máxima do profundor	30 °
Força máxima no manche sem o uso de compensador	1.75 kgf
Varição da força no manche para crescimento de fator de carga	≈ 1.51 kgf / g
Deflexão máxima do leme	30 °
Angulo de glissagem máxima	≈ 15 °

A Figura 10 apresenta o passeio permitido e o previsto para o centro de gravidade, após a análise.

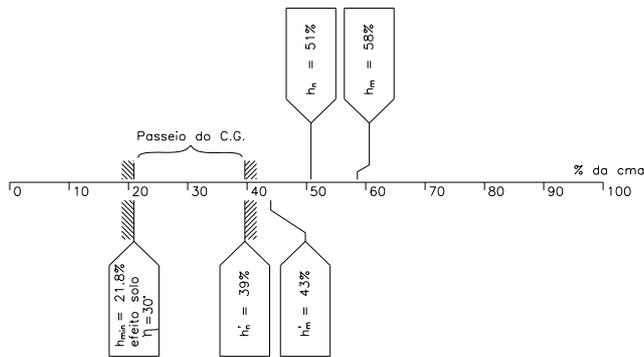


Figura 10 . Passeio do centro de gravidade

SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Entre as soluções construtivas adotadas [7], ressalta-se:

- i) A asa será executada inteiriça, com longarina caixão de madeira, construída com mesas de freijó e almas de contraplacado de pinho. Duas caixas de torção (uma dianteira e uma traseira), ambas funcionando também como revestimento externo da asa, serão formadas por sanduíche *fibra-de-vidro - espuma rígida - fibra-de-vidro*, construído pelo processo *hand-lay-up*.
- ii) A fuselagem será construída em partes espelhadas em relação ao seu plano de simetria. Será utilizada construção em sanduíche *fibra-de-vidro - espuma rígida - fibra-de-vidro*, montado sobre uma estrutura formadora de madeira também pelo processo *hand-lay-up*. Para facilidade de transporte em terra, o cone de cauda pode ser desconectado
- iii) O trem de pouso será construído com tubos de aço 4130 usando-se molas helicoidais para absorção de impactos no pouso.

COMPARAÇÃO COM AS PRINCIPAIS AERONAVES DA CATEGORIA

Acompanhando a filosofia do projeto, foram elaboradas gráficos comparativos utilizando os índices $CAFE_{Challenge}$ e $CAFE_{Triaviathon}$ como parâmetros de comparação.

Na figura 11 apresenta-se um gráfico comparativo contendo os valores do $CAFE_{Challenge}$ para o *Triathlon* na condição *utilitário* (dois tripulantes e tanque cheio) e de seus principais concorrentes.

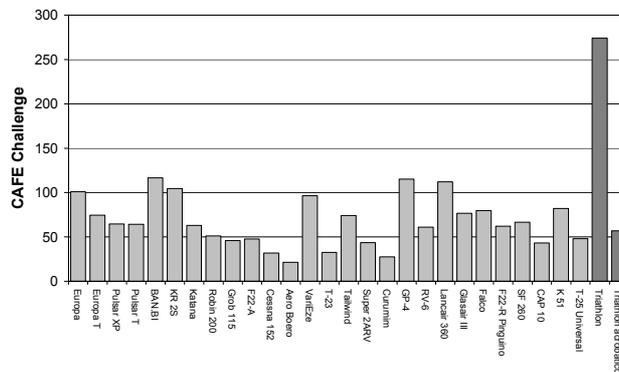


Figura 11 . Comparação do índice $CAFE_{Challenge}$

Observa-se que o *Triathlon* apresenta uma larga margem de vantagem sobre os demais.

Na figura 12 apresenta-se um gráfico comparativo dos valores do $CAFE_{Triaviathon}$ para as principais aeronaves da categoria onde o *Triathlon* comparece em duas condições: i) *utilitário*; ii) *acrobático* (um tripulante e tanque parcial).

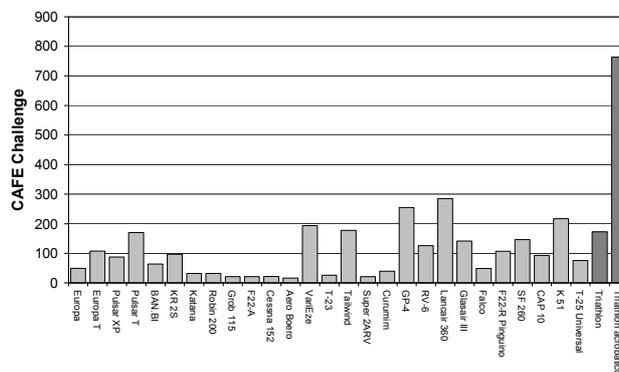


Figura 11 . Comparação do índice $CAFE_{Challenge}$

Observa-se que, para a condição *utilitário*, o *Triathlon* apresenta um desempenho a altura dos demais. Já na condição *acrobático*, o seu desempenho é muito superior.

CONCLUSÃO

Apresentou-se o projeto da aeronave CEA-306 CB.10 *Triathlon*, da categoria *JAR-VLA*, cuja característica principal é o seu desempenho como aeronave utilitária, de acordo com o índice $CAFE_{Challenge}$. Nesta condição, uma análise comparativa demonstrou que o *Triathlon* possui um desempenho superior aos seus congêneres. Também como aeronave acrobática, segundo o índice $CAFE_{Triaviathon}$, desde de que operado por um tripulante e com tanque parcial, o desempenho do *Triathlon* é bastante superior. Se for considerado o relativo antagonismo entre as categorias *utilitária* e *acrobática*, o bom desempenho do *Triathlon* nas duas categorias é um resultado surpreendente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] – Raymer, D.P., 1989, "Aircraft Design: A Conceptual Approach". Washington; AIAA Education Series.

[2] – Roskan, J., 1985, "Airplane Design". Ottawa; Roskan Aviation and Engineering Corporation.

[3] – Torenbeck, E., 1981, "Synthesis of Subsonic Airplane Design". Delft; Delft University Press.

[4] – Vandaele, J., 1962, "Apostila de Projeto de Aeronaves". São José dos Campos; ITA/CTA.

[5] – Seeley, B.A., 1993, "A tale of Two Trophies". Oshkosh; Sport Aviation; Experimental Aircraft Association; vol. 42; n° 10.

[6] – Barros, C.P., 1992, "Cálculos da Aeronave CB-9 "Curumim"". Belo Horizonte; CEA - EEUFMG.

[7] – Barros, C.P., 1999, "Projeto da Aeronave Leve de Alto Desempenho CB-10". Belo Horizonte; CEA – EEUFMG.

[8] – Poberezny, P., Schmid, S.H., 1970, "EAA Aircraft Series - File Number 3 - Design". Winsconsin; Experimental Aircraft Association.

[9] – Dodbelle, S.S.; Dam, C.P. van, 1986, "Design of Fuselage Shapes for Natural Laminar Flow". NACA Report 3970.

[10] – Somers, D. M., 1981, "Design and Experimental Results for a Flapped Natural - Laminar Flow Airfoil for General Aviation Applications". NASA Technical Paper 1865.

[11] – Abbot, I.H.; Doenhoff, A.E., 1958, "Theory of Wing Sections". New York; Dover Publications Inc.

[12] – Pullin, D.C., 1976, "Apostila de "Aerodinâmica do Avião ; Desempenho". Belo Horizonte; CEA-EEUFMG.

[13] – Hoerner, S.F., 1965, "Fluid Dynamic Drag". Publicado pelo autor.