

# 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:

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

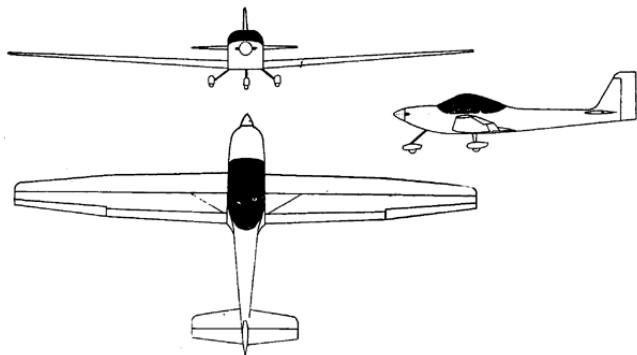
que combina velocidade máxima ( $V_{\text{max}}$ , em mph), consumo ( $C$ , em milhas/gal) e carga útil ( $W_U$ , em lbf).

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 ( $V_{\text{max}}$ , em mph), velocidade de estol ( $V_{\text{so}}$ , em mph), razão de subida ( $R/S$ , em ft/min).

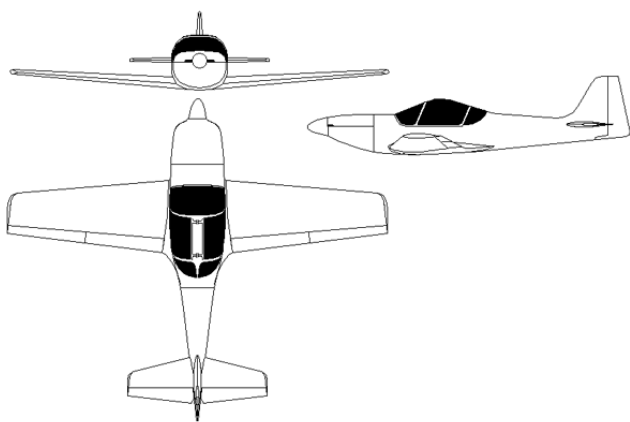
O projeto *Triathlon* é uma evolução do projeto CEA 205 – CB.9 – *Curumim*, um ultraleve de alto desempenho, com 14 metros de envergadura, 7.37 metros de comprimento, peso vazio de 300 kgf e razão de planeio de 18:1 (Figura 1) [6].



**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.

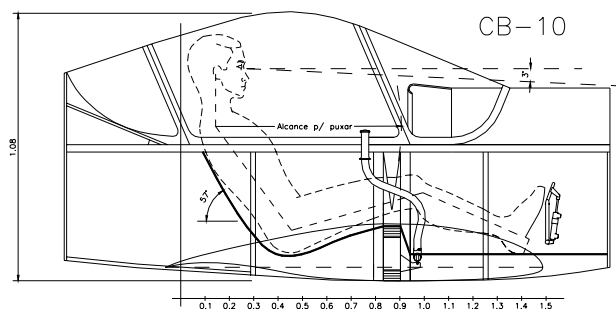
### FORMA EM PLANTA DA ASA

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].

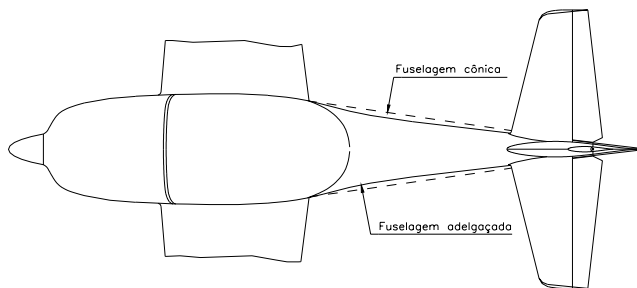
### FUSELAGEM

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 64<sub>1</sub>-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].

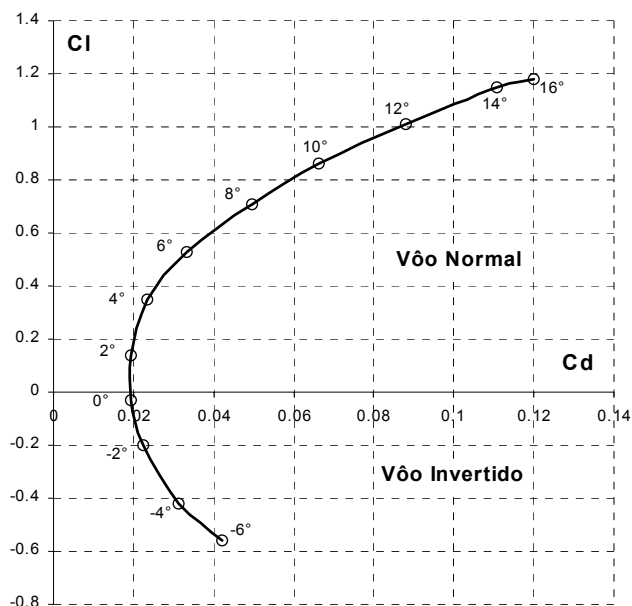
Esta opção, concordantemente, permitiu atender, simultaneamente, características utilitárias e esportivas, normalmente conflitantes.

**POLAR DE ARRASTO**

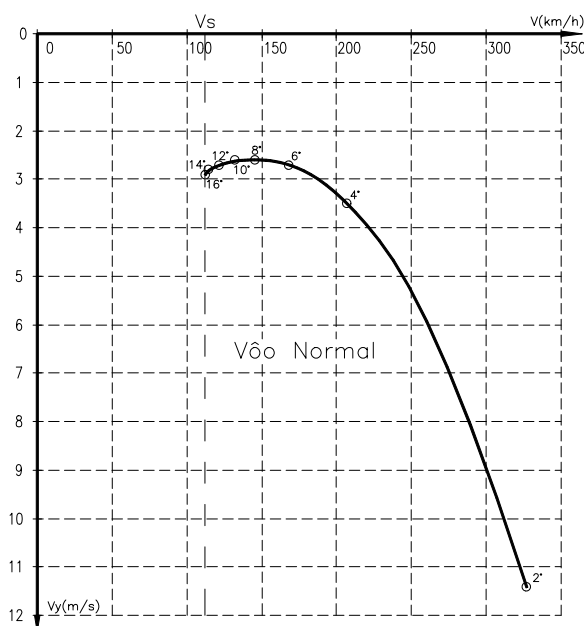
A polar de arrasto foi levantada utilizando Pullin [12] e Hoerner [13]. Foram obtidos resultados para

operação sob condições de atmosfera padrão e deflexão de  $-10^\circ$  para flapes/aileron.

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

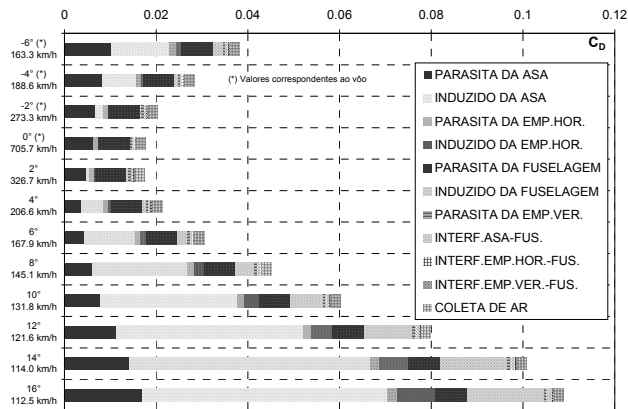


**Figura 5 . Polar de arrasto da aeronave completa utilitário**



**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.

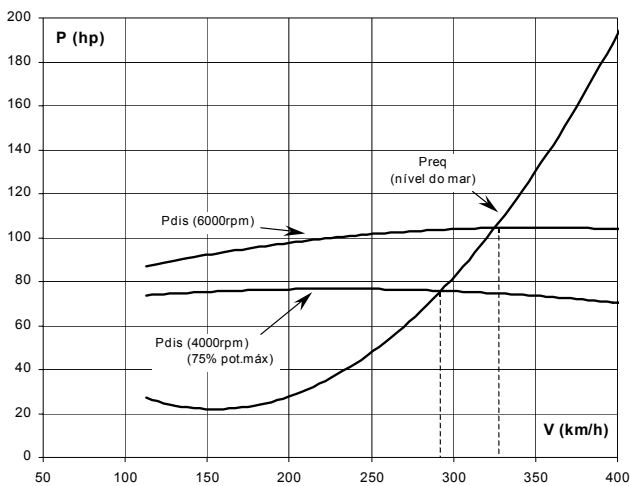


**Figura 7 . Contribuição das parcelas de arrasto para o valor global (kgf)**

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**

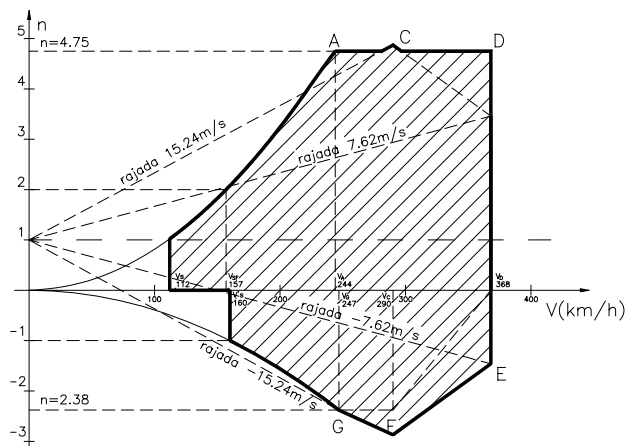
Os principais parâmetros de desempenho, nesta versão, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela1 . 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.

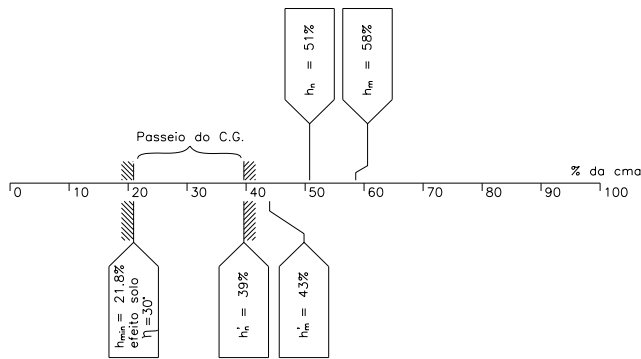


Figura 10 . Passeio do centro de gravidade

## 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.

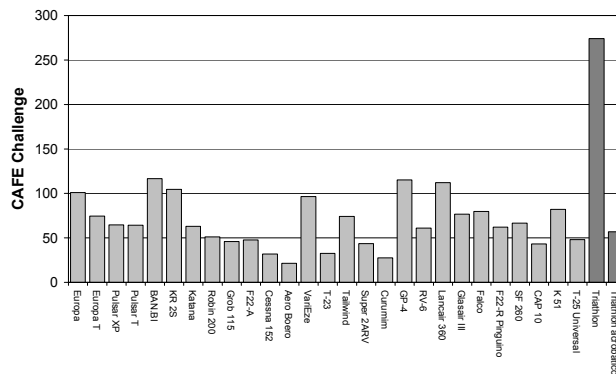


Figura 11 . Comparação do índice  $CAFE_{Challenge}$

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).

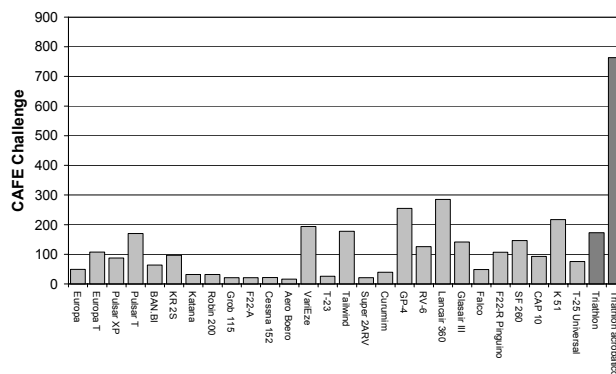


Figura 11 . Comparação do índice  $CAFE_{Challenge}$

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". Wiscconsin; 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.