

# ANÁLISE AERODINÂMICA E ESTRUTURAL DE ASAS PARA BAIXO NÚMERO DE REYNOLDS

P.E.C.S. Magalhães (1), A.E.C. Sobreira (1), G.T.S. Ribeiro (1), C.A. Cimini Jr. (1)

(1) Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, Belo Horizonte MG, CEP: 31.270-901.

**Palavras chaves:** Aerodinâmica, Baixo Reynolds, Aeromodelo, AeroDesign.

## RESUMO

A escolha dos parâmetros geométricos e aerodinâmicos da asa das aeronaves envolvidas na competição AeroDesign da SAE-Brasil tem se mostrado uma tarefa difícil em função das diversas alternativas possíveis e do baixo número de Reynolds envolvido (cerca de 250000 com base na corda média aerodinâmica da asa). Estas alternativas incluem variações na forma em planta da asa, envergadura ( $b$ ), afilamento ( $\lambda$ ), coeficientes de sustentação ( $c_L$ ) e arrasto ( $c_D$ ) e nos perfis utilizados. Com o objetivo de fornecer diretrizes para a adequada seleção dos valores para as grandezas citadas, foi desenvolvida a presente análise parametrizada.

O primeiro item a ser avaliado na concepção de uma asa é o perfil aerodinâmico a ser usado. Ao longo dos três anos em que a competição foi realizada no Brasil, convergiu-se para algumas escolhas comuns: os perfis de alta sustentação a baixo número de Reynolds desenvolvidos por Michael Selig (UIUC, Estados Unidos), perfis alemães para planadores (Wortmann) e perfis Eppler (NASA). Destes, os perfis Selig 1223, Selig 1210 e Wortmann FX74CL5140 têm apresentado melhores resultados. Estes perfis se destacaram por permitir elevados valores de carga útil transportada, que é o principal objetivo da competição. Portanto, foram considerados apenas estes três perfis nesta avaliação.

Visando obter o melhor desempenho aerodinâmico, foram investigadas as variações do coeficiente de sustentação máximo ( $c_{Lmáx}$ ) produzido pela asa e de sua máxima razão de planeio ( $(c_L/c_D)_{máxima}$ ) em função de diferentes escolhas para os parâmetros geométricos da asa. O  $c_{Lmáx}$  influi diretamente no valor da máxima carga útil transportada pela aeronave e a razão de planeio está associada ao desempenho da aeronave durante a decolagem (velocidade máxima). De forma a se avaliar simultaneamente estas duas características, estabeleceu-se um fator de qualidade aerodinâmica para a asa, conjugando-as por multiplicação. Matematicamente, a qualidade aerodinâmica será dada por:

$$IQ_A = c_{Lmáx} \cdot \left( \frac{c_L}{c_D} \right)_{máx}$$

A justificativa para a adoção deste índice é facilitar a comparação entre os diversos perfis, já que alguns deles proporcionam elevada sustentação com significativo arrasto e outros apresentam sustentação menor, mas elevada razão ( $c_L/c_D$ ). Asas com maior índice apresentariam, portanto, melhor desempenho aerodinâmico.

Estabelecido o critério de qualidade aerodinâmica para as asas, procedeu-se à análise paramétrica propriamente dita. Avaliando-se as aeronaves nas três edições da competição, verificou-se os limites de variação da envergadura e do afilamento que resultaram em melhor desempenho, a saber:

- envergadura : de 2,50 a 3,00 m;
- afilamento : de 0,50 a 1,00 (conforme se esperava da teoria aerodinâmica).

No tocante à forma em planta, foram consideradas duas formas simples: retangular e trapezoidal. A primeira apresenta melhores características de estol de ponta de asa, apesar do excesso de peso e resistência nas pontas. A forma trapezoidal é mais eficiente estruturalmente, apesar da maior tendência ao estol na região dos ailerons (McCORMICK, 1995). Na análise, foi usado o fato de que a asa retangular é uma asa trapezoidal degenerada, ou seja, com afilamento unitário.

Com relação à área de referência (exposta + interna à fuselagem) da asa,  $S$ , limitada pelas regras da competição, verifica-se que sua maximização resulta em ganho da sustentação. Como se deseja reduzir o arrasto da asa, projeta-se a asa com elevada razão de aspecto ( $A_R$ ), dada por:

$$A_R = \frac{b^2}{S}$$

A razão de aspecto influi diretamente no arrasto induzido da asa, como mostra a relação a seguir:

$$c_{Di} = \frac{c_L^2}{\pi \cdot A_R \cdot e}$$

em que  $e$  é o fator de Oswald (ANDERSON, 1992). Feitas estas observações, foi realizado o cálculo aerodinâmico da asa com base na metodologia sugerida pelo TN-D 6800 da NASA, citado por PULLIN (1976).

Uma elevada razão de aspecto, interessante aerodinamicamente, resulta em uma asa esbelta – grande envergadura e pequena corda – é indesejável do ponto de vista estrutural, já que implica em grandes valores de força cortante, momento fletor e de torção na raiz da asa. Para suportar estes esforços, torna-se necessária uma asa de elevada rigidez, com conseqüente aumento de peso. Este aumento significa uma redução na carga útil da aeronave, uma vez que sua sustentação está limitada por fatores aerodinâmicos. Constata-se, assim, que um bom projeto de asa está associado não só ao aspecto aerodinâmico mas também à sua correlação com o aspecto estrutural, principalmente quando a carga útil transportada é o objetivo mais importante.

Para tanto, em paralelo à análise aerodinâmica, foram calculados os valores dos esforços cortante, de flexão e de torção na raiz para cada asa com base na metodologia de Stender, citada em BARROS (2000). Com estes valores, estabeleceu-se um índice de qualidade estrutural dado pela relação:

$$IQ_E = \frac{100}{Q} + \frac{1000}{M_F} + \frac{1}{M_T}$$

em que  $Q$  é o esforço cortante,  $M_F$ , o momento fletor e  $M_T$ , o momento de torção, máximos para uma asa cantilever sem massas concentradas avaliados na raiz da asa. A escolha dos valores 100 N, 1000 Nm e 1 Nm foi feita considerando-se a potência de dez imediatamente superior à ordem dos valores obtidos respectivamente para o peso máximo estimado. Observa-se que o maior fator de qualidade será obtido para asas com valores pequenos para estes esforços.

Finalmente, a avaliação global da qualidade da asa é feita multiplicando-se os dois índices estabelecidos anteriormente após sua normalização, ou seja;

$$IQ = \left[ \frac{IQ_A}{(IQ_A)_{\max}} \right] \cdot \left[ \frac{IQ_E}{(IQ_E)_{\max}} \right]$$

Como resultados da análise proposta, foi obtido o gráfico da Fig. 1.

### Qualidade total da asa (normalizada)

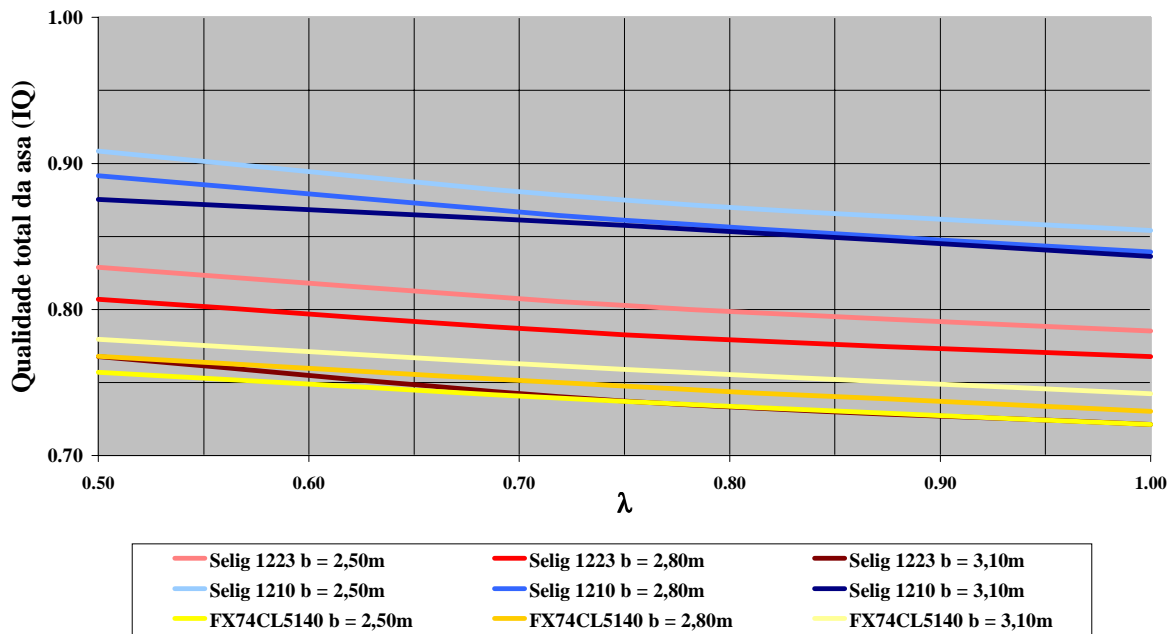


Figura 1 - Resultados da análise

Observa-se que a utilização do perfil Selig 1210 fornecerá asas com melhores características aerodinâmicas e estruturais simultaneamente, visto que esse perfil apresenta valores mais elevados de IQ. Considerando-se este perfil apenas, observa-se que uma asa com envergadura de 2,50m apresenta os maiores valores de IQ como consequência de suas características estruturais, aumentando com a redução do afilamento. Por outro lado, uma asa com o mesmo perfil e envergadura de 3,10m mostra elevada qualidade aerodinâmica devido a seus valores de  $(c_L/c_D)_{\max}$  com IQ também aumentando com a redução do afilamento. Afilamentos inferiores a 0,5 são inadequados por problemas de estabilidade estática. Conclui-se que a melhor asa para a aeronave em questão deverá possuir perfil Selig 1210, envergadura de 2,50m, e afilamento de 0,5 conjugando simultaneamente as melhores características estruturais e aerodinâmicas na determinação da qualidade da asa.

### REFERÊNCIAS

- [1] ANDERSON, J.D. *Fundamentals of aerodynamics*. McGraw-Hill, Inc., 2ª ed., Nova Iorque, 1992.
- [2] BARROS, C.P. *Desenvolvimento de uma metodologia para o projeto de aeronaves subsônicas leves*. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Belo Horizonte, 2000.
- [3] McCORMICK, B.W. *Aerodynamics, aeronautics and flight mechanics*. John Wiley and sons, 2ª ed., Nova Iorque, 1995.
- [4] PULLIN, D. *Aerodinâmica e desempenho da aeronave*. Centro de Estudos Aeronáuticos, EEUFMG, Belo Horizonte, 1976.