

PROJETO DE MOTOPLANADOR R/C CATEGORIA F5J

Oswaldo Palomba Neto

Fernanda Signor

Universidade Federal de Santa Maria (UFMS) - Av. Roraima, 1000

oswaldo.neto@ufsm.br

fernanda.signor@ufsm.br

Resumo. Propõe-se o projeto, análise aerodinâmica e construção de um motoplanador elétrico R/C para a categoria FAI F5J com estrutura mista em madeira e isopor. O projeto se dá através da análise da polar de velocidades objetivando-se fazer um planador que seja capaz de voar na mínima carga alar permitida e que minimize o mínimo afundamento melhorando a subida em térmicas.

Palavras chave: Aerodinâmica, F5J, Aeromodelo, Planadores

1. INTRODUÇÃO

A classe de competição FAI F5J atualmente é dominada por planadores de altíssimo desempenho que empregam uso extensivo de material composto. O projeto de um motoplanador com estrutura tradicional empregando madeira balsa se torna um grande desafio, visto que devido às propriedades mecânicas inferiores se torna inviável o projeto de planadores com alongamentos iguais aos planadores de compósitos. O custo de um motoplanador topo de linha bem como o emprego de materiais compósitos em projeto nacionais é demasiadamente alto e por isso no Brasil modelos de balsa com menor envergadura ainda são maioria nas competições.

Propôs-se, portanto, um projeto aerodinâmico e a construção de um planador com 2,5 m de envergadura com estrutura mista de madeira e isopor. O projeto tomou como base o planador nacional Tera V5. Estabeleceu-se como objetivo o uso da polar de velocidades trimada como parâmetro de análise de desempenho e buscou-se minimizar o mínimo afundamento através de uma maior área de asa. Isso permite que a estrutura fique no limite inferior de carga alar da categoria, mesmo quando construído sem madeiras ou materiais tão leves.

2. PROJETO

O projeto se deu através da análise dos requerimentos da categoria FAI F5J, apresentados em Internationale (2023) e também de comparativo com o planador nacional Tera V5. Para o projeto aerodinâmico, empregou-se o XFOIL calibrado com dados de túnel conforme o proposto por Kubrynski (2012) para o cálculo das polares de perfil acoplado com deduções da *Lifting Line Theory* (LLT) para a obtenção de polares de velocidade trimadas e de Reynolds variável conforme de Freitas Pinto *et al.* (1999).

2.1 Categoria FAI F5J

A categoria F5J consiste em uma competição de motoplanadores radiocontrolados regidos pela FAI (Federação Aeronáutica Internacional).

A competição consiste na realização de voos de no máximo 10 minutos, com uso de motor permitido somente uma vez, desde que o tempo não exceda os 30 segundos iniciais do voo. A pontuação é atribuída de acordo com a altura em que foi realizado o corte do motor, tempo de voo e proximidade do alvo após o pouso.

As restrições propostas pelo regulamento e que são aplicáveis ao projeto do planador estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1: Restrições da categoria FAI F5J

Requisito	Valor
Área máxima sustentadora (i)	150 dm ²
Massa total máxima (ii)	5 kg
Máxima envergadura (iii)	4 m
Carregamento total (iv)	12 à 75 g/dm ²

É interessante pontuar algumas restrições que não são usuais, sendo essas (i) e (iv):

- (i) → Esse valor de área máxima se refere à todas superfícies sustentadoras portanto engloba área das empenagens e canard's;
- (iv) → Esse valor é diferente do usual, carga alar, o cômputo é realizado levando em conta também a área de todas superfícies sustentadoras portanto no caso de um planador com empenagem convencional a carga alar real será maior que 12 g/dm².

2.2 Tera V5

O planador Tera V5 é um projeto nacional em madeira balsa que obteve grande sucesso nas competições, a Tabela 2 e Figura 1 apresentam as características gerais do planador.



Figura 1: Planador Tera V5

Tabela 2: Características do planador Tera V5

Parâmetro	Valor
Envergadura [m]	2,25
Comprimento [m]	1,03
Área de asa [m ²]	33,8
Alongamento [-]	15,0
Peso mínimo de voo [g]	568
Carga alar FAI [g/dm ²]	15,72
Carga alar [g/dm ²]	16,81

Apesar do excelente desempenho, alguns pontos de melhoria foram pontuados para serem incorporados no projeto aqui apresentado sendo esses:

- **Minimizar a relação de braço entre cauda e nariz** → no Tera V5 esse braço é de 7/1, ou seja, para cada grama na cauda são necessários 7 gramas no nariz para compensar o CG. Isso dificulta bastante que o planador final esteja na carga alar mínima FAI e exige o uso de materiais muito leves na cauda;
- **Articulação do leme e do profundor** → O ponto de articulação do leme se encontra justamente em um ponto que não é dobradiçado, conforme Figura 2, isso acarreta em folgas no comando.



Figura 2: Articulação do leme - Tera V5

2.3 Calibração XFOIL

Para a alimentação do cálculo aerodinâmico optou-se por análises realizadas no XFOIL com a calibração proposta por Kubrynski (2012). Realizou-se a simulação com o perfil AG35, amplamente utilizado na categoria, e os dados de túnel disponíveis em Lyon *et al.* (2012) para Reynolds - 100000, compatível com o do planador em voo. Conforme a Figura 3, obteve-se boa concordância com os dados experimentais, em azul, utilizando-se CFAC igual à 2 sendo este o valor adotado para a geração das polares de perfil.

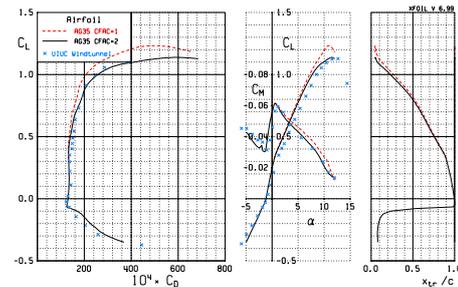


Figura 3: Calibração XFOIL

2.4 Forma em planta da asa

Adotou-se forma em planta elíptica para empenagens e para asa a forma em planta de Schuemman, Gudmundsson (2013), devido à limitação do método de fabricação escolhido para as asas. Como essas serão fabricadas com estrutura em isopor através de corte com fio quente, só é possível a realização de formas em plantas trapezoidais. A forma em planta de Schuemman aproxima-se da elíptica através do uso de três seções trapezoidais com afilamento variável. Para a definição do alongamento ótimo considerando o caso de envergadura fixa, realizou-se uma varredura conforme proposto Thomas and Milgram (1999). Vale pontuar que, devido à envergadura fixa em 2,5 m, o aumento de alongamento - que é responsável pela redução do arrasto induzido - ocorre através da redução de cordas da asa portanto, há uma redução do Reynolds com subsequente aumento do arrasto parasito. Assim, existe um alongamento ótimo de acordo com o parâmetro avaliado.

Avaliou-se varreduras de alongamento em busca do máximo planeio e do índice de mínimo afundamento, os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 4 com o perfil AG35.

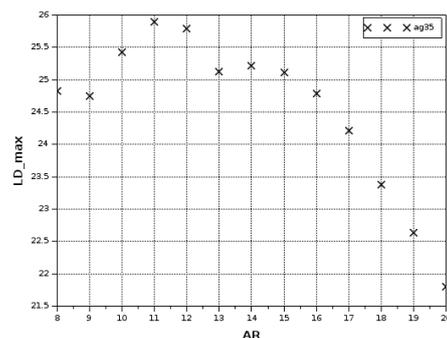


Figura 4: Máximo planeio x Alongamento

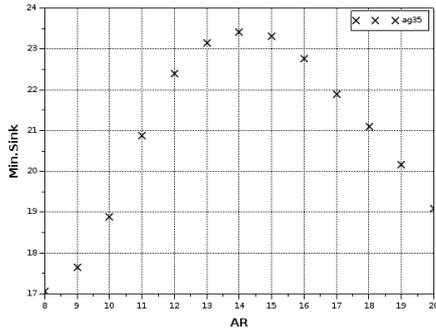


Figura 5: Mínimo afundamento x Alongamento

Optou-se, portanto, por adotar uma forma em planta com alongamento intermediário entre o de máximo planeio e o de mínimo afundamento. A forma em planta e seus parâmetros podem ser visualizados na Tabela 3.

A Figura 6 apresenta um comparativo entre a polar de velocidades da asa projetada, F5J de ponta e do Tera V5. Vale pontuar que essa polar de velocidades diferente das calculadas pela varredura é destrimada, levando em conta somente a aerodinâmica estimada da asa. Isso é feito já que a polar de velocidades completa não é fornecida pelos fabricantes. Logo, devido à essa limitação, espera-se que os valores apresentados sejam otimistas, mas ainda assim sirvam para comparações qualitativas. Pode-se visualizar os dados finais nas Figuras 8 e Tabela 3.

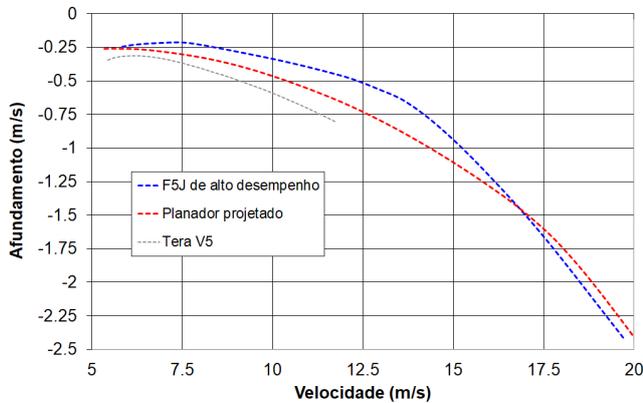


Figura 6: Comparativo de polares de velocidade

Nota-se que, conforme proposto, foi possível obter um mínimo afundamento mais próximo do de um F5J de ponta. Ainda, vale destacar que a diferença de desempenho se deve ao fato dos F5J's de ponta possuírem flaps, envergadura próxima ao limite de 4 m e também estrutura em material compósito, permitindo que mantenham a mínima carga alar da FAI apesar da maior envergadura.

2.5 Projeto da fuselagem

A fuselagem foi projetada com o estabilizador horizontal à frente do estabilizador vertical, permitindo assim que o leme esteja integrado na estrutura, melhorando a fixação e reduzindo folgas. Além disso, projetou-se a fuselagem também de modo a reduzir bastante o braço entre a cauda e o

nariz, chegando-se ao braço de 2,73 / 1.

2.6 Desempenho do planador completo

Para o cálculo da aerodinâmica do planador completo empregou-se a metodologia proposta por de Freitas Pinto *et al.* (1999) alimentando-se a asa e a empenagem horizontal com dados numéricos obtidos com o software XFLR5 e polares de perfil calibradas obtidas via XFOIL conforme o apresentado na Seção 2.3 calculando-se o arrasto da fuselagem e empenagem vertical através das metodologias empíricas apresentadas em Gudmundsson (2013). As características finais são apresentadas na Tabela 3 abaixo e pode-se visualizar o modelo CAD na Figura 7.

Tabela 3: Características do planador

Parâmetro	Valor
Envergadura [m]	2,50
Comprimento [m]	1,22
Área de asa [dm ²]	51,0
CMA [m]	0,220
S _{HT} [dm ²]	7,34
S _{VT} [dm ²]	3,53
Alongamento [-]	12,2
Peso mínimo de voo [g]	693
Carga alar FAI [g/dm ²]	12,06
Carga alar [g/dm ²]	13,59
Melhor Planeio [-]	19,3 / 1
Mínimo afundamento [m/s]	- 0,28

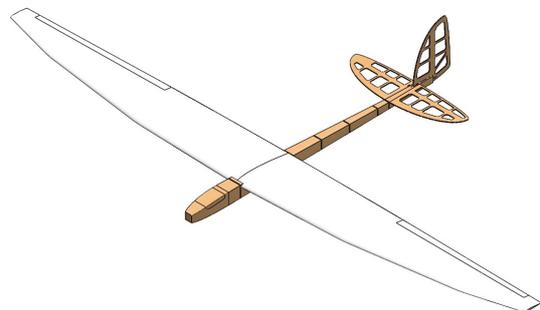


Figura 7: Vista isométrica do planador em CAD

A polar de velocidades e a decomposição de arrasto da configuração completa está apresentada nas Figuras 8 e 9 abaixo.

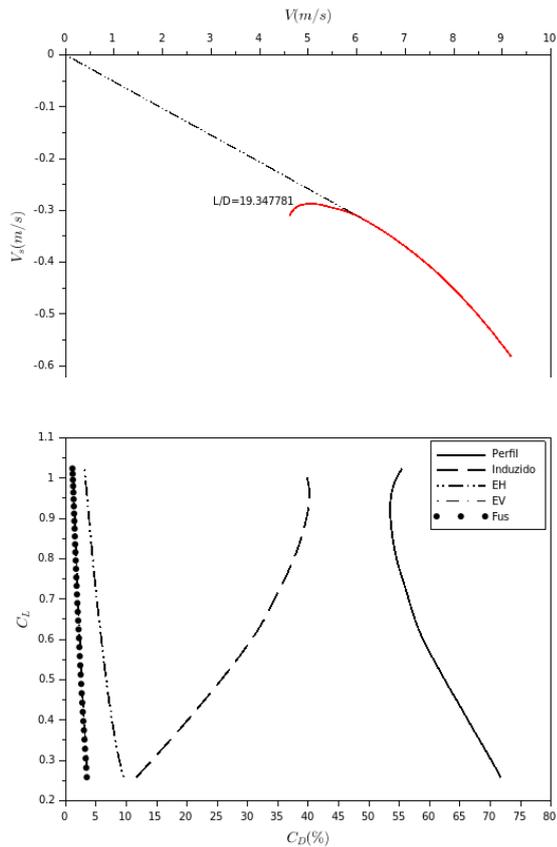


Figura 9: Porcentagem do arrasto total x coeficiente de sustentação

Nota-se que o arrasto total do planador é dominado pelo arrasto parasita e há possibilidade de melhoria no desempenho através da otimização do perfil.

3. FABRICAÇÃO E VOO

As Figuras 10 ilustram a construção do protótipo. Para a asa com estrutura primária em isopor e reforços de madeira balsa e varetas de fibra de vidro, optou-se pela fabricação através do corte em fio quente, cortando-se as 6 seções trapezoidais que compõem a forma em planta da asa.

A fuselagem foi construída com estrutura de balsa e reforços em acrílico, ambos cortados à laser e dispostos de encaixe e juntas chanfradas para a fixação da estrutura.

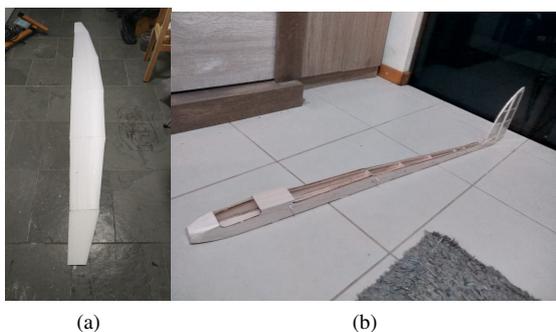


Figura 10: Planador em voo

Na Figura 11 visualiza-se o planador montado e na Figura 12 é apresentado o planador em voo.



Figura 11: Planador montado

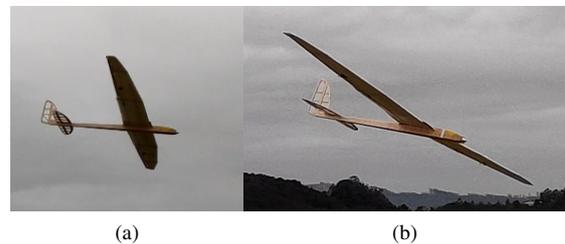


Figura 12: Planador em voo

4. RESULTADOS

Conclui-se que os objetivos propostos foram alcançados e conforme a Tabela 3, nota-se que o protótipo em sua configuração atual ficou muito próximo da carga alar mínima prevista pela FAI. Portanto, com 0,28 m/s de mínimo afundamento apresenta rendimento muito próximo aos 0,20 m/s de afundamento de um F5J de compósito e maior envergadura. Além disso, em voo, o planador apresentou boas características de estabilidade e controle e desempenho satisfatório.

- de Freitas Pinto, R.L.U., de Barros, C.P. and de Oliveira, P.H.I.A., 1999. "Um procedimento alternativo para cálculo aerodinâmico de aeronaves leves subsônicas".
- Gudmundsson, S., 2013. *General aviation aircraft design: Applied Methods and Procedures*. Butterworth-Heinemann.
- Internationale, F.A., 2023. "Fai sporting code - volume f5 radio control electric powered motor gliders".
- Kubrynski, K., 2012. "Design of a flapped laminar airfoil for high performance sailplane". In *30th AIAA Applied Aerodynamics Conference*. p. 2662.
- Lyon, C.A., Broeren, A.P., Giguere, P., Gopalarathnam, A. and Selig, M.S., 2012. *Summary of Low Speed Airfoil Data: Volume 5*. University of Illinois.
- Thomas, F. and Milgram, J., 1999. *Fundamentals of sailplane design*. College Park Press College Park, MD, New York.