

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AEROESPACIAL

**PROJETO DA ASA DO PLANADOR DE VOO
LIVRE “URUBUZINHO”**

RELATÓRIO FINAL DA DISCIPLINA DEM1106 – CPIO I

**Oswaldo P. Neto
Henrique Lima Goelzer
Manoel Fylipe L. de Oliveira**

Santa Maria, RS, Brasil

2017

**Oswaldo P. Neto
Henrique Lima Goelzer
Manoel Fylipe L. de Oliveira**

**PROJETO DA ASA DO PLANADOR DE VOO LIVRE
“URUBUZINHO”**

Dissertação apresentada à disciplina DEM1106 – Concepção, projeto, implementação e operação I do curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para aprovação na disciplina supracitada.

Orientador: Prof. André Luís Da Silva

Santa Maria, RS, Brasil

2017

EPÍGRAFE

“Se voar fosse a linguagem dos homens, o
voo a vela seria sua poesia. ”

(Autor Desconhecido)

RESUMO

Relatório Final

Disciplina DEM1106 – CPIO I do curso de Engenharia Aeroespacial
Universidade Federal de Santa Maria

PROJETO DA ASA DO PLANADOR DE VOO LIVRE “URUBUZINHO”

AUTORES: OSWALDO P. NETO, HENRIQUE LIMA GOELZER E MANOEL
FYLIPE L. DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: ANDRÉ LUIS DA SILVA

Data e Local: Santa Maria, 29 de novembro de 2017.

O objetivo desse relatório é apresentar os resultados, progressos e dificuldades encontradas pelo grupo no desenvolvimento da asa do planador “Urubuzinho”. Além de enfatizar técnicas e metodologias empregadas e como ocorre todo o processo que envolve a elaboração de uma asa, desde seu estudo inicial até as simulações e ajustes.

Palavras-chave: **Voo Livre. Voo a Vela. Planadores. Engenharia Aeroespacial. Aviação Civil. Indústria Aeronáutica Brasileira.**

ABSTRACT

Final Report
Aerospace Engineering DEM1106 – CPIO I discipline
Universidade Federal de Santa Maria

PROJECT OF THE WING FOR FREE FLIGHT SAILPLANE “URUBUZINHO”

AUTHORS: OSWALDO P. NETO, HENRIQUE LIMA GOELZER AND
MANOEL FYLIPE L. DE OLIVEIRA
ADVISOR: ANDRÉ LUIS DA SILVA

Place and Date: Santa Maria, November 29nd, 2017.

The objective of this report is present the results, progress and difficulties encountered by the group on development of the wing of “Urubuzinho” sailplane. Besides emphasize techniques and methodology used and how the whole process that involve the elaboration of a wing occurs, since it’s early study till simulation and adjustment.

Key words: Free Flight. Sailplanes. Soaring. Aerospace Engineering.
Aviation. Brazilian Aeronautical Industry.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPIO I.....	Concepção, Projeto, Implementação e Operação I
FAI.....	Fédération Aéronautique Internationale
AR.....	Aspect Ratio(Alongamento)
VNE.....	Velocidade Nunca Exceder
VI.....	Velocidade Indicada
AS.....	Alexander Schleicher
CFD.....	Computational Fluid Dynamics
C_l	Coeficiente de Sustentação
$C_{l\text{máximo}}$	Coeficiente de Sustentação Máximo
C_d	Coeficiente de Arrasto

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. PLANADORES	9
1.1.1. KW-1 Quero-Quero	9
1.1.2. SZD-51 Junior	10
1.1.3. KW-1 Quero-Quero vs SZD-51 Junior	10
2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	11
2.1. A CLASSE FAI F1	11
3. METODOLOGIA	11
3.1. ARTIGOS	11
3.1.1. Low Reynolds number airfoils:	11
3.1.2. The Spitfire wing planform: A suggestion:	12
3.1.3. Plantas: Aerobras Neguinho, Gafanhoto, Lobinho e Térmica II:	12
3.1.4. Descrição de propriedades do Freijó e Cedro pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica):	12
3.1.5. Escolhendo a Madeira para seu Avião:	12
3.1.6. A simplified method of airfoil design:	12
3.1.7. Aerodynamic structural design of the standard class sailplane ASW-24:	12
3.1.8. Descrição técnica do planador Jonker's JS-1 Revelation:	12
3.1.9. A note on low drag bodies:	13
3.1.10. Aerodynamic Design and Experimental Investigation of the Sailplane Wing Tip Devices:	13
3.1.11. Simulation and aerodynamic analysis of the flow around the sailplane using CFD techniques:	13
3.2. LIVROS	13
3.2.1. Fundamentals of sailplane Design:	13
3.2.3. Analysis of foils and wings operating at low reynolds number:	13
3.2.4. Fundamentos de engenharia aeronáutica com aplicações ao projeto SAE-Aerodesign:	13
3.2.5. Theory of wing sections:	14
3.2.6. Aircraft Design: A conceptual Approach:	14
3.3. UMA REFLEXÃO SOBRE AS DISCIPLINAS E SUAS APLICAÇÕES	14
4. CONCEPÇÃO:	15
4.1. O ESTUDO DO PERFIL DE ASA:	15
4.1.1. WORTMANN FX M2 AIRFOIL {1}:	16
4.1.2. NASA SC(2)-1006 AIRFOIL {2}:	16
5. CRONOGRAMA E ATIVIDADES	17
5.1. CRONOGRAMA DO PROJETO:	18
5.2. ESTRUTURAS	18
5.3. OTIMIZAÇÃO DA ASA	19
5.4. MODELAGEM:	20
5.5. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS	20

6.CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS	23

INTRODUÇÃO

A proposta apresentada pelo grupo para a disciplina de CPIO I foi a de projeto e construção de um planador de voo livre que se enquadra na classe FAI F1, a principal justificativa para tal projeto é a de preparar e familiarizar os integrantes do grupo com a engenharia aplicada aos planadores de tal forma que no final dos CPIO's o grupo seja capaz de realizar o anteprojeto completo de um planador monoplace homologado para instrução de 15 metros de envergadura que substitua o atual KW-1 Quero-Quero, usado largamente para a instrução de pilotos recém-habilitados pelo Brasil.

PLANADORES

O planador é uma aeronave que voa por meio de correntes ascendentes de ar as quais são encontradas em voo térmico, de onda ou de colina. Em sua maioria não tem motor, e nos que tem a única função do motor é permitir que o planador decole sem auxílio de aeronave rebocadora ou guincho, tão cedo quanto possível o motor é desligado, há também os motores do tipo sustainer cujo objetivo é apenas manter voo planado em uma razão de subida baixa, permitindo que o piloto retorne para casa e não realize pouso fora.

KW-1 Quero-Quero

O planador KW-1 Quero-Quero (Imagem da Direita) foi construído em 1968 pelo engenheiro alemão Kuno Widmaier, logo nos anos seguintes o projeto de Kuno foi o escolhido como planador de instrução monoplace que foi comprado pelo governo brasileiro e distribuído ao redor do Brasil para fomento das atividades aeronáuticas. Foram distribuídos mais de 156 “Queréus” ao redor do Brasil, inclusive o planador ainda é vastamente utilizado nos campeonatos brasileiros voo a vela.

O KW-1 para a época foi um projeto revolucionário, extremamente leve, construção simples e todo de madeira, como visto na imagem abaixo, porém nos anos atuais esse brilho se apaga diante dos planadores modernos de fibra, com trem retrátil e projeto aerodinâmico mais fino.



Fonte: (Klaus Widmaier, Acervo Pessoal).



Fonte: (Aeroclube de Bauru , Acervo).

Abaixo algumas especificações do KW-1 Quero-Quero:
Carga Alar Máxima – 23 kg/m²;

AR (Alongamento) – 18;

Peso Vazio – 185 kg com variação de até 10 kg entre cada planador (OBS: Devido à construção de madeira);

Melhor Planeio Teórico – 28/1 à 73 km/h;

Menor Afundamento – 0,64 m/s à 62 km/h;

VNE (Velocidade Nunca Exceder) – 159 km/h VI(Velocidade Indicada).

SZD-51 Junior

O planador polonês da PZL-Bielsko (imagens abaixo) foi projetado e construído para ser um planador monoplace de instrução, barato, de fácil construção e competitivo com objetivo de baratear os custos do voo à vela internacionalmente e difundir o esporte.



Fonte: (PZL- Bielsko, Acervo).



Fonte: (Google Imagens).

Abaixo algumas especificações do SZD-51 Junior:

Carga Alar Máxima – 28,4 kg/m²

AR - 18

Peso Vazio - 242 kg

Melhor Planeio Teórico – 35/1 à 80 km/h

Mínimo Afundamento – 0,59 m/s à 72 km/h

VNE – 220 km/h

KW-1 Quero-Quero vs SZD-51 Junior

Podemos notar de acordo com as especificações acima a superioridade de performance do planador polonês, o menor mínimo afundamento propicia um maior aproveitamento das térmicas e além disso ele ocorre em velocidade maior o que permite que nos planeios ele desenvolva maior velocidade. O melhor planeio mais alto propicia ao planador polonês mais alcance, enquanto o Quero-Quero necessitaria girar duas ou mais térmicas o polonês gira

apenas uma e depois mantém voo nivelado apenas delfinhando para ganhar altura, sem precisar girar tantas térmicas.

A VNE (Velocidade Nunca Exceder) do planador polonês é maior, permitindo que ele desenvolva mais velocidade.

Para corrigir a superioridade de performance existe o Handicap, porém para diferenças tão grandes de performance acaba não correspondendo a real diferença de performance em voo.

OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Visto a clara superioridade do planador polonês, é totalmente justificado a necessidade de um projeto nacional de um planador de performance que cumpra os requisitos de planador de instrução, ou seja, tenha baixo custo, tenha pilotagem dócil, fácil montagem, desmontagem, operação e consiga ser competitivo perante aos planadores modernos.

Numa primeira instância, foi decidido que faríamos o projeto de um planador classe FAI-F1, mas graças a alguns contratempos, e falta de conhecimento prévio vindo por parte dos integrantes, onde os estudos sobre os conhecimentos necessários acabaram por tomar mais tempo que o calculado inicialmente, impedira a construção do planador completo, de forma que o projeto teve de ser alterado para um estudo detalhado da asa do mesmo planador, de modo que conseguimos aprofundar os conhecimentos em aerodinâmica, e nos mecanismos de sustentação de uma asa durante o voo. Além disso, conseguimos verificar e elencar quais são as disciplinas que deveremos dar uma atenção especial nos semestres seguintes devido a sua aplicação em etapas posteriores do nosso projeto, além de aperfeiçoar as já realizadas ao longo do tempo.

A CLASSE FAI F1

O regulamento da FAI não especifica diretamente parâmetros de construção, apenas os separa em categorias para competição, no nosso caso a escolhida foi a de um planador que seja rebocado por corda de nylon de 50 m de comprimento.

METODOLOGIA

Tendo em vista que é o primeiro contato dos integrantes do grupo com a situação de concepção de uma aeronave foi adotada a seguinte estratégia, delimitamos alguns artigos e livros que seriam utilizados para estudo e aplicação direta e futura no nosso projeto de aeronave, devido às alterações do cronograma focamos no material que fornece informações sobre aerodinâmica e estruturas.

Os artigos e livros selecionados foram os seguintes:

ARTIGOS

Low Reynolds number airfoils:

Esse artigo versa sobre os perfis de baixo Reynolds, que é o caso do nosso projeto. O artigo já foi lido e debatido pelos três integrantes do grupo e deu as diretrizes necessárias para a elaboração do perfil de nosso planador.

The Spitfire wing planform: A suggestion:

Esse artigo versa sobre a geometria de asa do consagrado Spitfire, avião de caça da WWII. O artigo já foi lido e debatido pelos três integrantes do grupo e decidida a implantação da geometria elíptica na asa de nosso planador.

Plantas: Aerobras Neguinho, Gafanhoto, Lobinho e Térmica II:

Essas plantas são de kits de planadores de voo livre construídos e já operados por um dos integrantes do grupo, como o estudo estrutural da aeronave é complexo e requer conhecimento profundo de ciências de materiais, cargas e estruturas que são matérias ainda não cursadas pelos integrantes do grupo, adotamos a estratégia de usarmos essas plantas e os conhecimentos prévios e empíricos dos integrantes para a concepção estrutural da asa.

Descrição de propriedades do Freijó e Cedro pelo IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica):

Utilizamos essas informações para a decisão da madeira a ser utilizada para as longarinas do planador, a balsa constituirá boa parte da estrutura e em locais de maior esforço utilizaremos madeiras mais resistentes, como freijó, cedro e compensado.

Escolhendo a Madeira para seu Avião:

Esse artigo é destinado aos construtores amadores de aviões experimentais, traz uma descrição detalhada de como analisar algumas propriedades materiais da madeira, bem como escolher a posição das faces e veios e certificar-se que o material selecionado suportará os esforços exigidos pela sua função (longarina, tirantes, espião, nervura, etc). Os conhecimentos desse artigo serão aplicados futuramente no nosso projeto, na construção.

A simplified method of airfoil design:

Esse artigo foi lido e debatido pelos integrantes do grupo, apesar do artigo ser profundo foi de grande valia, pois direcionou os integrantes sobre como era possível construir nosso próprio perfil de asa e como relacionar os parâmetros necessários para a melhoria de performance e adequação ao nosso objetivo.

Aerodynamic structural design of the standard class sailplane ASW-24:

Esse artigo foi selecionado para ser lido sem muito aprofundamento, apenas para termos uma noção do que enfrentaremos nos CPIO's subsequentes, pois versa sobre um planador da classe Standard (15 m de envergadura) e também para termos algumas diretrizes de ordem estrutural e aerodinâmica que minimizadas podem também ser aplicadas a um planador de voo livre.

Descrição técnica do planador Jonker's JS-1 Revelation:

O planador da Jonker's foi analisado pelo grupo por ser o planador de maior sucesso na atualidade, o projeto é bem recente e traz várias inovações que serão bem-vindas e aplicadas pelo grupo nos CPIO's subsequentes, essa aeronave é vista como um modelo de performance e perfeição que poderá ser alcançado pelo grupo no futuro.

A note on low drag bodies:

Esse artigo será futuramente aplicado na construção da fuselagem de nosso planador, pois ele revolucionou o pensamento sobre fuselagens de planadores e passou a ser aplicado em todos os planadores sendo o primeiro o renomado planador alemão classe Standard ASW-24.

Aerodynamic Design and Experimental Investigation of the Sailplane Wing Tip Devices:

Esse artigo pode ser utilizado futuramente caso haja interesse e tempo para a aplicação de um dispositivo de ponta de asa em nosso planador.

Simulation and aerodynamic analysis of the flow around the sailplane using CFD techniques:

Esse artigo foi utilizado pelo grupo nas aplicações e estudo em CFD (Computação fluidodinâmica), pois os planadores de alta performance atuais têm boa parte de seu projeto realizado em CFD's, o que permite uma maior “finesse” aerodinâmica e também poupa muitas horas dos tão caros ensaios em voo. O grupo, nesse projeto utilizou a maioria dos parâmetros de cálculos semi-empíricos e realizou algumas simulações em CFD para comprovação dos resultados matemáticos e ajuste da asa, pretendemos nos próximos CPIO's gradualmente migrar do método semi-empírico para as simulações computacionais em sua totalidade.

LIVROS

Fundamentals of sailplane Design:

Esse livro versa sobre o projeto aprofundado da concepção de planadores, foi realizado um estudo e foram aplicados os conceitos cabíveis e condizentes ao nível de conhecimento do grupo em planadores de voo livre.

Analysis of foils and wings operating at low reynolds number:

Para o trabalho de seleção de perfil foi utilizado o software XFLR5®, consagrado e amplamente utilizado por equipes para a competição de engenharia SAE-AeroDesign. Sendo assim o manual foi estudado e os integrantes se familiarizaram com o software.

Fundamentos de engenharia aeronáutica com aplicações ao projeto SAE-AeroDesign:

Esse livro foi utilizado devido à abordagem mais simplificada aos importantes conceitos que envolvem o projeto de uma aeronave desde seu esboço até o voo propriamente

dito. É o livro que mais se adequa ao nível de conhecimento atual do grupo, por isso foi amplamente utilizado.

Theory of wing sections:

Esse livro versa profundamente sobre aerodinâmica, por isso utilizamos apenas algumas equações e um estudo simples para conhecimento e aplicação futura, em função da aplicação desse conteúdo utilizar matérias futuras.

Aircraft Design: A conceptual Approach:

Esse livro apesar de bastante denso e complexo trouxe uma metodologia muito eficaz para a concepção de aeronaves, por isso buscamos aplicar suas diretrizes da melhor maneira possível, de acordo com as dificuldades encontradas no trajeto.

UMA REFLEXÃO SOBRE AS DISCIPLINAS E SUAS APLICAÇÕES

Já no anteprojeto pudemos vivenciar a larga aplicação da disciplina de Cálculo “A”, sendo usada em diversas equações de variados campos, aerodinâmica, estruturas, desempenho e outras.

Também notamos a aplicação de toda a Física e Mecânica como base para as matérias específicas que tratam sobre aerodinâmica, estruturas e desempenho.

Na seção de aerodinâmica especificamente é notável a importância da disciplina de Mecânica dos Fluídos, escoamentos compressíveis e camada limite, para um estudo aprofundado e um ganho de performance significativo. Como essas disciplinas serão estudadas em semestre subsequentes o grupo se ateve ao estudo básico e superficial de aerodinâmica.

Na seção de estruturas especificamente é notável a importância da disciplina de Ciência dos Materiais, que serve de base para o estudo das estruturas aplicadas a aeronáutica. Devido à complexidade do estudo estrutural de uma aeronave o grupo optou por utilizar o método empírico e fazer a parte estrutural com margem de segurança grande, para os CPIO's seguintes o grupo com as disciplinas cursadas pode buscar maximizar as soluções estruturais e o ganho de desempenho da aeronave será inevitável.

Até o momento foram amplamente utilizados os conteúdos de Cálculo “A”, através do uso de derivadas e integrais, como no caso da equação do coeficiente do arrasto envolvendo corda.

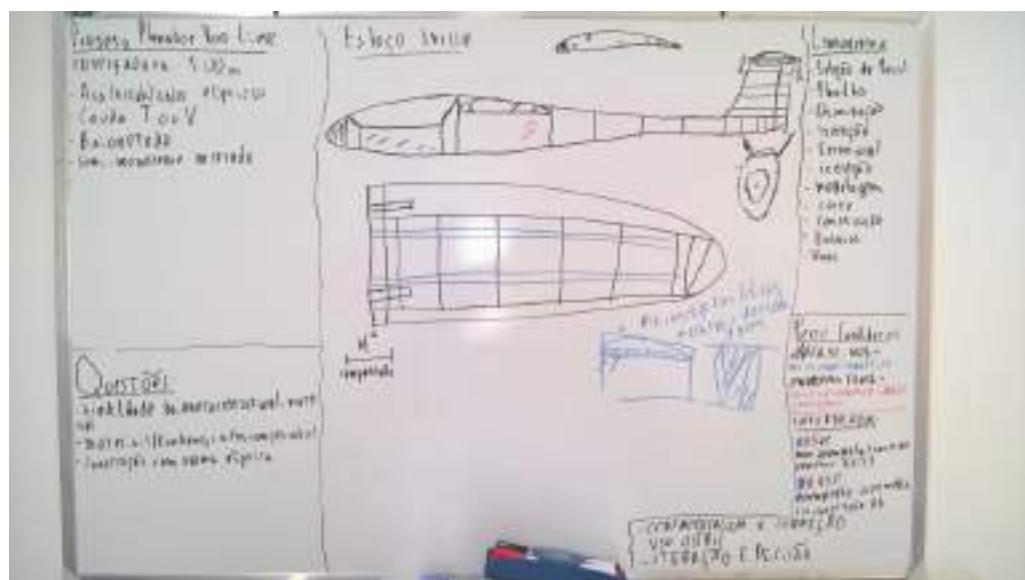
$$C_L = AR \sum_{i=1}^n \frac{C_{l_i} C_i \Delta y_i}{2b} = AR \int_0^1 \frac{c_l(y) c(y)}{2b} d\left(\frac{y}{s}\right)$$

Graças aos imprevistos ocorridos tivemos um vasto conhecimento adquirido também na parte de modelagem 3D, e devido aos conhecimentos de Desenho Técnico I, já conseguimos nos localizar inicialmente de forma básica no SOLIDWORKS®, graças aos conhecimentos já abordados sobre planos, perfis de desenho, representações isométricas, cavaleira simples. Também vimos na prática a questão do custo computacional na simulação de fluídos computacionais, assunto já debatido em Algoritmos e Programação e utilizamos conceitos já apresentados em Álgebra e Geometria Analítica, através de vetores, além disso o grupo visualizou de maneira prática os efeitos Coandă e Bernoulli pelas simulações realizadas na asa. Do mesmo modo por meio da simulação o grupo enxergou conhecimentos adquiridos

em Mecânica Estática, na área de esforços internos, e também de cargas distribuídas, que foram utilizadas para criar o modelo estrutural do planador.

CONCEPÇÃO:

Para a concepção do planador de voo livre resolvemos abordar o projeto da maneira mais fiel possível a de um planador real, então levamos em conta alguns fatores e objetivos de construção que não seriam adequados a um planador de voo livre, porém praticamente mandatórios a um planador real. Foi realizado um primeiro esboço do planador, elencadas algumas questões e estabelecido um cronograma, na figura a seguir:



Foi estabelecido para o planador uma envergadura de 1,00 m um pouco maior que os de voo livre comuns que tem envergadura por volta de 80 ou 90 cm, devido a maior performance e ainda a manutenção da facilidade de construção.

A geometria da asa escolhida foi elíptica, apesar de apresentar maior dificuldade de construção e ser mais cara se comparada com a retangular, trapezoidal ou mista, apresenta a melhor eficiência aerodinâmica. Foi utilizado para o projeto e futura construção o artigo Spitfire: a wing planform suggestion.

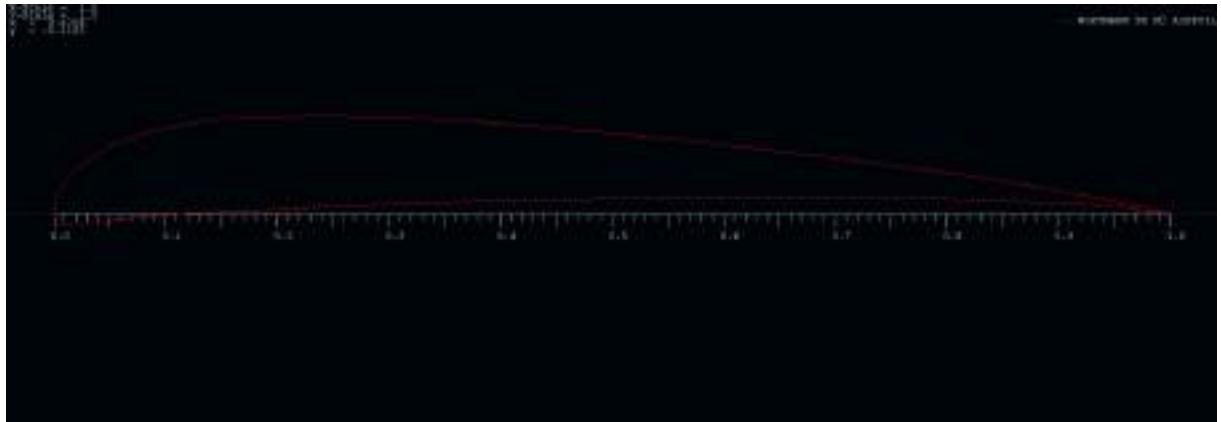
O ESTUDO DO PERFIL DE ASA:

Para a concepção do perfil de asa de nosso projeto foi necessário definir o Reynolds do voo de nosso planador, que foi determinado empiricamente com base no voo de outros planadores de voo livre, sendo assim obtemos como um valor razoável um Reynolds entre 15000 e 20000 e Mach 0,0097. Esses valores foram utilizados para definir o regime de escoamento utilizado para o estudo dos perfis, que foi realizado no Software XFLR5®.

Notamos que de acordo com P. B. S. Lissaman (1983), em Reynolds baixos os perfis de maior eficiência são os finos, e também certificamos que o escoamento é praticamente inteiro turbulento, assim não é possível a busca do tão sonhado fluxo laminar, um diferencial de performance em planadores reais.

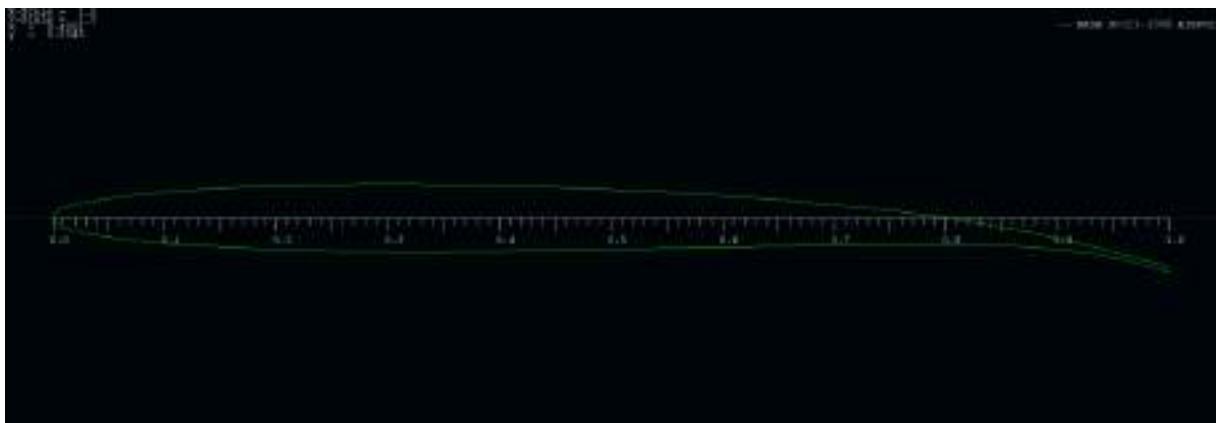
A seleção de perfis foi totalmente manual, sendo feita analise num banco de dados que contém 1730 perfis, após uma análise primária sobraram para seleção dois perfis, listados a seguir:

WORTMANN FX M2 AIRFOIL {1}:



Esse perfil foi selecionado por ter performance razoável e ser construtivamente ideal, as nervuras seriam maiores e assim seria mais fácil de abrigar as longarinas. O bordo de fuga não é extremamente fino, sendo assim não necessita de uma madeira mais resistente e, por conseguinte mais pesada.

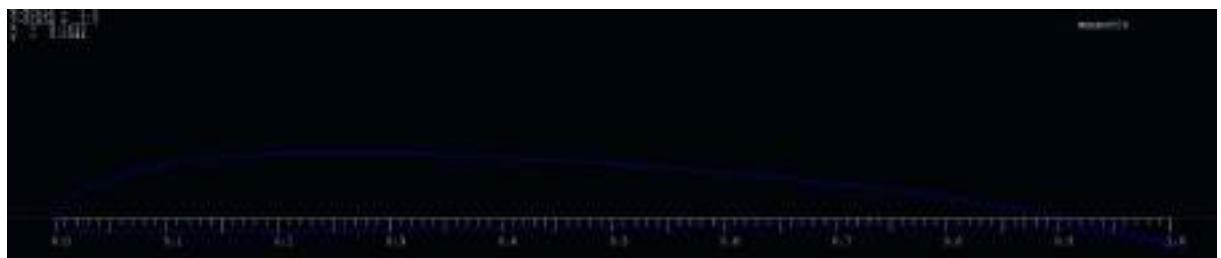
NASA SC(2)-1006 AIRFOIL {2}:



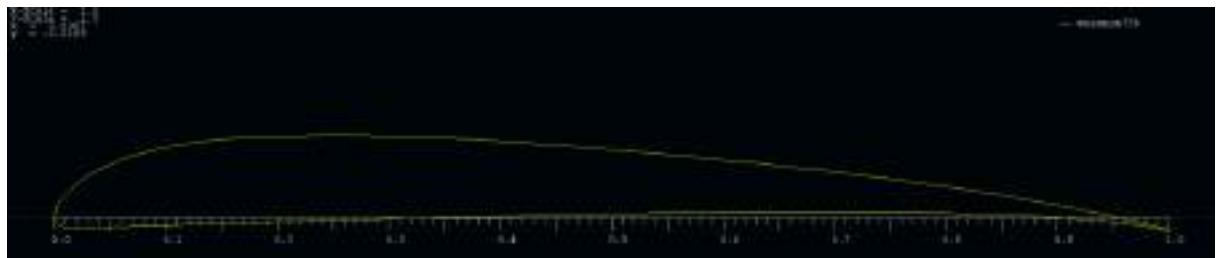
Esse perfil foi selecionado por apresentar o melhor resultado do ponto de vista de desempenho, porém era construtivamente impossível de ser realizado, o perfil é extremamente fino, sendo assim não haveria espaço suficiente para abrigar longarinas e espião, além disso necessitaria de um material mais resistente para sua construção.

Após essas considerações resolvemos interpolar os dois perfis candidatos para obtermos a melhor relação entre performance e construção, foram geradas duas interpolações listadas a seguir:

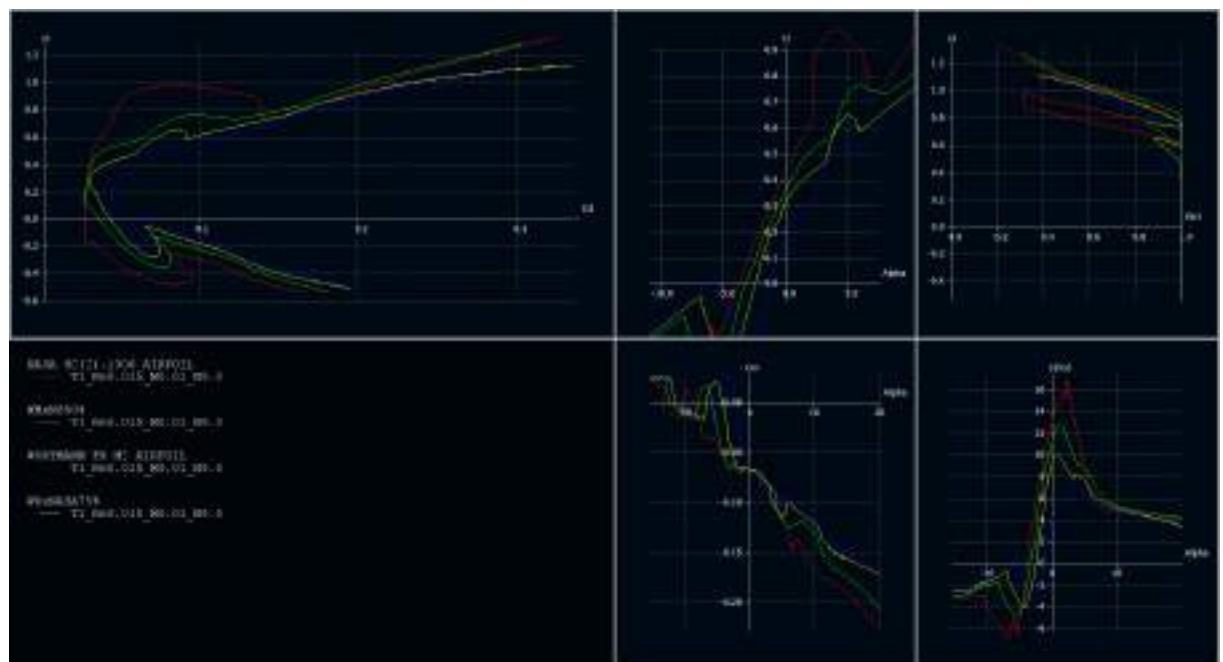
Interpolado 50% {3}



Interpolado 75% {4}



Comparativo entre os quatro perfis:



Após analisados os parâmetros (expostos graficamente na figura acima) de C_l máximo, polar de arrasto ($C_l \times C_d$) e Eficiência (C_l/C_d), foi decidido que o perfil mais adequado seria {4}, pois o perfil {3} apesar do melhor desempenho ainda implicaria em problemas de viabilidade construtiva e como o grupo não pode fazer uma análise estrutural profunda fomos obrigados a adotar uma alta margem de segurança e assim o perfil {4} se sagrou escolhido.

CRONOGRAMA E ATIVIDADES

O grupo optou por reuniões semanais as segundas e quartas-feiras e também o horário do CPIO I na terça-feira para a realização de todas as atividades, estabelecemos a meta de realizarmos todas atividades que foram possíveis juntamente para uma melhor discussão e debate, porém sempre que necessário marcamos reuniões esporádicas ou realizamos atividades individualmente e disponibilizamos aos outros integrantes.

Foi decidido que os três integrantes serão igualmente responsáveis por todos os itens e áreas do projeto, visto que o principal objetivo é o aprendizado de todos em todas as áreas que envolvem a concepção e a construção da aeronave.

Abaixo estão as partes em que o projeto foi dividido bem como em qual fase ele se encontrará explicado detalhadamente:

1. Esboço inicial (Anteprojeto);
2. Seleção de perfil (Anteprojeto);
3. Otimização da aeronave (Relatório Parcial);
4. Estruturas (Relatório Final);
5. Otimização da Asa (Relatório Final);
6. Modelagem (Relatório Final);
7. Simulações (Relatório Final);
8. Corte (Semestres Futuros);
9. Construção (Semestres Futuros);
10. Voo (Semestres Futuros);
11. Montagem de Apresentação (Semana de Apresentação).

CRONOGRAMA DO PROJETO:

- 17/09-07/10: Otimização da Aeronave (Completo);
- 08/10-16/10: Elaboração do relatório (Completo);
- 16/10: Relatório parcial (Completo);
- 16/10-23/10: Otimização da Asa e Iterações (Completo);
- 23/10-27/10: Estruturas e Desempenho (Completo);
- (Semestres Futuros): Desempenho e Modelagem da fuselagem;
- 20/11-27/11: Modelagem da Asa (Completo);
- (Semestres Futuros): Compra de Material, Corte e Construção;
- 26/11-02/12: Elaboração do relatório Final (Completo);
- 02/12: Relatório final (Completo);
- (Semestres Futuros): Construção e Voo;
- 02/12-10/12: Elaboração do material de apresentação (Em Andamento);
- 15/12: Apresentação do projeto.

Como a seção de anteprojeto e seleção de perfil já foi explicada, segue uma síntese do que será feito nas fases posteriores do projeto.

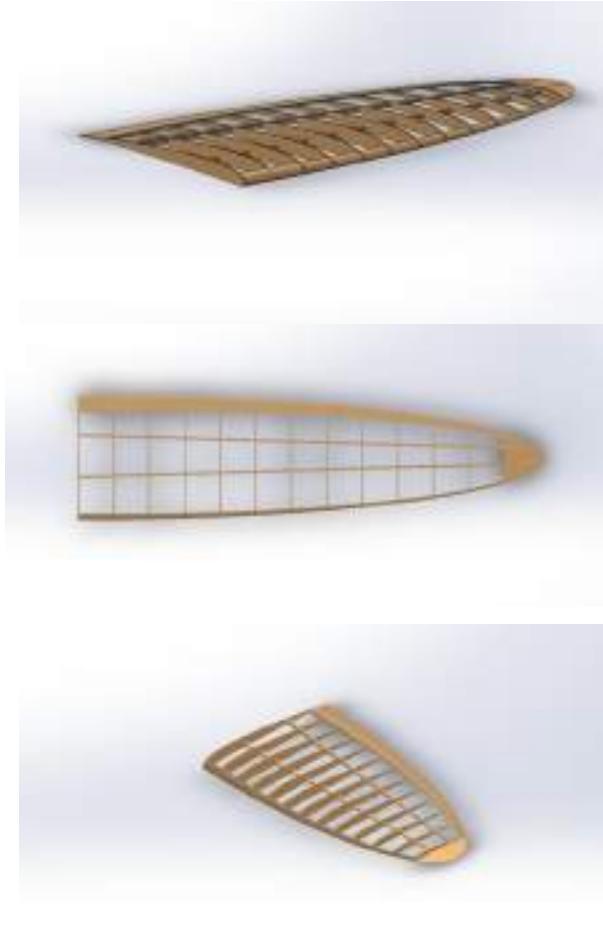
ESTRUTURAS

Nessa fase nos baseamos na planta do planador “Gafanhoto” para o modelo estrutural da asa. Em função dos nossos objetivos, desenvolvemos uma estrutura construtivamente viável e ao mesmo tempo eficaz, os aspectos da armação são destacados e justificados abaixo.

-Posição das longarinas: as duas longarinas não foram posicionadas no terço da corda em função da grande lacuna entre o bordo de fuga, essa disposição auxilia na resistência da força de torção. Além disso, a asa sofrerá flexão e esforços baixos.

-Bordos de ataque e fuga: optamos por bordos maciços para impedir a torção.

-Ponta de asa: utilizamos um perfil chato para facilitar a construção, pois o trabalho com balsa naquela espessura é complexo.



Imagens dos modelos estruturais e planta do “Gafanhoto”.

OTIMIZAÇÃO DA ASA

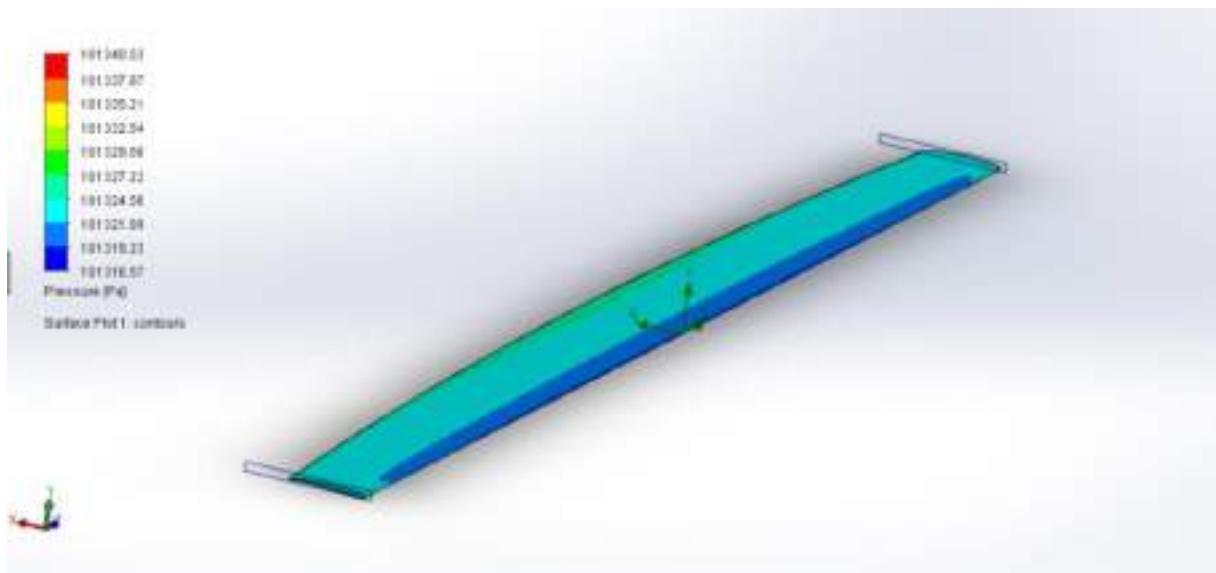
Essa etapa foi essencial para definição da corda (distância entre o bordo de ataque e o de fuga) e o ângulo de incidência da asa (ângulo formado entre a corda média da asa e o eixo longitudinal na aeronave). Utilizamos equações e métodos semi-empíricos dos autores Miranda (2014), Abbot (1959), Raymer (2012) e Thomas (1999), tais técnicas são popularmente utilizadas por equipes de Aerodesign. O método consiste na construção de uma tabela que agrupa vários valores (ângulos, cordas, C_l , C_d , C_m , alongamento, afilamento, área da asa) que variam em intervalos regulares, que fazemos os cálculos caso a caso e escolhemos manualmente o melhor resultado. Além disso, utilizamos o software XFLR5® para comprovação da seleção por meio de simulações.

WING ASPECT RATIO					
W	R	z	Wz	Rz	Rz/R
10.0	0.135	0.0	0.0	0.0	0.0
10.1	0.135	0.0	0.000990	0.000990	0.000990
10.2	0.135	0.0	0.001980	0.001980	0.001980
10.3	0.135	0.0	0.002970	0.002970	0.002970
10.4	0.135	0.0	0.003960	0.003960	0.003960
10.5	0.135	0.0	0.004950	0.004950	0.004950
10.6	0.135	0.0	0.005940	0.005940	0.005940
10.7	0.135	0.0	0.006930	0.006930	0.006930
10.8	0.135	0.0	0.007920	0.007920	0.007920
10.9	0.135	0.0	0.008910	0.008910	0.008910
11.0	0.135	0.0	0.009900	0.009900	0.009900
11.1	0.135	0.0	0.010890	0.010890	0.010890
11.2	0.135	0.0	0.011880	0.011880	0.011880
11.3	0.135	0.0	0.012870	0.012870	0.012870
11.4	0.135	0.0	0.013860	0.013860	0.013860
11.5	0.135	0.0	0.014850	0.014850	0.014850
11.6	0.135	0.0	0.015840	0.015840	0.015840
11.7	0.135	0.0	0.016830	0.016830	0.016830
11.8	0.135	0.0	0.017820	0.017820	0.017820
11.9	0.135	0.0	0.018810	0.018810	0.018810
12.0	0.135	0.0	0.019800	0.019800	0.019800
12.1	0.135	0.0	0.020790	0.020790	0.020790
12.2	0.135	0.0	0.021780	0.021780	0.021780
12.3	0.135	0.0	0.022770	0.022770	0.022770
12.4	0.135	0.0	0.023760	0.023760	0.023760
12.5	0.135	0.0	0.024750	0.024750	0.024750
12.6	0.135	0.0	0.025740	0.025740	0.025740
12.7	0.135	0.0	0.026730	0.026730	0.026730
12.8	0.135	0.0	0.027720	0.027720	0.027720
12.9	0.135	0.0	0.028710	0.028710	0.028710
13.0	0.135	0.0	0.029700	0.029700	0.029700
13.1	0.135	0.0	0.030690	0.030690	0.030690
13.2	0.135	0.0	0.031680	0.031680	0.031680
13.3	0.135	0.0	0.032670	0.032670	0.032670
13.4	0.135	0.0	0.033660	0.033660	0.033660
13.5	0.135	0.0	0.034650	0.034650	0.034650
13.6	0.135	0.0	0.035640	0.035640	0.035640
13.7	0.135	0.0	0.036630	0.036630	0.036630
13.8	0.135	0.0	0.037620	0.037620	0.037620
13.9	0.135	0.0	0.038610	0.038610	0.038610
14.0	0.135	0.0	0.039600	0.039600	0.039600
14.1	0.135	0.0	0.040590	0.040590	0.040590
14.2	0.135	0.0	0.041580	0.041580	0.041580
14.3	0.135	0.0	0.042570	0.042570	0.042570
14.4	0.135	0.0	0.043560	0.043560	0.043560
14.5	0.135	0.0	0.044550	0.044550	0.044550
14.6	0.135	0.0	0.045540	0.045540	0.045540
14.7	0.135	0.0	0.046530	0.046530	0.046530
14.8	0.135	0.0	0.047520	0.047520	0.047520
14.9	0.135	0.0	0.048510	0.048510	0.048510
15.0	0.135	0.0	0.049500	0.049500	0.049500
15.1	0.135	0.0	0.050490	0.050490	0.050490
15.2	0.135	0.0	0.051480	0.051480	0.051480
15.3	0.135	0.0	0.052470	0.052470	0.052470
15.4	0.135	0.0	0.053460	0.053460	0.053460
15.5	0.135	0.0	0.054450	0.054450	0.054450
15.6	0.135	0.0	0.055440	0.055440	0.055440
15.7	0.135	0.0	0.056430	0.056430	0.056430
15.8	0.135	0.0	0.057420	0.057420	0.057420
15.9	0.135	0.0	0.058410	0.058410	0.058410
16.0	0.135	0.0	0.059400	0.059400	0.059400
16.1	0.135	0.0	0.060390	0.060390	0.060390
16.2	0.135	0.0	0.061380	0.061380	0.061380
16.3	0.135	0.0	0.062370	0.062370	0.062370
16.4	0.135	0.0	0.063360	0.063360	0.063360
16.5	0.135	0.0	0.064350	0.064350	0.064350
16.6	0.135	0.0	0.065340	0.065340	0.065340
16.7	0.135	0.0	0.066330	0.066330	0.066330
16.8	0.135	0.0	0.067320	0.067320	0.067320
16.9	0.135	0.0	0.068310	0.068310	0.068310
17.0	0.135	0.0	0.069300	0.069300	0.069300
17.1	0.135	0.0	0.070290	0.070290	0.070290
17.2	0.135	0.0	0.071280	0.071280	0.071280
17.3	0.135	0.0	0.072270	0.072270	0.072270
17.4	0.135	0.0	0.073260	0.073260	0.073260
17.5	0.135	0.0	0.074250	0.074250	0.074250
17.6	0.135	0.0	0.075240	0.075240	0.075240
17.7	0.135	0.0	0.076230	0.076230	0.076230
17.8	0.135	0.0	0.077220	0.077220	0.077220
17.9	0.135	0.0	0.078210	0.078210	0.078210
18.0	0.135	0.0	0.079200	0.079200	0.079200
18.1	0.135	0.0	0.080190	0.080190	0.080190
18.2	0.135	0.0	0.081180	0.081180	0.081180
18.3	0.135	0.0	0.082170	0.082170	0.082170
18.4	0.135	0.0	0.083160	0.083160	0.083160
18.5	0.135	0.0	0.084150	0.084150	0.084150
18.6	0.135	0.0	0.085140	0.085140	0.085140
18.7	0.135	0.0	0.086130	0.086130	0.086130
18.8	0.135	0.0	0.087120	0.087120	0.087120
18.9	0.135	0.0	0.088110	0.088110	0.088110
19.0	0.135	0.0	0.089100	0.089100	0.089100
19.1	0.135	0.0	0.090090	0.090090	0.090090
19.2	0.135	0.0	0.091080	0.091080	0.091080
19.3	0.135	0.0	0.092070	0.092070	0.092070
19.4	0.135	0.0	0.093060	0.093060	0.093060
19.5	0.135	0.0	0.094050	0.094050	0.094050
19.6	0.135	0.0	0.095040	0.095040	0.095040
19.7	0.135	0.0	0.096030	0.096030	0.096030
19.8	0.135	0.0	0.097020	0.097020	0.097020
19.9	0.135	0.0	0.098010	0.098010	0.098010
20.0	0.135	0.0	0.099000	0.099000	0.099000
20.1	0.135	0.0	0.100000	0.100000	0.100000
20.2	0.135	0.0	0.101000	0.101000	0.101000
20.3	0.135	0.0	0.102000	0.102000	0.102000
20.4	0.135	0.0	0.103000	0.103000	0.103000
20.5	0.135	0.0	0.104000	0.104000	0.104000
20.6	0.135	0.0	0.105000	0.105000	0.105000
20.7	0.135	0.0	0.106000	0.106000	0.106000
20.8	0.135	0.0	0.107000	0.107000	0.107000
20.9	0.135	0.0	0.108000	0.108000	0.108000
21.0	0.135	0.0	0.109000	0.109000	0.109000
21.1	0.135	0.0	0.110000	0.110000	0.110000
21.2	0.135	0.0	0.111000	0.111000	0.111000
21.3	0.135	0.0	0.112000	0.112000	0.112000
21.4	0.135	0.0	0.113000	0.113000	0.113000
21.5	0.135	0.0	0.114000	0.114000	0.114000
21.6	0.135	0.0	0.115000	0.115000	0.115000
21.7	0.135	0.0	0.116000	0.116000	0.116000
21.8	0.135	0.0	0.117000	0.117000	0.117000
21.9	0.135	0.0	0.118000	0.118000	0.118000
22.0	0.135	0.0	0.119000	0.119000	0.119000
22.1	0.135	0.0	0.120000	0.120000	0.120000
22.2	0.135	0.0	0.121000	0.121000	0.121000
22.3	0.135	0.0	0.122000	0.122000	0.122000
22.4	0.135	0.0	0.123000	0.123000	0.123000
22.5	0.135	0.0	0.124000	0.124000	0.124000
22.6	0.135	0.0	0.125000	0.125000	0.125000
22.7	0.135	0.0	0.126000	0.126000	0.126000
22.8	0.135	0.0	0.127000	0.127000	0.127000
22.9	0.135	0.0	0.128000	0.128000	0.128000
23.0	0.135	0.0	0.129000	0.129000	0.129000
23.1	0.135	0.0	0.130000	0.130000	0.130000
23.2	0.135	0.0	0.131000	0.131000	0.131000
23.3	0.135	0.0	0.132000	0.132000	0.132000
23.4	0.135	0.0	0.133000	0.133000	0.133000
23.5	0.135	0.0	0.134000	0.134000	0.134000
23.6	0.135	0.0	0.135000	0.135000	0.135000
23.7	0.135	0.0	0.136000	0.136000	0.136000
23.8	0.135	0.0	0.137000	0.137000	0.137000
23.9	0.135	0.0	0.138000	0.138000	0.138000
24.0	0.135	0.0	0.139000	0.139000	0.139000
24.1	0.135	0.0	0.140000	0.140000	0.140000
24.2	0.135	0.0	0.141000	0.141000	0.141000
24.3	0.135	0.0	0.142000	0.142000	0.142000
24.4	0.135	0.0	0.143000	0.143000	0.143000
24.5	0.135	0.0	0.144000	0.144000	0.144000
24.6	0.135	0.0	0.145000	0.145000	0.145000
24.7	0.135	0.0	0.146000	0.146000	0.146000
24.8	0.135	0.0	0.147000	0.147000	0.147000
24.9	0.135	0.0	0.148000	0.148000	0.148000
25.0	0.135	0.0	0.149000	0.149000	0.149000
25.1	0.135	0.0	0.150000	0.150000	0.150000
25.2	0.135	0.0	0.151000	0.151000	0.151000
25.3	0.135	0.0	0.152000	0.152000	0.152000

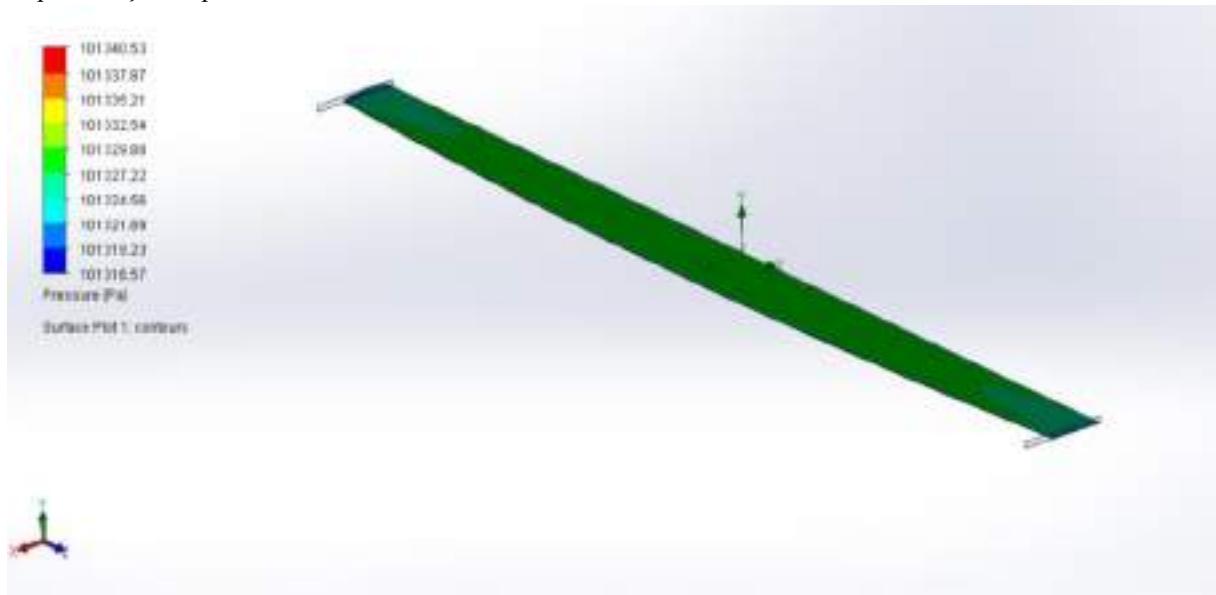
- fluído: ar
- ângulo de incidência: 0,0837758 rad (4,8°)
- velocidade (eixo x): 3,33... m/s (12 km/h)
- velocidade (eixo y): 0 m/s (0 km/h)
- velocidade (eixo z): 0 m/s (0 km/h)

Obtemos os seguintes resultados:

Nesse primeiro resultado, temos a distribuição de pressão ao longo da asa, onde podemos ver que há uma grande diferença entre o intradorso e o extradorso da asa, onde no primeiro a pressão é maior, gerando sustentação para manter o planador no ar.

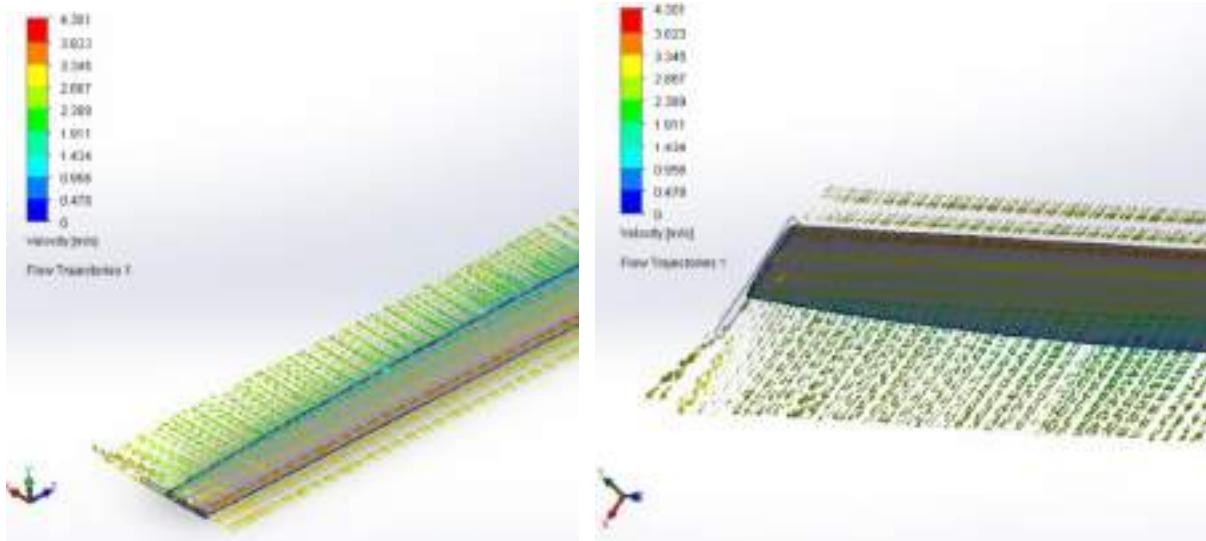


Representação da pressão sendo distribuída no extradorso da asa.



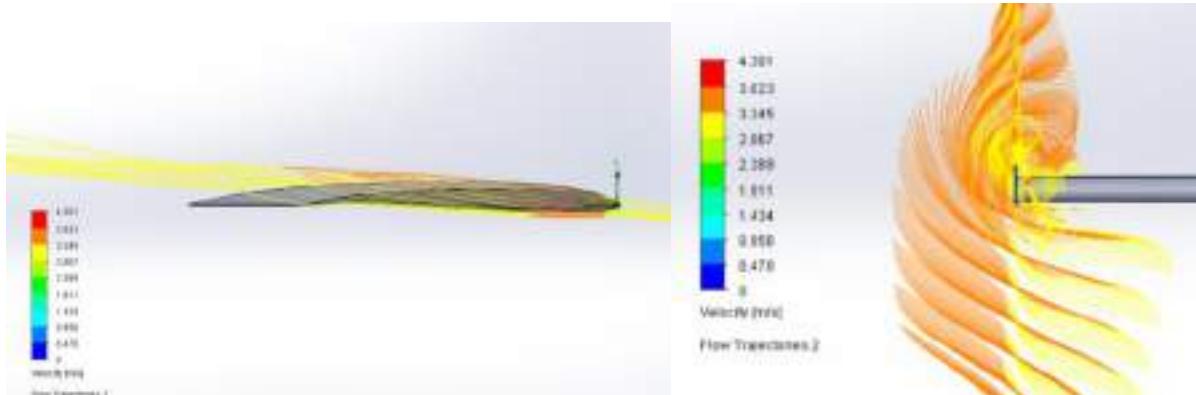
Representação da pressão sendo distribuída no intradorso da asa.

Nesse segundo resultado temos a velocidade do ar nas partes da asa, onde podemos visualizar as diferenças causadas pela geometria do perfil, que causam as diferenças de pressão na asa:



Representação da velocidade do ar sobre o extradorso e intradorso.

Esses últimos resultados são focados em mostrar a trajetória do ar na ponta da asa do planador, onde ocorre um vórtice, que pode acabar por diminuir a performance da aeronave. Esse problema é minimizado em certas aeronaves ao empregar-se dispositivos de ponta de asa:



Representação da velocidade do ar na ponta da asa em visão lateral e frontal.

Futuramente pretendemos utilizar a asa final para simulações, que por problemas com o software SOLIDWORKS® não foi possível no momento.

CONCLUSÃO

Apesar de não termos concluído o que fora previamente planejado, em razão de imprevistos do cotidiano, problemas construtivos, e maior tempo dedicado a estudos na área devido a inexperiência de alguns integrantes no assunto. No entanto extraímos boas experiências do projeto, vimos na prática de maneira básica como uma asa é desenhada, desde a escolha do perfil até a sua geometria, esboçamos o desenho estrutural da asa, enfrentamos a dificuldade de realizar simulações em hardware usual. Além disso, o trabalho nos ensinou a contornar adversidades e nos adaptar às realidades impostas. Estamos ansiosos para continuar

as etapas subsequentes do projeto em semestres futuros, pouco a pouco o “Urubuzinho” tomara forma e alçará voo.

REFERÊNCIAS

- ABBOT, I.A ; VON DOENHOFF A. E. **Theory of Wing Sections**. USA:Dover Publications, Inc, 1959.
- ACKROYD, J. A. D. **The Spitfire Wing Planform: A Suggestion**. Manchester:Journal of Aeronautical History, 2013.
- ANDERLE, P. et al. **Aerodynamic Design and Experimental Investigation of the Sailplane Wing Tip Devices**. Polônia:Acta Polytechnica, 2003.
- BOERMANS, L. M. M.; WAIBEL, G. **Aerodynamic and Structural Design of the Standard Class Sailplane ASW-24**. Alemanha:ICAS & AIAA, 1988.
- JS-1 REVELATION SPECS. In: Jonker’s Sailplane
Disponível em: <<http://www.jonkersailplanes.co.za>>. Acessado em 20 ago. 2017.
- F1 – FREE FLIGHT. In: Fédération Aéronautique Internationale.
Disponível em: <<http://www.fai.org/ciam-our-sport/f1-free-flight>>. Acessado em 20 jun. 2017.
- GALVÃO, F. L. **A note on low drag bodies**. Lesyno:OSTIV Congress, 1968.
- GALVÃO, F. L. **A simplified Method of Airfoil Design**. Chateaureux:OSTIV Congress, 1978.
- INDÚSTRIA PARANAENSE DE ESTRUTURAS. **Manual de Voo e Operações KW-1 Quero Quero**[S.l.:s.n],[195-].
- HILTON, E. **Escolhendo a Madeira para seu Avião**.[S.l:s.n],[20--].
- FREIJÓ. In: Instituto de Pesquisa Tecnológica.
Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/34.html>. Acessado em 26 jun. 2017.
- CEDRO. In: Instituto de Pesquisa Tecnológica.
Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/29.html>. Acessado em 26 jun. 2017.
- LISSAMAN, P. B. S. **Low-Reynolds Number Airfoils**. [s.l.]Annual Review Fluid Mech, 1983.
- MIRANDA, J. L. E. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica com Aplicações...** São Paulo, 2014.

LOUSADA, S. **Do quintal de casa para todos os aeroclubes do Brasil.** In: Nas Nuvens, 2017

Disponível em: <<https://www.facebook.com/planador/posts/1575526385814361>>. Acessado em 21 jun. 2017.

RAYMER, D. P. **Aircraft Design: A Conceptual Approach.** USA: Amer Inst of Aeronautics, 2013.

THOMAS, F. **Fundamentals of Sailplane Design.** USA: Colege Park Press, 1999.

XFLR5(REGISTRADO). **Analysis of foils and wings operating at low Reynolds numbers,**[S.l.:s.n] 2013.

ZAHARIA, S. M. **Simulation and Aerodynamic Analysis of the Flow around the Sailplane using CFD Techniques.** Romênia, 2015.