

PROJETO DE ESTRUTURAÇÃO E MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO AEROMODELO CONSTRUÍDO A PARTIR DOS CONHECIMENTOS DE ENGENHARIA MECÂNICA

Alisson Bom Denoni¹; Reinaldo Alves de Oliveira Junior¹; Josete Pertel²

¹Acadêmicos de Engenharia Mecânica - Multivix – São Mateus-ES

²Doutora – Docente Multivix – São Mateus-ES

RESUMO

O objetivo deste estudo é estruturar e montar um aeromodelo não tripulado, empregando os conhecimentos das disciplinas de engenharia mecânica. Esse estudo empregou a pesquisa bibliográfica baseado em autores que caracterizam os detalhes quanto às funcionalidades do motor, com funcionamento do motor dois tempos e o que seria necessário para o seu bom desenvolvimento, a lubrificação das partes de um motor dois tempos é essencial para aumentar sua vida útil. As asas que são parâmetros para um voo estão bem posicionadas no centro de gravidade do aeromodelo. Toda a fuselagem está bem compactada para evitar espaços desnecessários, o compartimento interno é suficiente para manter o equipamento de transmissão bem firme, assim como um trem de pouso fixo. A aeronave foi construída através de conhecimento das disciplinas de engenharia mecânica como a física, a mecânica dos fluidos, máquinas térmicas, resistência dos materiais e mecânica geral. O aeromodelo ao final do projeto ficou com aproximadamente 2,5 kg e envergadura de 2m por 1,5m, sendo difícil o transporte do mesmo.

Palavras-chave: aeromodelo; aerodinâmica; aeronave;

ABSTRACT

The objective of this study is to structure and assemble an unmanned model airplane, using the knowledge of mechanical engineering disciplines. This study used bibliographical research based on authors who characterize the details regarding the engine's functionality, with the functioning of the two-stroke engine and what would be necessary for its good development, the lubrication of the parts of a two-stroke engine is essential to increase its lifespan. The wings that are parameters for a flight are well positioned in the center of gravity of the model aircraft. The entire fuselage is well compacted to avoid unnecessary space, the internal compartment is sufficient to keep the transmission equipment firmly in place, as well as a fixed landing gear. The aircraft was built using knowledge of mechanical engineering disciplines with physics, fluid mechanics, heat engines, strength of materials and general mechanics. At the end of the project, the model aircraft weighed approximately 2.5 kg and had a wingspan of 2 m by 1.5 m, making it difficult to transport.

Keywords: airplane model; aerodynamics; aircraft;

1 INTRODUÇÃO

O aeromodelo iniciou pela parte de montagem de motor 2 tempos com modificações e teste de melhorias de potência para ter melhores resultados, trazendo em menos tempo o início de decolagem, após dando início a montagem da fuselagem com materiais compensado naval 4mm e isopor industrial P5, em seguida realizando as partes elétricas e combustível.

O modelo de um aeroplano é uma versão reduzida de um aeroplano em seu tamanho normal. Os modelos e os objetos em seu tamanho normal têm os mesmos tipos de relação entre os comprimentos de suas diferentes partes. [...]. Um modelo é apenas um meio de transferir alguma relação de sua forma real para outra forma (BOLTON, 1993, p. 4).

O aeromodelismo faz parte de todo processo de aprimoramento para um grande projeto, os cálculos realizados em menor escala servem de parâmetros para adequação e melhoramento da estrutura. Softwares são usados para modelar e dimensionar as aeronaves, de forma que possam ser aplicadas alterações nos conjuntos que farão tudo funcionar:

As curvas de tração disponível podem ser obtidas mediante a aplicação de conceitos que vão desde uma modelagem teórica, até uma análise prática com a utilização de dinamômetros, softwares específicos ou ainda ensaios em campo ou túnel de vento (RODRIGUES *et al.*, 2014, p.30).

A aviação possui grandes investimentos e também muitos riscos envolvidos, mas para a montagem de protótipo, os valores são bem abaixo, podendo facilitar o estudo e teste em pequena escala, assim como o uso de sucata como uma forma de viabilizar o custo. Uma aeronave de pequeno porte é composta por uma estrutura de chassi ou fuselagem que possuem o grupo motopropulsor, asas, trem de pouso que pode ser fixo ou móvel e empenagem que possui o profundor e leme.

A fuselagem é onde fica a cabine de comandos e pode ser construída em formato treliçada, monocoque ou seminocoque. As asas são a superfície que sustenta a aeronave, é unida nas laterais da fuselagem, é um componente essencial pois suporta o avião em voo. Existem vários tipos de asas, cada fabricante tem preferência por algum modelo que são: asa alta, média e baixa.

Todo perfil possui características aerodinâmicas próprias, que dependem exclusivamente da sua forma geométrica, de suas dimensões, do arqueamento, bem como da sua espessura e do raio do bordo de ataque. As principais características aerodinâmicas de um perfil são o coeficiente de sustentação, o coeficiente de arrasto, o coeficiente de momento, a posição do centro aerodinâmico e a sua eficiência aerodinâmica (RODRIGUES *et al.*, 2014, p.30).

Todos os modelos são testados em protótipos para que seja verificado o centro de gravidade e simetria da aeronave, pois o peso e balanceamento são muito importantes para a estabilização.

Para corpos que possuem simetria em relação ao plano sustentação-arrasto como carros, aviões e navios, a força lateral, o momento de guinada e o momento de rolagem são iguais a zero quando as forças do vento e das ondas estão alinhadas com o corpo. O que resta para esses corpos são as forças de arrasto e sustentação e o momento de arfagem. Para corpos axissimétricos alinhados com o escoamento, como, por exemplo, uma bala, a única força exercida pelo fluido no corpo é a força de arrasto (ÇENGEL *et al.*, 2015, p. 611).

A importância do conhecimento nas disciplinas de Mecânica dos fluidos, mecânica geral, auxiliam na modelagem pois é suficiente para entender os sistemas como funcionam e caracterizar dentro desenho técnico. Necessária para realizar a modelagem da asa e das partes do aeromodelo que entram em contato com o ar e geram a sustentação e para produzir um perfil aerodinâmico e simétrico.

Em todo o processo de estruturação e montagem do protótipo foi necessário a aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso de engenharia mecânica. Optar por um protótipo é um caminho de demonstrar o conhecimento com um baixo investimento, todo o estudo auxiliar também foi feito a fim de dar o suporte necessário e para agregar conhecimento pois na aviação existem muitas variáveis:

Muitos avanços foram obtidos através de estudos que resultaram em fantásticas melhorias aerodinâmicas e de desempenho das aeronaves, propiciando o projeto e a construção de aviões capazes da realização de voos transcontinentais, aeronaves cuja velocidade ultrapassa a barreira do som e até a realização de voos espaciais (RODRIGUES *et al.*, 2014, p.2).

Na fase de estruturação são importantes os cálculos de todos os esforços que serão impostos à estrutura, através de modelador 3D é possível inserir uma carga na fuselagem de modo que possa auxiliar na escolha do modelo de fuselagem e qual material a ser escolhido.

A vantagem da asa retangular é sua maior facilidade de construção e um menor custo de fabricação quando comparada às outras. A área em planta de uma asa retangular pode ser calculada a partir de Equação (RODRIGUES *et al.*, 2014, p.8).

A aerodinâmica por exemplo é aplicada e tem que ser fiel ao que foi calculado no projeto, pois será o momento de teste e estará à prova. A asa escolhida foi a asa altaretangular, que é a mais utilizada em aviões de pequeno porte, é de fácil fabricação e tem boa sustentabilidade. A dinâmica dos fluidos computacional (CFD), é a área de estudos dedicada à solução das equações do escoamento de fluidos com o uso de um computador, sendo possível a solução de problemas de sustentação em caso de baixa eficiência.

Os engenheiros podem obter propriedades globais como forças de sustentação e de arrasto, queda de pressão ou de potência de forma experimental, mas usam CFD para obter detalhes sobre o campo de escoamento como as tensões de cisalhamento, os perfis de velocidade, pressão e as linhas de corrente do escoamento (ÇENGEL *et al.*, 2015, p. 880).

Na aviação existem muitos critérios e cálculos envolvidos na execução de um projeto, porém aqui temos os passos mais simples, pois o motivo deste projeto tem como finalidade a construção de um aeromodelo, utilizando os cálculos para a construção e montagem, respeitando os princípios aerodinâmicos e os conhecimentos das disciplinas do curso de engenharia mecânica.

O estudo dos fenômenos que envolvem a aerodinâmica é de fundamental importância para o projeto global da aeronave. Muitos aspectos estudados para se definir a melhor configuração aerodinâmica da aeronave serão amplamente utilizados para uma melhor análise de desempenho e estabilidade da aeronave, bem como para o seu cálculo estrutural, uma vez que existem muitas soluções de compromisso entre um bom projeto aerodinâmico e um excelente projeto total da aeronave (RODRIGUES *et al.*, 2014 p.23).

Após a identificação das características necessárias que oferecem os parâmetros para uma simulação, que possivelmente estando dentro dos padrões, poderiam ser lançados um voo de teste, porém conforme a legislação da ANAC o piloto tem a necessidade de ser habilitado para este objetivo.

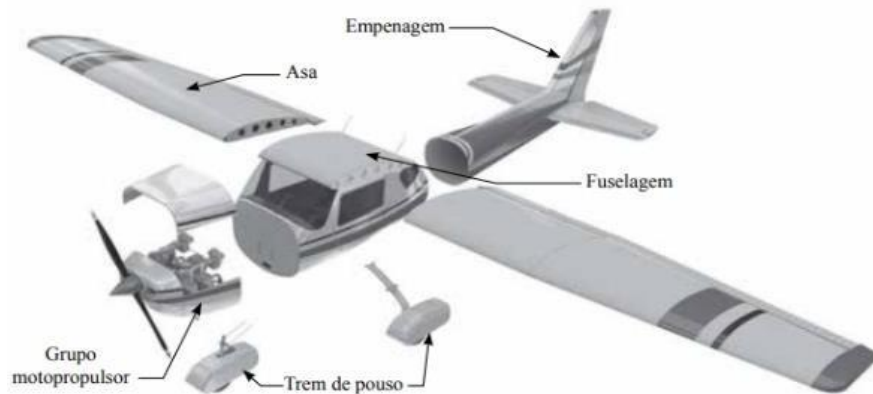
Neste projeto de estruturação e montagem de um protótipo, temos a missão de projetar e montar um aeromodelo, seguindo principalmente critérios básicos da aviação. Todo processo para montagem e estruturação exige conhecimentos na área da física e mecânica presentes no curso de engenharia mecânica.

Não será realizado teste de voo devido os alunos não serem treinados e capacitados para a realização do voo teste, conforme regras da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

O protótipo aeromodelo sugerido neste projeto é uma aeronave de pequeno porte tipomodelo cesna, o sistema de propulsão motor com pistão e hélice, utilizando gasolina como combustível. Para a realização deste projeto é necessário o conhecimento na área de engenharia mecânica.

É muito importante estudar sobre aeronaves e seus componentes, pois sua maioria possui grupo motopropulsor, trem de pouso, fuselagem, asa e empenagem (Imagem 1).

Imagem 1 – componentes principais de um avião.



FONTE: Rodrigues (2014)

Após a determinação dos parâmetros a serem utilizados para a fabricação das peças, prosseguiu à montagem da estrutura. É necessário definir o comprimento da asa, a potência do motor, tipo de trem de pouso, fuselagem e empenagem.

Além da parte que se refere a questão estrutural, também temos a parte de controle do aeromodelo, pois é muito importante que esteja tudo funcionando perfeitamente ou não seria possível nem dar a partida no motor.

Para o controle da aeronave deve ser levado em consideração os eixos de controle que fazem parte do sistema de coordenadas cartesianas tridimensional, que seria o eixo lateral (y), longitudinal (x) e vertical (z), conforme (Imagem 2) abaixo.

Imagem 2 – Eixos de coordenadas de uma aeronave.



FONTE: Rodrigues (2014)

A ausência de literatura em português é um desafio que deve ser levado em conta, pois para todo iniciante na área da aviação, não encontrar bom conteúdo de

fácil entendimento, dificulta a introdução de novos entusiastas, pois muitas pessoas são interessadas na matéria, porém se deparam com esta dificuldade.

A falta da literatura aeronáutica em português representa o principal ponto norteador para a execução deste livro, em que todos os conceitos apresentados foram minuciosamente avaliados tendo em vista a obtenção de resultados bastante confiáveis quando da solução das equações propostas (RODRIGUES, et al. 2014 p.02).

Os valores para a montagem de um protótipo, não é de baixo custo por mais simples que seja o projeto, a estrutura metálica será o mais viável, podendo ser utilizado sucata em bom estado.

A parte de motor é o mais caro mesmo importando algumas peças, o restante foi todo reutilizado de sucata, por fim é um grande desafio o funcionamento perfeito do equipamento mais importante do aeromodelo ser montado com peças reaproveitadas. Como poderia de outra forma ter bons resultados, para a modelagem do aeromodelo com peças reaproveitadas?

O objetivo deste estudo é estruturar, montar e demonstrar a importância do estudo da mecânica para realizar a estruturação do aeromodelo.

O protótipo também por ser uma aeronave pode ser utilizado para vários testes estruturais assim como testar outros materiais metálicos e não-metálicos nas superfícies de contato e testes de voo que reduzam o consumo de combustível durante o percurso.

E como objetivos específicos pretende-se:

- Estruturar e montar um aeromodelo de porte pequeno.
- Instalar equipamento para controle.
- Descrever o motor empregado e sua funcionalidade.
- Descrever os materiais necessários para a estruturação do aeromodelo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MECANISMO DE FUNCIONAMENTO

Aeromodelo telemaster construído por conhecimento das disciplinas de engenharia mecânica, física lei da gravitação, mecânicas dos fluidos, máquinas térmicas, resistência dos materiais e mecânica geral. Foi desenvolvido um aeromodelo

feito sua fuselagem com compensado naval, asas com isopor industrial P5, para a realização do impulso do aeromodelo foi utilizado motor 2 tempos 2.17HP possuindo hélice 20/8 polegadas.

Os aeromodelos, por exemplo, de modo geral são consideravelmente mais leves, estão mais sujeitos às perturbações atmosféricas, apresentam os subsistemas propulsivo, elétrico, aquisição de dados simplificados e o envelope de voo difere sensivelmente de uma aeronave (BEGHELLI, 2019, p.42).

Motores de combustão interna são considerados máquinas térmicas, que têm como princípio a combustão, cujo fluido de trabalho é convertido em energia mecânica. Os produtos inseridos na câmara de combustão são uma mistura contendo ar-combustível, para que haja a reação que gera a combustão (BRUNETTI, 2012).

A mecânica é indispensável para a fabricação estrutural da aeronave, desde a parte inicial da fuselagem ao motor e todas as partes que o compõem. A mecânica dos fluidos onde é usado os números de Reynolds, representado na física como Re , define o atrito do fluido em contato com a asa, e o resultado se o voo será turbulento ou suave:

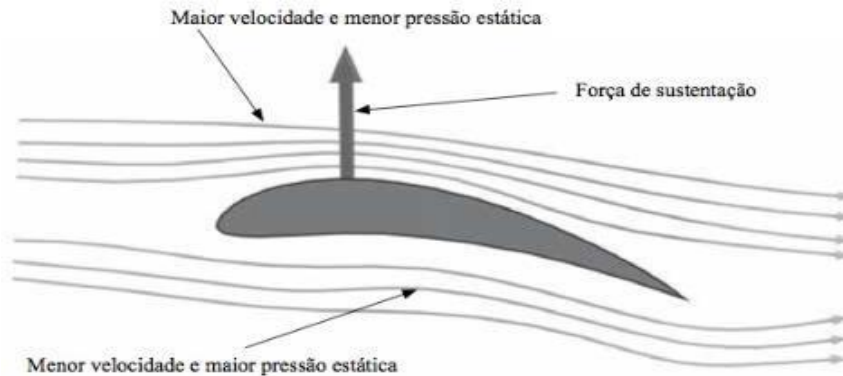
A importância fundamental do número de Reynolds é a possibilidade de avaliar a estabilidade do fluxo, podendo obter uma indicação se o escoamento flui de forma laminar ou turbulenta. O número de Reynolds constitui a base do comportamento de sistemas reais, pelo uso de modelos reduzidos (RODRIGUES, et al. 2014 p.27).

A sustentação é o resultado do cálculo exato, pois com o ângulo certo aumenta a possibilidade do voo sustentável e também há economia de combustível por haver menos atrito com as partes do aeromodelo. A relação peso e potência deve estar balanceada, definido junto com o Centro de Gravidade (CG) do aeromodelo.

O que se pode perceber da análise realizada é que a pressão estática tende a se reduzir conforme a velocidade do escoamento aumenta, e assim, em um perfil aerodinâmico, a aplicação do princípio de Bernoulli permite observar que ocorre um aumento da velocidade das partículas de ar do escoamento que passam sobre o perfil, provocando, desse modo, uma redução da pressão estática e um aumento na pressão dinâmica. Para o caso de um perfil inclinado de um ângulo positivo em relação à direção do escoamento, as partículas de ar terão uma maior velocidade na superfície superior do perfil quando comparadas à superfície inferior. Desse modo, a diferença de pressão estática existente entre as superfícies superior e inferior será a responsável pela criação da força de sustentação (RODRIGUES et al., 2014, p.27).

A superfície inferior e superior da asa sofre uma diferença de pressão, mesmo que seja de baixo valor, ainda é possível que a pouca diferença de pressão pode vir a propiciar a sustentação necessária para o voo do aeromodelo. (Imagem 4)

Imagem 4 - Variação de velocidade sobre as superfícies superior e inferior de um perfil.



Fonte: Rodrigues (2014)

Conforme descrito por Araújo (2007), o teorema de Bernoulli profere que quanto maior o fluxo de um fluido que ocorre por uma superfície, menor a força exercida sobre ela.

Segundo Francisco (2012) para calcular a sustentação de uma asa usar a equação.

$$L = C_1 \times \frac{1}{2} \times p \times V^2 \times A$$

Em que:

- L = Sustentação (N)
- C1 = Coeficiente de sustentação do perfil
- P = densidade do ar (kg/m³)
- V = Velocidade (m/s)
- A = Área da asa (m²)

Todas as partes principalmente as asas devem ser arredondadas, pois assim, reduzirá a força de arrasto que o aeromodelo pode sofrer.

O aeromodelo deve ser pendurado por dois fios que se encontram num ponto comum de amarração. Deste ponto parte um utensílio que irá apontar para a posição do CG ao longo do eixo X da aeronave. Contudo, para este método funcionar é preciso que a aeronave seja pendurada de forma que esteja nivelada, o que pôde ser verificado utilizando um instrumento de nível (BEGHELLI, 2019, p.112).

O aeromodelo deve possuir uma estrutura como a de um pêndulo. Desta forma, foi encontrado seu centro de gravidade. A opção de realizar um modelo 3D no AutoCad foi descartada pois a geometria aplicada no aeromodelo é pouco usual.

2.2 MOTORES 2 TEMPOS: TIPO DE MOTOR ESCOLHIDO

Responsáveis por provocar o empuxo necessário e comumente os motores são acomodados nas asas ou na parte da proa do aeromodelo.

Com vantagem em relação aos quatro tempos, o peso, pois é mais leve pelo fato de conter menos peças. Além disso, gera maior potência, dando uma explosão a cada giro. Porém, tem como desvantagens a sua durabilidade que é comprometida pela ausência de um sistema de lubrificação eficiente.

Os motores dois tempos têm como princípio de funcionamento apenas ação de compressão e combustão. Geralmente, esse tipo de motor é aplicado em caminhões e em alguns modelos de carros além de ciclomotores, aeromodelos, navios, serras-elétricas e jet-skis (BRUNETTI, 2012, p.26).

O combustível não é eficientemente suficiente para ocorrer toda a queima, porque há óleo na mistura que entra na câmara de combustão. Não é viável ecologicamente, pois polui mais que outros tipos de motores, devido a queima da mistura óleo combustível e parte pelo vazamento dessa mistura que não queima totalmente (BRUNETTI, 2012).

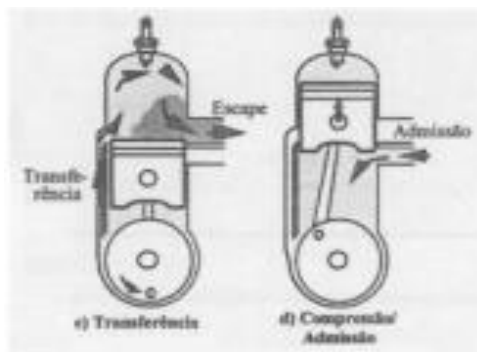
A escolha deste motor foi devido a disponibilidade das peças que além de ser fácil aquisição é possível encontrar peças sobressalentes na sucata, necessitando de pequenos reparos realizado pelos autores.

2.3 ADMISSÃO E COMPRESSÃO: FUNCIONAMENTO DO MOTOR SELECIONADO

No primeiro movimento do pistão, que se refere à admissão e compressão, a janela de admissão se encontra aberta, a de escape e a janela de transferência fechadas.

O êmbolo se desloca do PMI ao PMS, completando 180° (Imagem 5). Com isso, a mistura ar/combustível é admitida na câmara inferior pela pressão negativa que é gerada pelo êmbolo ao fazer o movimento de compressão na câmara superior (MARTINS, 2006).

Imagem 5 – Movimento que representa a admissão e compressão de motores dois tempos



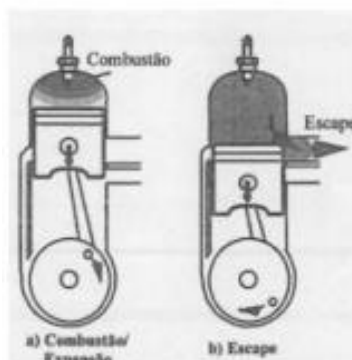
Fonte: MARTINS (2006)

2.4 COMBUSTÃO E ESCAPE: FUNCIONAMENTO DO MOTOR SELECIONADO

Em sequência ao movimento anterior, o movimento do êmbolo do pistão do ponto morto superior (PMS) ao ponto morto inferior (PMI), gerado pela combustão, é acionado por centelha. Esse movimento gera uma pressão na câmara inferior.

Com a janela de admissão fechada, a massa de ar tende a se deslocar para a câmara de combustão, pois a janela de transferência se encontra aberta, de forma que a massa de ar que entra na câmara de combustão desloca o produto da combustão do ciclo para a janela de escape (Imagem 6). Esse movimento faz com que o êmbolo complete um giro de 360° completando os 2 tempos (MARTINS, 2006).

Imagem 6 – Movimento que representa a combustão e escape de motores dois tempos.



Fonte: Martins (2006)

A importância de entender o funcionamento do sistema de combustão está relacionada ao aprendizado na disciplina de mecânica geral, que auxilia na instrução para a montagem do motor do aeromodelo, pois em caso de falha no motor, conhecer seu funcionamento é essencial para a montagem, manutenção e fabricação das partes.

Além do motor, o aeromodelo possui em toda sua estrutura, partes que entram em atrito gerado no motor que por sua vez o faz que funcione e mantenha sua temperatura controlada por lubrificação.

A tração é uma força que possui sentido contrário ao arrasto, quanto maior for a diferença entre a força de tração em relação ao arrasto, maior será a velocidade atingida pelo aeroplano. Para que ocorra o movimento do aeroplano ele deve antes de tudo vencer a força de atrito, caso ela exista. A tração é uma força responsável por impulsionar o aeroplano, gerada através de algum motor junto de uma hélice para que ocorra a movimentação do aeroplano (GONZAGA *et al.*, 2016, p.61).

As asas necessitam do atrito com o ar, pois essa força mantém o aeromodelo no ar, é o atrito tão importante quanto o atrito gerado. O controle de atrito; controle de desgaste; controle de temperatura; controle de corrosão; transmissão de força; amortecimento de choques; remoção de contaminantes; vedação.

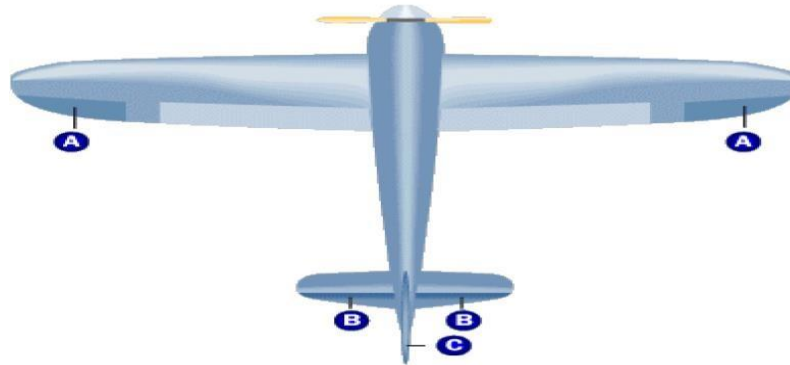
Para um melhor desempenho o motor foi feito umas preparações aumento de galeria de admissão e escape, retirando materiais da saia do pistão para adiantar o ponto de admissão (CEDTEC ESCOLA TÉCNICA, 2003, p.34).

Funções dos Óleos Lubrificantes Partindo dos princípios citados, temos que as principais funções dos óleos lubrificantes nos componentes do motor.

2.5 SUPERFÍCIES DE CONTROLE DO AEROMODELO

Suas superfícies de controle estão localizadas nos estabilizadores horizontais e verticais (Imagem 7) que demonstram como ficam posicionados os equipamentos de controle.

Imagem 7 – Superfícies de controle



Fonte: Adaptado de Sensores (2000).

- a) aileron: identificado pela letra — (A) está localizado nas extremidades da asa à frente do centro da fuselagem do aeromodelo e é responsável por efetuar a rolagem do mesmo, ou seja, proporciona um movimento de rotação em relação ao seu eixo longitudinal;
- b) profundor: identificado pela letra — (B) está localizado na asa horizontal fixada no final da fuselagem e serve para controlar a altitude do aeromodelo;
- c) leme: identificado pela letra — (C) está localizado também no final da fuselagem do aeromodelo na forma de uma quilha.

Estas superfícies de controle serão instaladas e calibradas para operar pelo controle remoto.

2.5.1 Sinal do Controle do Aeromodelo

Transmissor é o dispositivo que fica em poder da pessoa que está controlando o objeto proposto. Através deste dispositivo, o controlador informa quais ações o objeto controlado deve tomar. Sua comunicação com o dispositivo receptor é feita através de sinais de rádio frequência.

Em geral o micro controlador são processadores de pequeno porte e baixo custo, possuindo em um único chip o processador, os registradores, a memória, as interfaces e os barramentos necessários para o seu funcionamento. Na história dos semicondutores, os microprocessadores foram os que mais rápido se difundiram, devido as suas características como design

simples, alta velocidade, grande diversidade de modelos e fabricantes, entre outras (PEREIRA, 2007, p. 17).

Receptor é um módulo responsável por receber os sinais enviados pelo transmissor e deve ser instalado no objeto ao qual se está controlando. O receptor neste caso converte o sinal recebido para um sinal PWM que é enviado para os servomecanismos que estão conectados por um meio físico a ele e que por sua vez estão ligados mecanicamente as superfícies de controle. Há ligação entre servo mecanismo e receptor.

3 METODOLOGIA

A pesquisa bibliográfica e levantamento de informações é a primeiro passo da pesquisa científica, podendo ser executado de duas formatos: análise de fontes principais (documentos) e análise de fontes auxiliares bibliográfica (LAKATOS; MARCONI; 2001).

O estudo de caso realizado se baseou em sites e livros que remetem a aeromodelismo e aviação geral como drones, aviação comercial e particular. Os procedimentos expostos abordaram as áreas de estabilidade e controle e foi apresentado como alvo assegurar que o aeromodelo responda aos comandos efetuados pelo piloto.

A execução de um projeto protótipo de um aeromodelo telemaster não tripulado é fundamento na utilização de metodologia, pois a partir destas vias levam busca dos conhecimentos.

O ponto de partida para a criação de um VANT é a análise minuciosa de todos componentes de uma aeronave. Para a determinação da configuração inicial do projeto, a equipe deve definir alguns pontos fundamentais. Tais como: a configuração da aeronave (convencional ou canard); o modelo a ser empregado na construção da fuselagem; determinação da forma geométrica, e posição da asa; tipo de trem de pouso; motor; e esboçar a aeronave com as dimensões escolhidas (GONZAGA et al., 2016, p.12).

O primeiro ponto é analisar os formatos existentes para iniciar o projeto. Esses formatos foram analisados e escolhido o modelo que atende à necessidade. Para cada finalidade existirá um modelo específico.

O protótipo aeromodelo a ser realizado é da aeronave do tipo Cessna, com o sistema de propulsão motor com pistão e hélice, utilizando gasolina como combustível. Será realizado toda a fabricação e montagem estrutural, do motor, da hélice e do sistema de controle. Utilizando sucata em bom estado nas partes onde for conveniente.

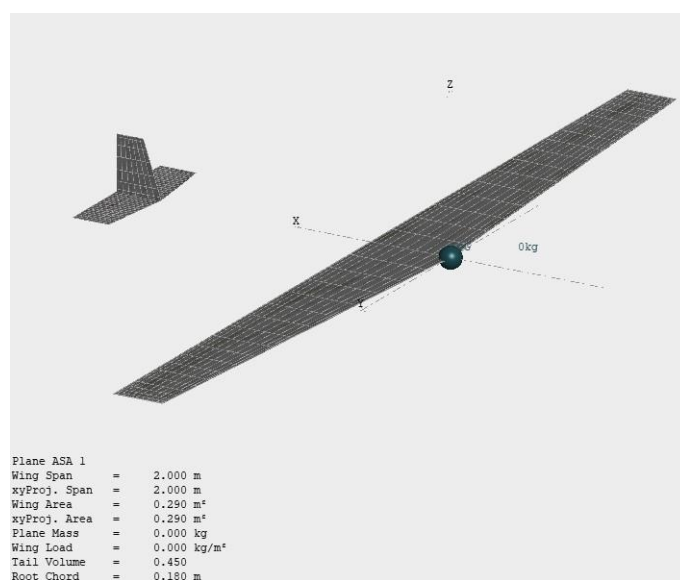
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 PROCEDIMENTOS INICIAIS

O projeto aeromodelo de início vindo aeromodelismo a combustão iniciando uma paixão por aeromodelos e com o foco montar um projeto pondo em práticas os estudos das disciplinas do curso de engenharia mecânica.

A análise do projeto está fundamentada na conjectura encontrada nas citações ao longo do texto. As análises foram lançadas no programa XFLR5 (Imagem 3). Também ficando definido o Centro de Gravidade (CG) do aeromodelo, que seria a esfera logo à frente do perfil da asa.

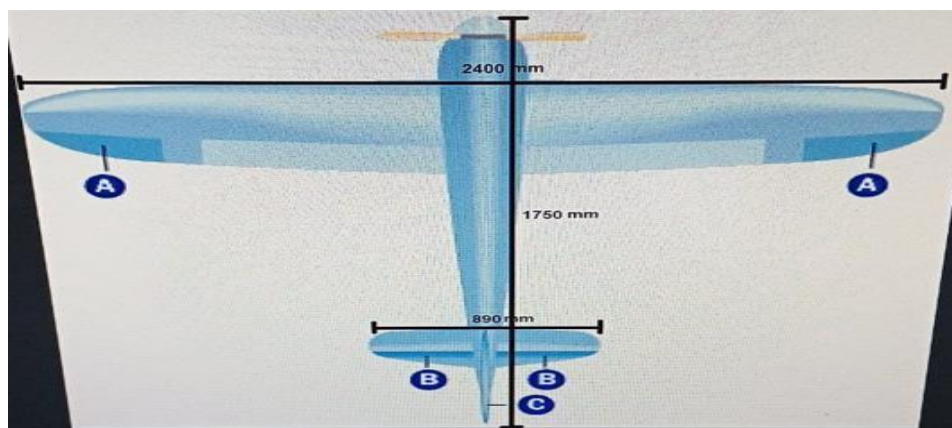
Imagem 3 – Projeção realizada pelo programa XFLR5.



Fonte – Próprio autor

O primeiro ponto é a definição da dimensão do projeto conforme a Imagem 8, levantamento de informações e a busca por materiais adequados para a execução do projeto.

Imagem 8 – Dimensões propostas



Fonte: Próprio Autor

4.2 MATERIAIS SELECIONADOS PARA ESTRUTURAÇÃO DO AEROMODELO

Os materiais utilizados para a construção do aeromodelo estão descritos no Quadro 1, logo abaixo, descrevendo os cada um com seu preço e o site onde foram adquiridos.

Quadro 1 – Quadro de componentes e seus preços aproximados

Equipamentos	Preço (out/2022)	Fonte de aquisição
Kit controlador de voo Pixhawk(Inclui GPS, buzzer, LED)	R\$ 300	ÁliExpress.com
Electronic Speed Control Volantex 40A	R\$ 90,62	Banggood.com
Motor não escovado	R\$ 100*	Mercadolivre.com
Receptor Taranis X8r frsky	R\$ 137	ÁliExpress.com
Rádio antena telemetria 3DR 433MHz	R\$ 205	Americanas.com
Bateria Li-Po 3,6mAh 4 células	R\$ 160*	ÁliExpress.com
TOTAL	R\$ 992,62	

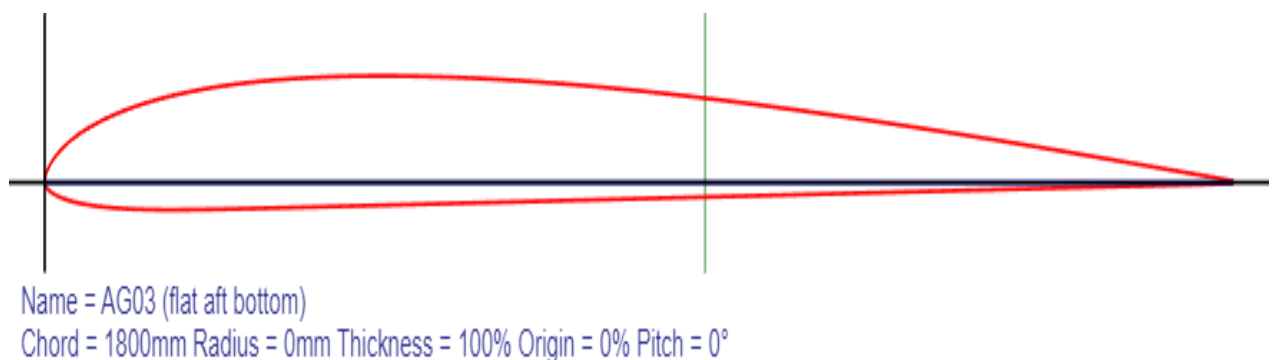
Fonte: Próprio Autor

Foi possível a utilização de material reaproveitado de sucata como uma chapa de metalon de 0,60 mm, tendo em vista o bom estado em que se encontrava, as asas e partes do motor como cilindro, pistão e o cabo de vela. Também os perfis das asas foram reaproveitados de materiais que seriam descartados, e uma chapa de madeira compensado de 15 mm suficiente para construir a fuselagem e 200 ml de verniz e 2 latas de tinta óleo de 200 ml.

4.3 PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO

A partir do formato adquirido foi utilizado o website *airfoiltools* conforme Imagem 9 que direciona as coordenadas necessárias para a modelagem do perfil aerodinâmico.

Imagem 9 – Modelagem da asa



Fonte: Próprio Autor

As medidas extraídas do *airfoiltools* foram modeladas a partir da figura aerodinâmica da asa, através do programa é possível verificar o fluxo e este formato de perfil.

4.4 ESTRUTURAÇÃO DO AEROMODELO

Considerou-se o resultado satisfatório, pois o objetivo de estruturação e montagem foi alcançado, foi alcançado um bom desempenho referente aos materiais utilizados. As camadas criadas para reforçar a estrutura, somado com a pintura em tinta óleo, são adequadas para a proteção do aeromodelo.

Nas camadas limite, onde as variáveis de escoamento mudam rapidamente na direção normal à parede e malhas altamente refinadas são necessárias próximas à parede, as malhas estruturadas permitem resolução mais fina do que as malhas não estruturadas para o mesmo número de células (ÇENGEL *et al.*, 2015, p.885).

Sobre as superfícies do aeromodelo percebe-se que está compatível com o comprimento total, pois mantém a simetria ao longo da sua fuselagem (Imagem 10).

Imagem 10 – Superfícies do aeromodelo



Fonte: Autoria própria

Na Imagem abaixo mostra o tipo de trem de pouso utilizado, sendo o do tipo convencional que é formado por uma bequilha que fica localizada na parte traseira, abaixo do leme. As rodas são soft rooll 5" que têm por vantagem serem de baixo peso. (Imagem 11)

Imagem 11 – Aeromodelo finalizado



Fonte: Autoria própria

Com o motor de 52cc 2,5 HP e 1,85kw (Imagem 12) o aeromodelo necessita de apenas 500ml de combustível para ficar em torno de 30 minutos voando e uma pequena bateria para dar a partida e escapamento em alumínio.

Motor: Caixa 31 x 27 x 31 cm - Peso: 6,350 kg

Imagem 12 - Motor 2 tempos 52cc



Fonte: Autoria própria

Para a modelagem do escapamento do motor, foi necessária a criação da peça por montagem com ajuste de campo, pois as medidas foram adequadas à descarga do motor. Para realizar essa fabricação foi necessário o conhecimento na matéria de Processos de Fabricação com equipamento de solda Tungsten Inert Gas (TIG) para ter melhor durabilidade e resistência.

Ao modelar um campo de escoamento incompressível com a saída de um tubo ou duto exposta ao ar ambiente, a condição de contorno adequada é uma saída com imposição de pressão $P_s = P_{atm}$ (ÇENGEL *et al.*, 2015, p.890).

A hélice projetada em fibra de carbono (Imagem 13), pronta para extrair toda a potência que o motor pode oferecer, tendo um bom rendimento em máxima rotação e o carburador usando filtro universal de 25 mm esportivo, por ser mais leve e versátil.

Imagem 13 - Hélice fibra de carbono 20x8 e Carburador fs220 com Filtro de ar universal 25mm



Fonte: Autoria própria

No interior da fuselagem, construída por madeira compensada de 15mm pintada com verniz para proteger de umidade, possui a parte elétrica e os controladores que enviam o sinal recebido pelo receptor FS-IA10B, como também o compartimento como tanque de combustível de 500ml, bem projetados para garantir um espaço suficiente para o armazenamento dos componentes. (Imagem 14)

Imagem 14 – Interior da fuselagem



Fonte: Autoria própria

As ligações elétricas foram realizadas com cabos de uma fonte de computador, facilitando a soldagem do material devido alta condutividade, com os fios encapados, protegendo de possíveis curtos e aumento de temperatura, controle de leme, profundor e aileron.

A amplitude do sinal de entrada deve ser definida experimentalmente de modo que haja uma variação de 3 a 4 graus no ângulo de ataque do veículo ou que o fator de carga varie entre 0,4 e 0,5g. A aplicação de amplitudes elevadas pode provocar a estimação de não-linearidades. Portanto, para veículos pilotados manualmente o ideal é que sejam feitos testes prévios para estabelecer uma relação entre o quanto de deflexão do manete o piloto precisa inserir para gerar uma variação nessa ordem de amplitude para o ângulo α (BEGHELLI, 2019, p.61).

Com um alcance de até 500m o conjunto Receptor FS-IA10B e Controle Flysky.FS-i6 2.4g (Imagem 15), podem oferecer boa resposta para um projeto inicial, podendo ser trocado o kit por um de maior alcance futuramente. Conforme aeromodelo se afasta das proximidades, o sinal ficará mais fraco e dificultando o controle, com maior tempo de resposta.

Imagem 15 - Controle Flysky.FS-i6 2.4g



Fonte: Autoria própria

Uma demonstração do tamanho real do aeromodelo conforme Imagem 16 abaixo, as dimensões do projeto com cotas em milímetros.

Imagem 16 – Aeromodelo com cotas



Fonte: Autoria própria

No decorrer da fabricação e montagem é perceptível o aprendizado que se soma ao desenvolvimento do projeto, após os testes de solo, os comandos do controle remotofuncionaram como deveriam.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que todo projeto deve ser iniciado por um levantamento de materiais e de recursos, pois os custos envolvidos podem interferir no andamento do mesmo. Estes conhecimentos são introduzidos nas disciplinas de Gerenciamento de Projetos, Controle de Qualidade e Gestão da Qualidade.

Também é necessário um conhecimento básico na questão de elétrica que é introduzida pela disciplina de Eletricidade Aplicada, importante na realização dos controles da aeronave como o comando do leme, profundor e aileron controlados pelo controle remoto e luzes de segurança. A relação peso e potência deve ser respeitada para aeronave, não sendo possível acrescentar mais peso ao aeromodelo, pois alteraria seu centro de gravidade.

Ressaltamos que o objetivo deste estudo foi estruturar e montar o aeromodelo, para iniciar um voo, o piloto deve ser treinado e habilitado para operar o aeromodelo

com segurança. No Brasil, a Confederação Brasileira de Aeromodelismo é o órgão que regula e organiza o aeromodelismo nacional.

Quanto aos objetivos específicos referente aos materiais necessários para a estruturação do aeromodelo foram descritos e utilizados conforme o quadro 1, além dos itens citados no quadro também foi necessário um chapa de madeira compensada 15 mm e uma chapa de metalon laminada a frio de 0,60 mm o material sobressalente foi direcionado para reciclagem.

O objetivo geral proposto nesse estudo foi estruturar e montar o aeromodelo. Verifica-se que o mesmo foi atingido, pois após o mesmo ser testado em solo e com suas funcionalidades operantes.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, M. R. **Projeto Simulação e Controle de Veículo Aéreo Não Tripulado Tail-Sitter**. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos. Brasília. 2007.

BEGHELLI, Pedro Henrique. **Identificação dos parâmetros de estabilidade e controle do aeromodelo VR-01**. Brasília. 2019.

BRAIN, Marshall. **Como funcionam os micro-controladores**. [S.l.], 2009. Disponível em: <<http://eletronicos.hsw.uol.com.br/microcontroladores.htm>>. Acesso em: 05 nov. 2022.

BRUNETTI, F. **Motores de Combustão Interna**. 2012. Vol. I. Edgard Blucher Ltda

BOLTON, William. **Engenharia de controle**. Tradução Valceres Vieira Rocha e Silva. São Paulo (1993): Makron Books.

CEDTEC ESCOLA TÉCNICA. **Mecânica de Manutenção – Lubrificantes e Lubrificação**. 2015.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. **Mecânica dos fluidos**. Grupo A, 2015. E-book. ISBN 9788580554915. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580554915/>. Acesso em: 07 dez. 2022.

FRANCISCO, P. S. **Como Funciona o Avião**. 2012. Disponível em: <www.portalsaofrancisco.com.br>. Acesso em: 12 Nov 2022.

GONZAGA, J. L.L. **Desenvolvimento de um veículo Aéreo Não Tripulado**, 2016 Disponível em: <<https://www.ifmg.edu.br/arcos>> Acesso em: 10 Nov 2022.

LAKATOS, E. M. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2001.

OLIVEIRA, C. A., & D. R. **Motores de Combustão Interna** - Álcool e Gasolina. (2003).

PEREIRA, Fábio. **Tecnologia ARM**: micro controladores de 32 bits. São Paulo (2007)

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica**. Cengage Learning Brasil, 2014. E-book. 9788522115433. Disponível em:<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522115433/>. Acesso em: 28 ago. 2022.