



**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO –
Engenharia Mecânica
Disciplina MEC041 - Trabalho Final de
Graduação II**



**DESENVOLVIMENTO CONCEITUAL DE UMA AERONAVE DE
COMPETIÇÃO DA SAE BRASIL**

Autor 1 – Alan Cristian Bagestan de Oliveira – Aluno
E-mail: 131494@upf.br

Autor 2 – Prof. Dr. Leandro Dóro Tagliari – Professor Orientador
E-mail: leandrotagliari@upf.br

Comissão Examinadora – Prof. Mestre. Lucas Zavistanovicz, Prof. Dr. Wu Xiao Bing

RESUMO

O projeto de concepção do aeromodelo em escala reduzida radiocontrolado tem por objetivo a competição SAE Brasil Aerodesign, um evento de nível internacional, em que a cada ano é lançado um novo regulamento para cada categoria. Buscou-se aplicar uma metodologia que auxilia no desenvolvimento do projeto e desenvolvimento de produtos adotada pelos alemães Gerhard Pahl e Wolfgang Beitz (2005), sendo esta metodologia dividida especificamente em quatro etapas: planejamento, concepção, definição e detalhamento. A maioria das estruturas dos aeromodelos, indiferente da proposta para os quais foram projetados, partilham dos principais componentes de um avião: asas, aileron, flape, estabilizador horizontal, profundor, leme, estabilizador vertical, trem de pouso, spinner, hélice e motor. Este trabalho apresenta o estudo detalhado para fabricação de um novo aeromodelo de competição classe regular SAE Brasil 2023. A concepção da aeronave se dará a partir de um modelo monoplano buscando uma maior eficiência no transporte de carga paga, desta forma buscou-se aprimorar os conhecimentos em relação aos materiais nobres de fabricação para que o aeromodelo tenha o menor peso desejável e ainda a facilidade de concepção.

Palavras-chave: aviação; aeronave; SAE Brasil; projeto.

1 INTRODUÇÃO

A aviação é uma das áreas que detém maior crescimento no desenvolvimento tecnológico da atualidade, tendo em vista as diversas vantagens que a mesma apresenta em relação aos outros meios de transporte, tanto de pessoas quanto de produto, além de ser essencial para área militar. Com o aeromodelismo é possível melhorar o desempenho e as características de projetos para testar diferentes técnicas e materiais com custos menores de fabricação. Dentre as modalidades dos aeromodelos encontra-se o rádio controlado que é controlado por um transmissor de radiofrequências, das quais podem ser FM, AM, PCM para sistemas de rádio mais antigos, porém ainda muito utilizados e para os sistemas mais modernos são utilizados sistema 2.4 GHz que são mais seguros não correndo risco de interferência SAE Brasil (2023).

A SAE BRASIL e as ações por ela desenvolvidas são importantes fontes de conhecimento e atualização tecnológica da indústria, voltada para inovações e tendências da mobilidade brasileira e internacional. A associação é o resultado de uma trajetória de empreendedorismo iniciada em 1991. A SAE *International* é uma das principais fontes de normas e padrões relativas aos setores automotivo e aeroespacial em todo o mundo.

A competição foi criada nos Estados Unidos no ano de 1986, pela SAE International - ano em que ocorreu o primeiro evento, e deu-se início no Brasil em 1999 pela SAE Brasil AeroDesign (SAE BRASIL, 2023). De pronto observou-se um elevado nível de qualidade técnica dos projetos, bem como um grande número de participantes, encorajando os organizadores a continuar o projeto até agora.

Competição SAE BRASIL AeroDesign é composta por três categorias distintas: regular, *advanced* e micro, com requisitos específicos aplicáveis à cada uma destas. Neste sentido tem-se a questão da pesquisa: como Projetar um aeromodelo que cumpra os pré-requisitos definidos pela SAE Brasil para a competição do ano de 2023.

1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Elaborar um projeto de um aeromodelo para a competição SAE Brasil Aerodesign classe regular 2023.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Elaborar uma metodologia para o desenvolvimento de aeronaves leves radiocontroladas, baseada no levantamento bibliográfico.
- b) Desenvolver o projeto detalhado
- c) Propôr a lista de materiais com investimento para a construção de três aeronaves para SAE Brasil Aerodesign classe regular 2023.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica busca apresentar um conceito para que se possa construir um projeto de um aeromodelo rádio controlado em escala reduzida conforme as normas de regulamentadoras da SAE Brasil.

O desenvolvimento desse projeto permitirá uma futura construção de um protótipo para ser testado na UPF-RS, Universidade de Passo Fundo RS, buscando aprimorar soluções de engenharia. Assim, o modelo é dividido basicamente em: fuselagem, asas e empenagem.

Projeto conceitual

Para desenvolver um projeto conceitual, deve-se aplicar uma metodologia que contemple todos os requisitos de um projeto técnico. Buscando basear-se em consultas, documentos, pesquisas e entrevistas, que abrangem uma ampla compreensão do produto e seu contexto por Pahl et al., (2005).



Figura 1 - Estrutura de um projeto
(Fonte: Pahl et al., 2005)

Segundo Pahl et al., (2005), analisar o desenvolvimento de produtos e tarefas requer um processo de acompanhamento integrado nas etapas de trabalho e nas tomadas de decisões. De maneira que todo procedimento realizado se inicia de forma qualitativa para após tornar quantitativos.

Especificação do projeto

Para que o projeto seja desenvolvido, deve-se realizar minuciosamente o delineamento do projeto em questão, com peso, facilidade de transporte, flexibilidade, tamanho e desempenho funcional. Para que os dados coletados sejam avaliados e convertidos para um ponto de vista técnico.

Em projetos conceituais é necessário esclarecer as tarefas em seus detalhes antes de executar. O objetivo deve ser esclarecer o desenvolvimento da tarefa e reunir as informações necessárias para seu desenvolvimento, juntando com as condições existentes e suas relevâncias para então montar a lista de requisitos do projeto. (PAHL et al., 2005).

Avaliação do projeto

Segundo Pahl et al., (2005). Nesta etapa do projeto se torna de extrema importância avaliar todas as possibilidades, na condição de ser construtiva pode ser melhorada através das sub-soluções de outras propostas, porém nem tão benéfica geralmente. Com a adequada combinação e fusão de sub-soluções, garantindo para que não tenha fragilidades que possam ser detectadas na avaliação, podendo assim obter a configuração de todo o projeto.

Em uma visão semelhante de Madureira (2010), após se ter todos os dados convertidos, procuram-se solução afim de garantir.

2.1 Operações de voo do avião

Segundo Rodrigues (2013), no livro Fundamentos da Engenharia Aeronáutica, se define um avião como aeronave de asas fixas mais pesadas que o ar movidas por propulsão mecânica, mantido em condições de voo devido as suas reações dinâmicas do ar que escoam através de suas asas, sendo o voo de uma aeronave dividido em: manobra ou taxiamento, decolagem, subida, cruzeiro, descida, aproximação e pouso. A Figura 2 ilustra tais operações.

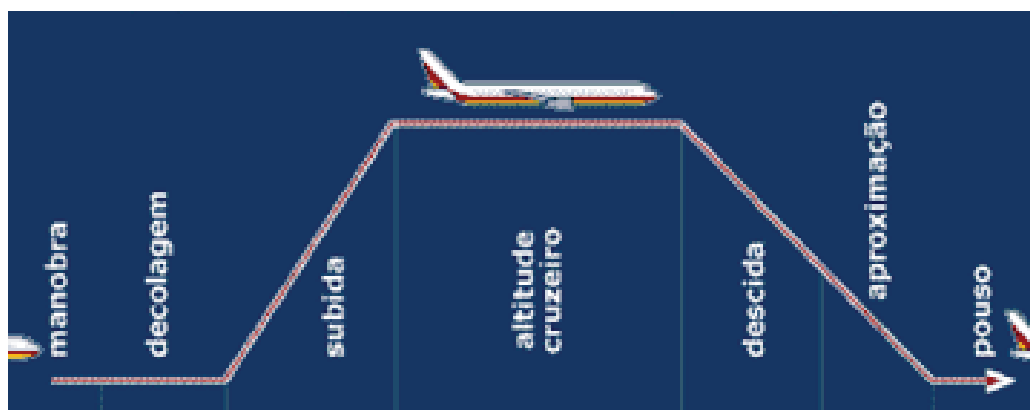


Figura 2 - Principais operações de voo de um avião
(Fonte: Google imagens, 2022)

Na Figura 2 observa-se o voo de uma aeronave dividido em: manobra ou taxiamento, decolagem, subida, cruzeiro, descida, aproximação e pouso.

2.2 Principais forças atuantes no avião

Existem quatro forças a serem analisadas durante a etapa do voo conhecida como cruzeiro. Essas forças são: força de tração (T), força de arrasto (D), força de sustentação (L) e força peso (W) RODRIGUES, 2013, a Figura 03 exemplifica estas principais forças:

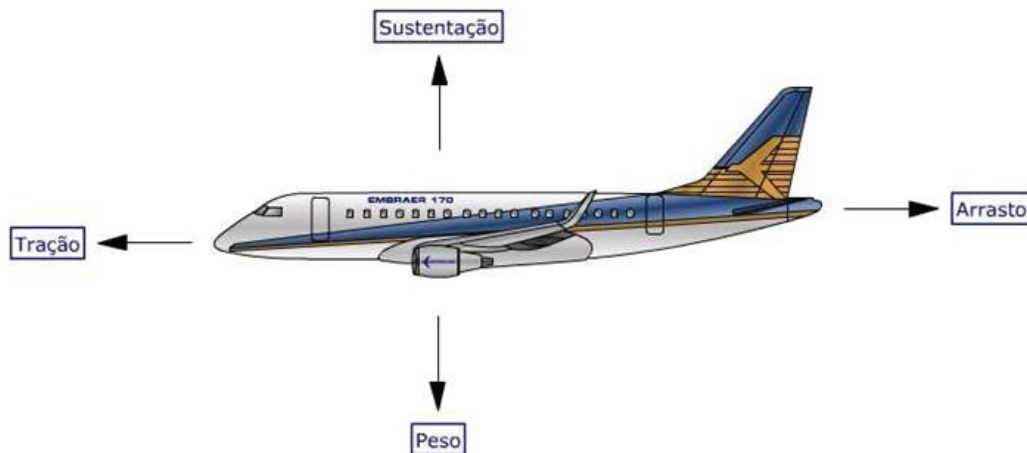


Figura 3 - Principais forças atuantes em um avião
(Fonte: Guia do aviador, 2022)

Tração: ou empuxo, é a força oposta ao arrasto e que permite o deslocamento do avião. Essa força é criada pelos motores.

Arrasto: é a força oposta à tração, ou seja, ela atrapalha o deslocamento do avião. Ele não pode ser eliminado por completo, mas pode ser diminuído tomando algumas medidas. O arrasto é dividido em induzido e parasita. O arrasto induzido é uma consequência da sustentação, por isso é gerado apenas por aerofólios (tudo o que produz sustentação em um avião, como as asas, por exemplo). Já o arrasto parasita é gerado por qualquer outra superfície que não cria sustentação, como trem de pouso, antenas, suporte da asa, tubo de Pitot, etc.

Sustentação: é uma força oposta ao peso, produzida pela asa e que permite o avião manter-se em voo. Ela é influenciada por vários fatores, como densidade do ar, área e curvatura da asa, velocidade, peso, entre outros.

Peso: é a força oposta a sustentação. Todo corpo no campo gravitacional da Terra que possui massa, possui peso, como demonstra a fórmula de Newton “Peso = Massa x Gravidade”.

2.3 Estrutura de um aeromodelo

O quadro 1 apresenta o resumo da revisão bibliográfica do trabalho final de graduação I, ao qual apresenta o conceito para desenvolvimento de uma aeronave radiocontrolada.

PARTES DO AVIÃO	DESCRIÇÃO
Aeromodelo	O projeto estrutural tem início após o projeto aerodinâmico, onde são definidas as dimensões, formas e propriedades das superfícies aerodinâmicas que se deseja estruturar dentre elas: asa, empenagem horizontal, empenagem vertical. Após definidas as formas e propriedades das superfícies aerodinâmicas, as características estruturais são divididas basicamente em: aileron, flape, estabilizadores horizontal e vertical, profundor, leme, trem de pouso, spinner, hélice e motor.
Fuselagem	Fuselagem: A fuselagem é o corpo central, onde se encontra quase todo o volume utilizável do avião.
Asas	As asas são superfícies sustentadoras unidas a cada lado da fuselagem e representam os componentes fundamentais que suportam o avião no voo.
Perfil Aerodinâmico da asa	o perfil da asa é o “coração do avião”, uma vez que este se relaciona direto com a velocidade de cruzeiro e de estol, distância de decolagem e pouso, entre outros parâmetros aerodinâmicos.
Coefficientes aerodinamicos	Coefficiente de sustentação (CL): é a relação entre a pressão de sustentação e a pressão dinâmica, sendo função do formato do aerofólio da asa e do ângulo de ataque, que é o ângulo em que o aerofólio se encontra em relação ao fluxo de ar.
Estruturas da Asa	A asa é um dispositivo mecânico destinado a sustentação aerodinâmica do avião, é a principal superfície que mantém o avião em voo ela é formada por vários perfis aerodinâmicos sendo capazes de criar uma asa segundo um perfil definido para uma finalidade específica.
Forma geométrica da asa	A forma geométrica da asa varia conforme a proposta do projeto, logo esta possui uma grande variedade: Asa retangular, Asa trapezoidal, Asa mista, Asa elíptica.
Fixação da asa na fuselagem	Asa alta; Asa média; Asa baixa.
Empenagem	Estabilizador vertical; estabilizador horizontal; leme; compensadores, profundor.
Superfícies de controle de comando	As principais superfícies de controle do avião são: aileron, leme e profundor.
Trem de pouso da aeronave	O trem de pouso proporciona o apoio do avião no solo e serve também para realizar as manobras de taxiamento na pista.
Grupo moto-propulsor	O grupo motopropulsor é formado pelo conjunto motor e hélice. A função primária do motor é fornecer a potência necessária para colocar a hélice em movimento de rotação, e, uma vez obtido esse movimento, a hélice possui a função de gerar tração para impulsionar o avião.
Centro de gravidade	A posição do CG é relacionada aos momentos gerados em torno de CG e as forças geradas pela massa das diferentes partes da aeronave, logo, faz-se necessário adotar um ponto de referência.

Quadro1 - componentes do aeromodelo
(Fonte: O autor, 2022)

2.4 Competição de AeroDesign SAE BRASIL

Este trabalho tem como objetivo projetar a parte estrutural de um aeromodelo que atenda aos requisitos da competição SAE Brasil AeroDesign – Classe Regular, dois regulamentos serão rigorosamente seguidos:

1. Regulamento do trabalho do torneio de acesso à competição SAE Brasil Aerodesign 2022 (SAE BRASIL, 2022).
2. Regulamento da 24ª Competição SAE Brasil Aerodesign 2023 (SAE BRASIL, 2023).

O Torneio de Acesso à Competição SAE Brasil Aerodesign 2022, foi criado no ano de 2016 devido ao grande crescimento no número de inscritos na competição, superando 95 equipes, valor este considerado como limite operacional da competição. Com isto, todas as equipes deverão participar deste torneio de acesso, onde as melhores equipes ganham o direito participar da competição principal.

Basicamente o Torneio de Acesso possui os mesmos requisitos da competição principal. Cada equipe deve conceber, projetar, documentar, construir e voar um avião rádio controlado, satisfazendo os requisitos e restrições impostas por este Regulamento. A pontuação total engloba os seguintes itens:

1. Competição de Projeto: as equipes apresentarão seus projetos através de duas plantas, uma de três vistas e uma livre, a fim de demonstrar os aspectos principais de sua aeronave e sua concepção;
2. Competição de Voo: determina a carga máxima que cada avião pode carregar, a eficiência estrutural, o peso vazio real da aeronave, sua confiabilidade e vários outros aspectos. Esta fase acontecerá exclusivamente por vídeo, cada equipe em sua sede. Os voos serão verificados por meio de vídeos enviados à Comissão Técnica para a avaliação.

Quanto ao volume do compartimento de carga, este deve ser único e totalmente fechado, as portas de acesso à carga deverão fazer parte do avião.

A carga paga ou peso transportado pelo avião, será confeccionado pela equipe, sendo está a soma dos pesos das placas somados com o suporte de carga. O suporte de carga não é considerado como carga paga caso este não possa ser retirado da aeronave no momento da pesagem. A carga paga deve ser devidamente fixada no compartimento de carga e não poderá influenciar na estrutura da aeronave. O Torneio de Acesso possui uma limitação na carga total de 20 kg, ou seja, a massa total do avião somado à carga paga não pode ultrapassar 20 kg.

Referente ao voo, a distância máxima de decolagem deve ser de 60 m. Para que o voo seja validado, as rodas principais do trem de pouso (dianteiras para o trem de pouso convencional e traseiras para o tipo triciclo) devem iniciar o voo antes da linha de 60 m.

O pouso deve ser realizado com o primeiro toque da aeronave na área destinada de 120 m, sem limite de distância para a rolagem e parada completa, desde que a parada seja na área limite. Durante o trecho de voo, a aeronave deve fazer pelo menos uma volta de 360° antes do pouso.

Como já citado, a competição presencial é dividida em três categorias: regular, micro e Avançado. Estas categorias apesar de possuírem restrições e avaliações diferentes, são realizadas simultaneamente e são divididas em duas partes:

1. Competição de Projeto: as equipes apresentarão seus projetos e demonstrarão seus cálculos para determinar a pontuação máxima que o aeromodelo pode obter, bem como os diversos critérios utilizados para definição da aeronave. Nesse contexto, entende-se por “projeto” todo o raciocínio, devidamente justificado, utilizado para conceber a proposta de aeronave desenvolvida pela equipe para participar da Competição;
2. Competição de Voo - determina a carga máxima que cada avião pode carregar, a eficiência estrutural, o peso vazio real da aeronave, sua confiabilidade e vários outros aspectos. A precisão do projeto (acuracidade) e precisão construtiva também são levados em conta no resultado. Os itens pontuados na competição de voo variam conforme a categoria (Regular, Avançado e Micro).

Maioria das restrições e requisitos adotados para o torneio de acesso se mantêm na competição presencial, tais como: tipo do avião, reutilização do avião, seleção do motor, compartimento de carga e “peso” total da aeronave.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Projeto de pesquisa Aerocócus

Em sua primeira participação, no ano de 2015, conquistou o 38º lugar entre as 60 equipes provenientes da América latina. Na competição de 2016, a equipe, composta por 12 membros dos cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica, alcançou a 18º posição, sendo a terceira melhor do sul do Brasil e a segunda melhor do Rio Grande do Sul. Também conquistou o 8º lugar no torneio de acesso, onde ocorre em paralelo à competição principal, com o objetivo de classificar novas equipes para os anos provenientes. Na competição de 2017, alcançou o 12º lugar no ranking e ficou em 1º lugar no sul do Brasil.

Porem devido a pandemia a equipe de Aerodesign encerrou as atividades, com isso a equipe perdeu o direito de competir na classe regular em São Paulo.

A nova equipe então buscou acesso à competição SAE Brasil 2023, a qual baseou-se no regulamento da competição de acesso que tinha como sua principal restrição a envergadura da asa de no máximo 2 m de comprimento e também limite mínimo de carga a ser transportado.

Seguindo o cronograma da SAE Brasil, a equipe composta por 11 integrantes obteve êxito na entrega das plantas do aeromodelo, cumprindo com a entrega dos dados da aeronave e também com o video de voo ao qual serviu para que comprovasse todo o trabalho da equipe a aeronave conseguiu carregar uma carga paga de 5,100 kg a aeronave teve um peso total de 8,200 kg. Abaixo entregues no prazo.



- Plantas (Torneio de Acesso)
- Dados da Aeronave (Torneio de Acesso)
- Termo de Responsabilidade (Torneio de Acesso)
- Vídeo de voo (Torneio de Acesso)
- Dúvidas sobre o regulamento

Figura 4 - Cronograma SAE BRASIL
(Fonte: SAE BRASIL, 2022)

Para 2023, a equipe ainda tem o o regulamento disponível para competição da classe regular que deve ficar disponível nos próximos meses, então para dar continuidade ao projeto, será usado o regulamento de 2022 como base.

3.1.1 Procedimento experimental

Para desenvolvimento deste projeto conceitual foi aplicado a metodologia proposta por Pahl et al., (2005), método este usado para sistemas mecânicos, pelo fato de apresentar uma abordagem técnica e direcionada a área de projetos de Engenharia. Metodologia esta que esta dívida em quatro fases interligadas como mostra a figura 5.

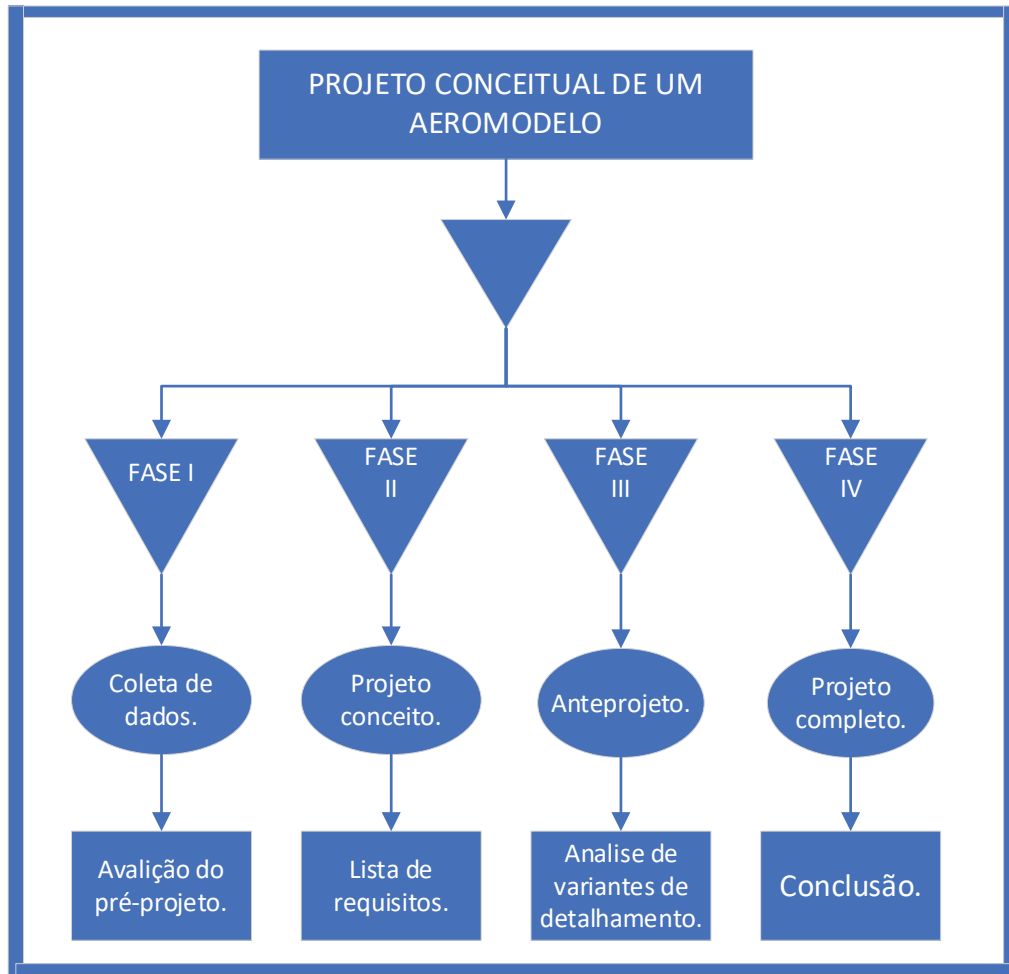


Figura 5 - Fluxograma de projeto
(Fonte: Adaptado de Pahl et al, 2022)

3.1.2 Fase I – Coleta de dados e determinação de projeto

Buscou-se analisar as bibliografias e trabalhos de pesquisa desenvolvidos para que se pudesse realizar o presente projeto conceitual.

Para que o aeromodelo consiga atender aos requisitos básicos, serão calculadas as principais forças atuantes no aeromodelo com o auxílio de softwares como Excel. Baseando na revisão bibliográfica.

Logo após será definido as dimensões, formas e propriedades das superfícies aerodinâmicas: asa, empenagem horizontal, empenagem vertical. Então segue-se para desenvolvimento do aileron, flape, estabilizadores horizontal e vertical, profundor, leme, trem de pouso, spinner, que serão desenhados com o auxílio do *software SolidWorks*.

Definição dos componentes principais:

- ✓ Fibra de carbono, isopor, ligas leves de alumínio, nylon, madeira balsa e fibra de vidro;
- ✓ Perfil aerodinâmico adequado;
- ✓ Grupo Moto-Propulsor elétrico;
- ✓ Ser capaz de sustentar o próprio peso somado à uma determinada carga paga inferior à 20 kg);
- ✓ Possuir boa eficiência aerodinâmica (asas e empenagem);

- ✓ Ter estabilidade estrutural
- ✓ Inserir completamente o aeromodelo no hangar com as dimensões impostas pela SAE Brasil 2023.

3.1.3 Fase II – Lista de requisitos

Lista de requisitos			
Projeto:	Projeto conceitual de um aeromodelo.		
Simbologia:	(D) Requisitos desejados.		
	(E) Requisitos exigidos.		
Linha mestra	Requisitos	D/E:	Responsável:
Dimensionamento:	Deve ter perfil otimizado.	E	Alan Bagestan
	Ter motor elétrico.	E	Alan Bagestan
	Suportar carga mínima paga.	E	Alan Bagestan
Materiais	Ter resistência para suportar carga.	E	Alan Bagestan
	Ser composto por matérias leves.	E	Alan Bagestan
Segurança de operação:	Fácil manuseio.	E	Alan Bagestan
	De acordo com norma regulamentadora NR-12.	E	Alan Bagestan
Manutenção:	Manutenção simples.	E	Alan Bagestan
	Peças padronizadas.	E	Alan Bagestan
Produção e montagem:	Custo de produção compatível.	E	Alan Bagestan
	Implementação até 2023.	E	Alan Bagestan

Quadro 2 - lista de requisitos
(Fonte: O Autor, 2022)

A esquerda está representada os requisitos citados anteriormente, no meio do quadro a seqüência a ser seguida e a direita as características do produto que foram analisadas e classificadas.

Para Pahl *et al.*, (2005) as tarefas gerais e principais de um projeto podem ser desenvolvidas facilmente pela lista de requisitos da, fazendo-se uso de uma análise relacionada às relações funcionais e principais limitações da tarefa.

Com isso foi-se possível delimitar os requisitos listados na linha mestra e classificar em subfunções de requisitos desejáveis os possíveis de análise para o projeto, e as exigências de projeto, onde devem por obrigação ser respeitadas.

3.2 FASE III – Anteprojeto: Projeto conceito para o desenvolvimento da aeronave

Nesse momento é importante para a resolução do projeto que as principais características funcionais sejam determinadas pelo engenheiro projetista, para que a estrutura seja resistente e o projeto atenda os principais requisito da competição.

Após isso inicia-se o desdobramento da função de produto em subfunções, para assim identificar a solução principal que possa atender a todos os objetivos descritos nas funções iniciais na elaboração da estrutura da função, que leva diretamente à formulação do problema e suas características.

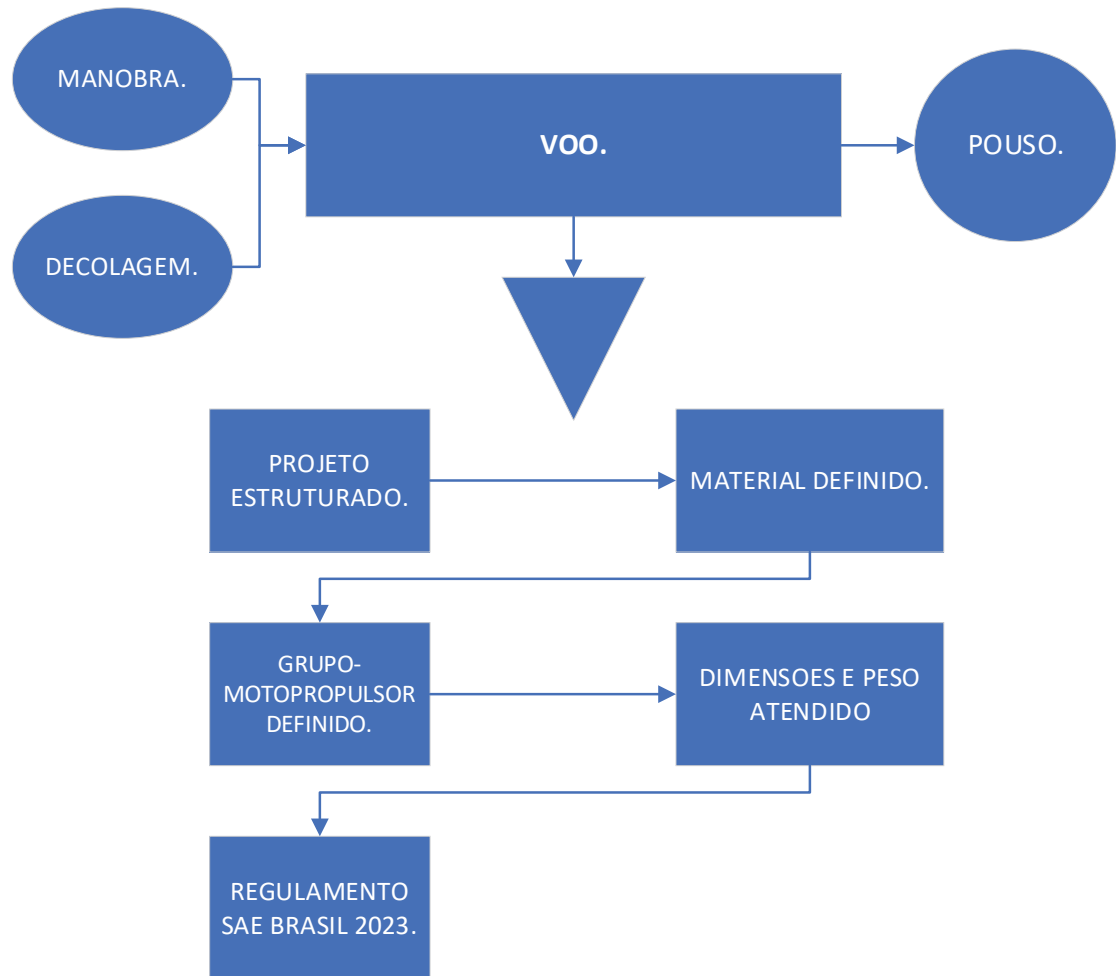


Figura 6 - Estrutura do projeto
(Fonte: Adaptado de Pahl et al, 2005)

A partir da função global o caminho a ser seguido para execução e validação do projeto conceitual segue obedecendo as sub-funções para o desenvolvimento do projeto, conforme mostrado na figura 6.

3.2.3 Projeto estruturado

Para estruturar o projeto a equipe foi dividida em setores como: motor-hélice, fuselagem, trem de pouso e aerodinâmica a fim de apresentar o projeto para o ano de 2023, baseando-se na norma de 2022. Todo o projeto foi trabalhado e pensado utilizando o material disponível pelas equipes anteriores.

3.2.4 Material definido

Com base na competição de acesso esse ano a qual a equipe trabalhou para voltar a competir, foi possível avaliar através do processo, tudo que será necessário para fabricação do novo projeto no ano de 2023 o qual, foi realizado uma avaliação de tudo que o projeto precisa, desde ferramentas ate o material base para fabricação.

3.2.5 Grupo moto-propulsor definido

Sabendo que este ano foi um ano de transição em relação à motorização dos aeromodelos, foi avaliado também qual seria o motor especificado pela SAE Brasil que poderá ser usado na competição, ficando restrito apenas a motorização elétrica com uma potência limitada a 700 W.

3.2.6 Dimensões e peso atendido

Com base na categoria de acesso do ano 2022 onde a norma limitava a envergadura a 2000 mm a equipe desenvolveu uma asa com 1600 mm, que foi capaz de transportar 5,100 kg, mais o peso do aeromodelo que pesou 2,280 kg, totalizando uma carga paga de 7,380 kg. Neste contexto foi calculado a área desta asa no software Autocad e mostrou que a asa é capaz de transportar 85g/dm.

Com base na norma da classe regular 2022 que especifica uma envergadura de asa 2500 mm foi capaz de determinar que asa é capaz de transportar uma carga paga de 8,9 kg, mais o peso do aeromodelo que pesou 2,6 kg, totalizando uma carga paga de 11,5 kg. considerando que a asa é capaz de transportar aproximadamente 129,21g/dm.

Observa-se que o incremento de área na envergadura do aeromodelo possibilita uma melhoria de 60 % no projeto do perfil de asa do aeromodelo de acesso 2022 para o aeromodelo previsto para classe regular 2023.

3.2.7 Aerodinâmica

No desenvolvimento das atividades da equipe o estudante Gustavo Beutler, havia proposto análise de perfis aerodinâmicos com base nos perfis avaliados pela equipe aerocócus nas competições anteriores, afim de propor um perfil otimizado que pudesse ser desenvolvido para a competição de classe regular 2023.

No entanto, como o estudante desistiu da atividade, manteve o melhor perfil desenvolvido pela equipe em anos anteriores.

3.2.8 Regulamento SAE Brasil 2023

Para o ano de 2023 o regulamento que normaliza a competição realizada em São Paulo não está disponível, sendo assim todo o trabalho foi desenvolvido com base na norma de 2022, sabe-se até o momento que por ser um ano de transição a única mudança expressiva será a substituição do motor a combustão para motores elétricos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visto que não foi cumprido o objetivo de analisar o perfil aerodinâmico proposto no TFG I do Gustavo Beutler, colega que estava trabalhando junto a este projeto. Busquei avaliar o melhor perfil aerodinâmico realizado por equipes anteriores.

Para essa primeira versão do aeromodelo vamos manter a asa do avião nº18, a qual classificou a equipe no ano de 2017 para a competição do ano de 2018 na (12º) colocação a nível de campeonato Brasileiro.

4.1 PROJETO ESTRUTURADO

Conforme descrito na metodologia a equipe dividiu-se em setores conforme se apresenta abaixo:

motor-hélice, fuselagem, trem de pouso, bequilha, aerodinâmica, posição de CG, projeto elétrico, análise de custos para o desenvolvimento de três aeromodelos para a competição de classe regular 2023.

4.1.1 Motor-Hélice

Dentre os motores possuídos pela equipe, a análise se restringiu ao motor Magnum XLS-61A devido ao seu maior porte (9,95 cilindradas de deslocamento) e seu estado de melhor conservação em comparação aos outros. A seleção do conjunto se deu através da comparação dos resultados de tração estática e dinâmica de várias hélices nos ensaios de bancada. Todos os ensaios foram realizados utilizando a vela GLOW-SLOQ.

O ensaio de tração estática consiste na colocação do motor em uma bancada, onde, ao exercer tração (devido à rotação da hélice) este fique livre para deslizar ao longo de um eixo. Conectando o motor a um aparelho de medição (dinamômetro de mola), o deslocamento é traduzido em unidades de força. A tração máxima de cada conjunto motor-hélice é obtida com o ajuste ideal da agulha do carburador, que pode ser baseada no ruído do motor ou com auxílio de um tacômetro digital. As diferentes hélices resultam em diferentes valores de tração, conforme Tabela 1.

Hélices	Tração Dinamômetro (N)	RPM
APC 12,25x3,75	35	12500
APC 12x6	30	7500
APC 12x7	30	10200
MA 12x 8	30	11000
APC 13x4	30	11300
MA 13x5	37	10590
MA 13x6	34	10400

Tabela 1 Resultados do ensaio de tração estática
(Fonte: O autor, 2022)

Os melhores resultados foram encontrados para as hélices APC 12,25x3,75, MA 13x5 e MA13x6.

4.1.2 Fuselagem

Para a fuselagem será de fácil montagem e desmontagem, será utilizado um gabarito, figura 7, que permitira a confecção da treliça de forma rápida e precisa. A fuselagem foi projetada para um MTOW máximo de 11,5 kg, com segurança.

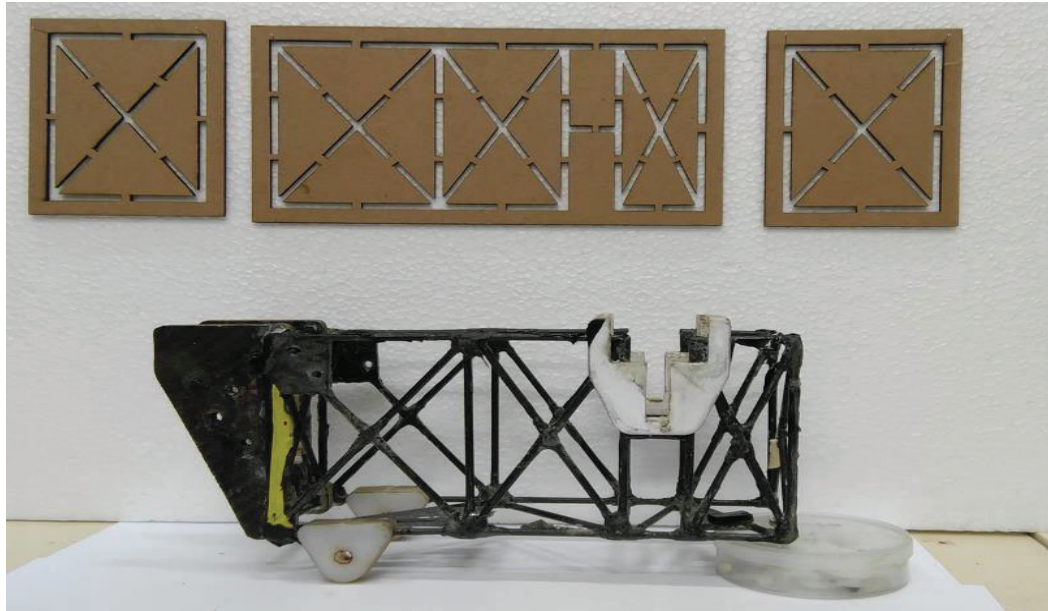


Figura 7 - Gabarito para construção da fuselagem
(Fonte: O autor, 2022)

Com o desenvolvimento dos gabaritos o processo de fabricação da aeronave foi mais simples e rápido. Garantindo ainda uma estrutura confeccionado de forma artesanal conforme zela a norma da classe regular, a construção do protótipo serviu para a obtenção de novas ideias para processos posteriores para os aviões definitivos para o ano de 2023.

4.1.3 Trem de Pouso

O trem de pouso foi do tipo triciclo composto de um eixo fixado a dois mancais que são transpassados dentro da vareta lateral da fuselagem. Para o posicionamento dos trens a literatura sugere utilizar o *overturn angle*.

Segundo Raymer (1992) a distância mínima entre as rodas do trem principal deve ser 128 mm, porém foi utilizada uma distância de 180 mm afim de evitar o contato da asa com o chão.

Pois, quando avaliados em testes em pista manteve melhor estabilidade e controle, a preferência pelas rodas será composta por material de nylon ou similar e não de borracha, pois em pista de grama tem melhor desempenho e promovem maior velocidade já rodas de borracha não tem bom desempenho em pista de grama.

Distância entre os trens (mm)	280
Distância CG – Eixo principal (mm)	130

Tabela 2 - Valores de posicionamento
(Fonte: Equipe aerocócus, 2022)

A tabela 2 coloca em evidencia os valores de posicionamento do trem de pouso principal, após ser testado em ambas as pista de voo.

Foi definido a utilização do eixo de fibra de carbono com formato quadrado, dimensões de 20x18,5x2mm, que apresentou melhores propriedades, além de um menor peso.

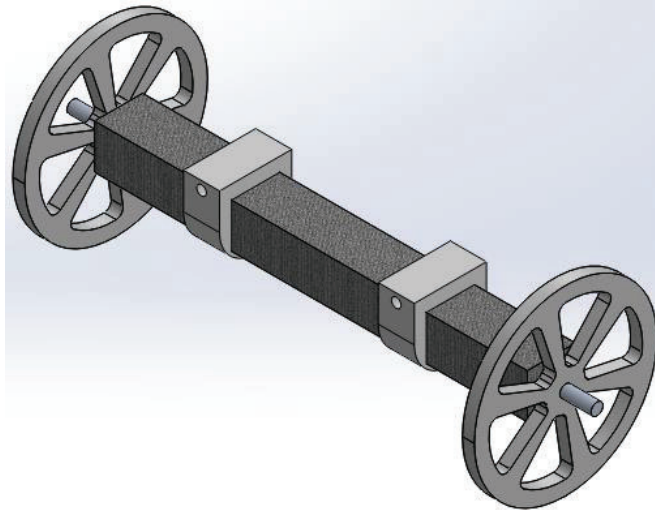


Figura 8 – Modelo de trem de principal
(fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

A figura 8 deixa em evidencia o trem de pouso principal do aeromodelo, composto por materias de fibra de carbono e nylom para os rodizios.

A primeira etapa do cálculo consiste na definição das condições de voo da aeronave em questão, isto é, todas as combinações de velocidades e fatores de carga que atuam durante um voo.

	Trem de Pouso Principal		Trem de Pouso do Nariz	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
3 rodas	171,27 N	52,90 N	54,08 N	16,70 N
2 rodas	198,31 N	61,25 N	-	-
1 roda	396,62 N	122,50 N	-	-

Figura 9 - Cargas verticais e horizontais
(Fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

A figura 9 apresenta os dados analisados com base no trem de pouso desenvolvido para o aeromodelo.

	Interna	Externa
Vertical	93,10 N	93,10 N
Horizontal	70,00 N	46,20 N

Figura 10 - Cargas laterais
(Fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

A condição de máximo esforço para o trem de pouso se dará durante uma aterrissagem lateral em uma única roda, onde as forças tendem a fletir o trem para dentro e para trás, devido às cargas laterais e horizontais, respectivamente, e comprimir para cima, devido ao peso e ao acréscimo de aceleração.

4.1.4 Bequilha

A análise resultou na escolha de um eixo de aço de 6 mm de diâmetro devido ao seu curto espaço entre o corpo composto de fibra de carbono e a estrutura fixada no berço. Foi realizado um ensaio estático para validação, simulando as cargas máximas atuantes.

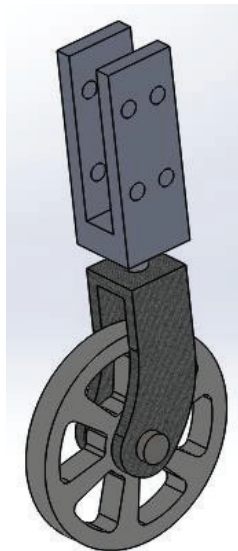


Figura 11 – Modelo de bequilha
(fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

A figura 11 apresenta a bequilha elemento do trem de aterrissagem que suporta o peso da traseira da fuselagem quando o avião está pousado no solo.

4.1.5 Aerodinâmica

Conforme comentado na secção da metodologia, manteve-se o melhor perfil já utilizado nas competições. No apêndice apresenta-se um resumo deste relatório. Como a competição é no mês de novembro de 2023, possivelmente o estudante poderá desenvolver o perfil durante o próximo ano.

4.1.6 Posição de CG

A fim de evitar o passeio do CG longitudinal da aeronave foi utilizado o software Autocad para calcular o CG a partir dos valores obtidos, o compartimento de carga foi posicionado a 25% da carga á frente da longarina, e 75% na parte de trás, como ilustrado na figura 8. Esta configuração permitiu o posicionamento correto da carga no ponto determinado pelo projeto. O caso mais crítico do passeio vertical do CG foi com TOW = 4 kg, gerando centro de massa a 30% da altura do compartimento de carga/fuselagem.

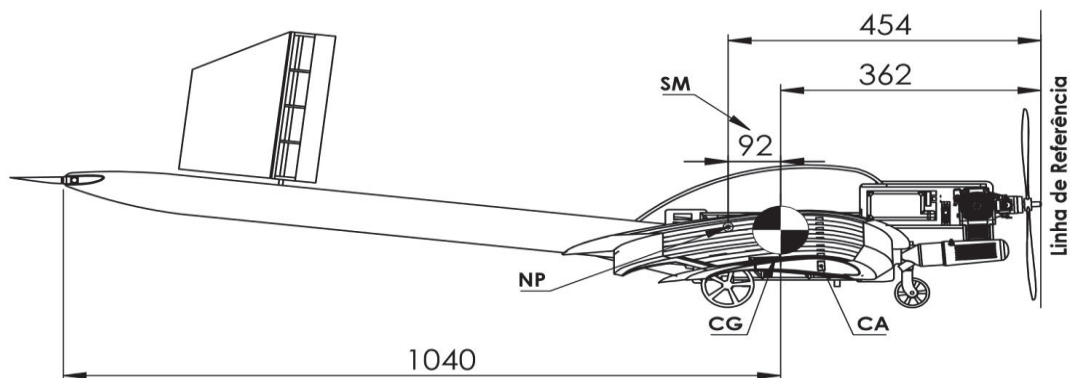


Figura 12 – Determinação da margem estática
(Fonte: Aerococcus, 2022)

A figura 12, mostra o CG da aeronave obtido a partir do projeto detalhado, onde ele é calculado após concluir o estudo da aerodinâmica do aeromodelo.

4.1.7 Projeto elétrico

Partindo das medições foi definida a extensão AWG 28 para o atuador do estabilizador horizontal, os outros atuadores utilizam a bitola AWG 32. A figura 13 contém a vista superior da aeronave com todas as ligações.

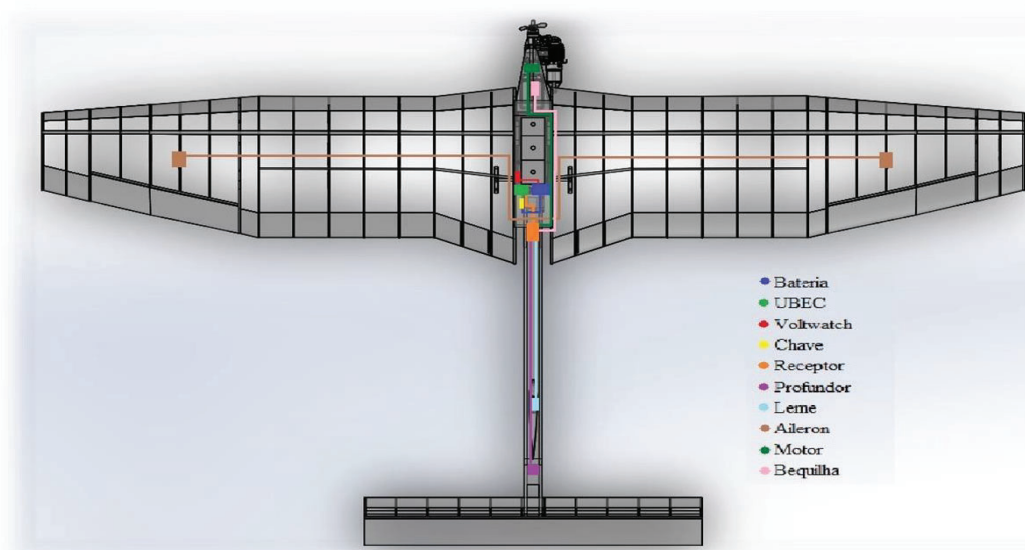


Figura 13 - Vista superior das conexões
(Fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

A instalação elétrica da aeronave é muito importante para que nenhum atuador deixe de funcionar durante o voo. Por isso, todas as extensões foram posicionadas de maneira cautelosa. Os atuadores da bequilha e do motor foram conectados com o receptor por dentro da fuselagem, fixados abaixo do compartimento de carga. As extensões dos ailerons passam pela parte interna da asa, e a parte interna do tail boom foi usada para conectar o receptor com os atuadores do profundor e do leme. Além disso, todos os conectores foram revestidos com tubos termo retráteis.

4.1.8 Análise de custos para o desenvolvimento de três aeromodelos para competição de classe regular 2023

Durante o ano de 2022, período em que equipe trabalhou para garantir o acesso a competição de classe regular no ano de 2023, foi possível realizar um levantamento de todo o material necessário para a concepção de três aeromodelos que deveriam ser fabricados ao longo do próximo ano. A tabela 3 ilustra os materiais solicitados.

	A	B	C	D	E	F	G
1	SITUAÇÃO	CÓD. SI	MATERIAL	QTD/ UND	RS /UND	TOTAL R\$	SITES
2		234683	COLA MADEIRA tekbond 250 g	10	13,90	139,00	https://www.lojadomecanico.com.br/
3		234678	ADESIVO INSTANTANEO PROFISSIONAL TEKBOND 791 100g	12	41,90	502,80	https://www.lojadomecanico.com.br/
4	ENTREGUE	324	COLA SUPER BONDER 5G	10	7,90	79,00	https://www.magazineluiza.com.br/
5		234685	Estilete Profissional de 6 Pol. - TRAMONTINA-43390301	8	17,90	143,20	https://www.lojadomecanico.com.br/
6		234695	Soprador Térmico com Temperatura Digital 2000W - DEWALT-D26414 220V	1	699,00	699,00	https://www.lojadomecanico.com.br/
7		234689	Servos Emax ES3302 / ES3352	13	192,69	2504,97	https://www.americanas.com.br/
8		234690	Servo Hitec HS -82MG	10	184,18	1841,80	https://www.bigfield.com.br/
9		234686	Extensão para servos 100 cm	8	25,00	200,00	https://www.bigfield.com.br/
10		234688	Extensão para servos 80 cm	6	22,00	132,00	https://www.bigfield.com.br/
11		234687	extensão para servos 30 cm	6	14,00	84,00	https://www.bigfield.com.br/
12		234679	Bateria Lipo 5s 18.5v 2200mah Cnhl 40c / 80c Plug Xt60 Nova	2	299,90	599,80	https://produto.mercadolivre.com.br/
13		234694	Power rc 130A Watt Meter Power Analyzer lcd Display de alta precisão	2	525,39	1050,78	https://www.americanas.com.br/
14		234684	ESC HOBBYWING SKYWALKER 80A 2-6S UBEC LIPO	3	233,10	699,30	https://www.audiotechobby.com.br/
15		234691	Motor Brushless Dualsky XM4255EA-10 V3 - 620KV EA CLASS / .55E	3	669,00	2007,00	https://www.audiotechobby.com.br/
16		234682	Capa de ferro para entelagem	10	65,16	651,60	https://www.audiotechobby.com.br/
17		234710	Aerostar helice de madeira 14X7	2	60,00	120,00	https://www.bigfield.com.br/
18		234721	HÉLICE XOAR 13X06 FIBRA DE NYLON 13X6	3	49,50	148,50	https://www.audiotechobby.com.br/
19	ENTREGUE	234693	Paquímetro Universal Metálico, 150 M, Passo 0, 02 Mm Mtx	1	47,90	47,90	https://www.amazon.com.br/
20		234713	Chapa Balsa Equatoriana 4AAAA de 1 X 100 X 930mm	20	33,50	670,00	https://www.bigfield.com.br/
21		234712	Chapa Balsa Equatoriana 4AAA de 1,5 X 100 X 930mm	15	30,15	452,25	https://www.bigfield.com.br/
22		234718	Chapas de madeira balsa (3/64" x 4" x 36") ESPECIAIS (AAA) - 1,2 mm	40	8,10	324,00	https://www.bigfield.com.br/
23		234716	Chapas de madeira balsa (3/16"x 4"x 36") ESPECIAIS (AAA) - 4,76 mm	40	10,30	412,00	https://www.bigfield.com.br/
24		234714	Chapa Balsa Equatoriana 4AAAA de 5 X 100 X 930mm	20	13,30	266,00	https://www.bigfield.com.br/
25		234717	Chapas de madeira balsa (1/4" x 4" x 36") - 6,35 mm	30	9,15	274,50	https://www.bigfield.com.br/
26		234715	Chapa de madeira balsa (10 X 80 X 930mm)	10	12,30	123,00	https://www.bigfield.com.br/
27		234730	Jogo de Chaves Allen de 1,5 a 10mm 9 Peças	1	16,56	16,56	https://www.lojadomecanico.com.br/
28		234722	Kit bequilha dianteira 8cm suporte e alavanca	4	21,60	86,40	https://www.audiotechobby.com.br/
29		234719	Extensão para servos 60 cm	6	19,00	114,00	https://www.bigfield.com.br/
30		227571	Monokote Amarelo rolo (66 X 182 cm)	20	256,00	5120,00	https://www.bigfield.com.br/
31		227570	Monokote Preto rolo (66 X 182 cm)	10	256,00	2560,00	https://www.bigfield.com.br/
32		234731	Serra Tico Tico 750W DX54 CAT	1	479,00	479,00	https://palaciadasferramentas.com.br/
33		234720	Ferro de entelagem 220v	2	459,00	918,00	https://www.bigfield.com.br/
34		213403	Fita Silver type 50m	6	49,00	294,00	https://www.bigfield.com.br/
35	ENTREGUE	227507	Paquímetro Digital Mitutoyo 150mm (pronta Entrega)original	1	389,99	389,99	https://produto.mercadolivre.com.br/
36		234762	Estojo de Estiletos e Laminas Variado - Fengda	1	209,90	209,90	https://maismodelismo.com.br/
37		234758	Chapas de madeira balsa (1/8"x 4"x 36") ESPECIAIS (AAA) - 3,2 mm	60	9,45	567,00	https://www.bigfield.com.br/
38		234759	Chapas de madeira balsa (5/16"x 4"x 36") - 7,93 mm	25	10,15	253,75	https://www.bigfield.com.br/
39	ENTREGUE	234765	Jogo de soquetes encaixe + chave catraca 94 peças healer	1	291,90	291,90	https://www.magazineluiza.com.br/
40	ENTREGUE	234764	Jogo de chaves tork longa T10 - T50 9 Peças	1	20,99	20,99	https://www.lojadomecanico.com.br/
41		234766	Raio Bicicleta 2,5mm Grosso Zincado	2	29,90	59,80	https://produto.mercadolivre.com.br/
42		234763	extensão para servos 15 cm	6	8,00	48,00	https://www.bigfield.com.br/
43		234782	Monokote Laranja (66 x 182 cm)	5	256,00	1280,00	https://produto.mercadolivre.com.br/
44		234783	Monokote Verde Floresta (66 x 182 cm)	5	256,00	1280,00	https://www.bigfield.com.br/
45		234767	Midwest barra redonda de fibra de carbono 0.080 x 24	6	73,70	442,20	https://www.bigfield.com.br/
46						TOTAL R\$ 28.603,89	

Tabela 3: Lista de materias orçados para 2023
(Fonte: O autor, 2023)

A tabela 3 contém a lista de materiais base, assim como ferramentas essenciais para o processo de fabricação dos três novos aeromodelos de classe regular previsto para o ano de 2023.

4.2 RESULTADOS DO PROJETO

Portanto, o aeromodelo apresentado para o ano de 2023, da equipe Aerococcus da Universidade de Passo Fundo – RS, é apresentado na figura 14, que para o seguinte ano terá sua representação na versão elétrica, por obter uma excelente otimização de perfis aerodinâmicos e bom desempenho em testes realizados no ano de 2022.

O projeto receberá melhorias durante sua fabricação, buscando reduzir ainda mais o peso da aeronave de 2,280 kg, para que possa carregar uma carga paga superior a 12 kg, sendo assim a equipe pode competir com as 10 melhores equipes no ranking da classe regular SAE Brasil.

Com base nos resultados da (24ª) competição realizada no ano de 2022 como mostra a figura 14, contemplado estas melhorias propostas vamos estar garantindo uma posição junto as 10 melhores equipes de AeroDesign do Brasil.

Além disso os motores elétricos buscam garantir maior eficiência em relação a motores a combustão obtendo maior torque poderá garantir bom desempenho para transportar cargas elevadas.

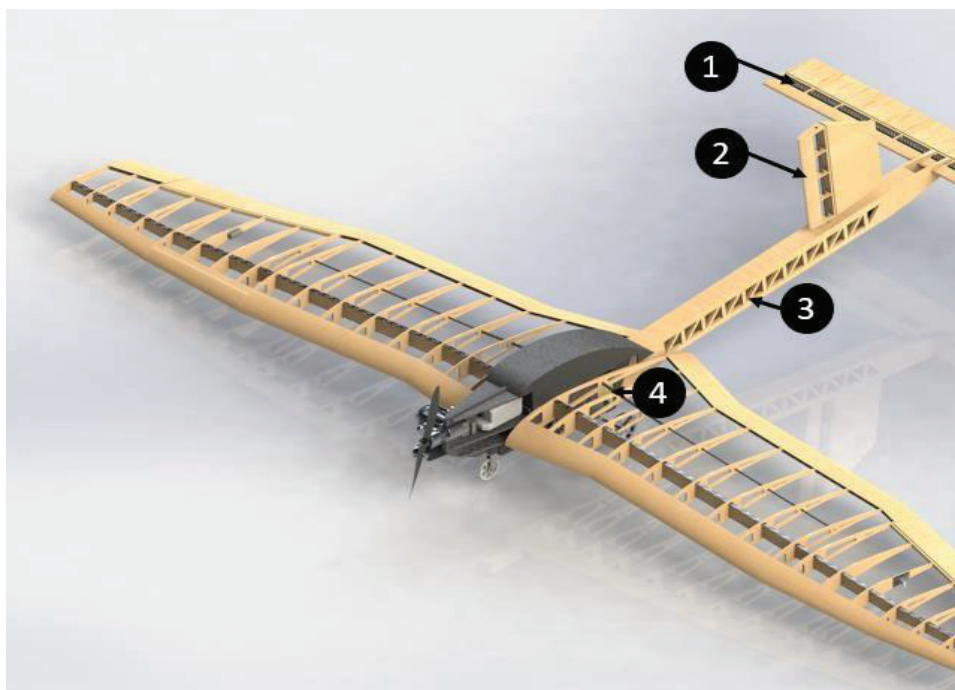


Figura 14 - Aeromodelo conceito 2023
(Fonte: Equipe Aerococcus UPF, 2022)

A figura 14 apresentada acima ilustra o protótipo desenvolvido para competição de classe regular SAE Brasil 2023. Os números mostram:

1 - Profundor de cauda em termos simplificados, o movimento da profundidade faz com que o nariz da aeronave aponte para baixo ou para cima, instalados no estabilizador horizontal;

2 - Leme de direção fica na parte traseira do estabilizador vertical. É uma superfície móvel que se movimenta para a esquerda e para a direita, permitindo que o nariz do avião vire para os lados;

3 - O tail boom é a estrutura da aeronave que tem como função principal ligar a superfície sustentadora da aeronave com as superfícies estabilizadoras, podendo controlar assim sua posição;

4 – Fixação da asa através de parafusos inferiores.

O protótipo da figura 10 abaixo é o aeromodelo usado para comprovação dos testes, o qual passara por melhorias como já descrito anteriormente, o qual será fabricado em uma nova versão elétrica.



Figura 15 - Protótipo 2023
(Fonte: Equipe Aerococcus 2022)

A figura 15 busca demonstrar a aerodinâmica a qual o aeromodelo será fabricado no ano de 2023.

A tabela 4 abaixo apresenta os aspectos e dimensões principais para concepção do novo aeromodelo que será usado na 25ª competição da SAE Brasil 2023.

Aspecto	Dimensão
Envergadura asa	2,5 m
Cr asa	0,5 m
Ct asa	0,22 m
Alongamento da Asa	7
Área Asa	0,89 m ²
Corda média asa	0,378 m
Perfil Asa	S1223
Envergadura EH	0,86 m
Cr EH	0,22 m
Ct EH	0,18 m
Alongamento EH	4,95
Área EH	0,15 m ²
Corda média EH	0,174 m
Perfil EH	S3021
Envergadura EV	0,25 m
Cr EV	0,22 m
Ct EV	0,15 m
Alongamento EV	1,47
Área EV	0,0425 m ²
Corda média EV	0,17 m
Perfil EV	NACA0010
VH	0,46
LH	1,05 m
Motor	Magnum XLS-61A
Hélice	13 x 5
MTOW (teórico)	10,8 Kg
Peso Vazio	2,90 Kg

Tabela 4 - Dados Geométricos do aeromodelo 2023.
(Fonte: Equipe Aerococcus, 2022)

Abaixo é apresentado o resultado final da 24ª competição classe regular SAE Brasil 2022, na figura 16 é apresentado as 10 equipes que melhor tiveram desempenho na competição, sendo que a equipe vencedora conseguiu transportar uma carga paga de 12,630 kg.

O presente projeto apresenta um aeromodelo ainda em fase de testes capaz de transportar uma carga paga de 11,5 kg.

Contudo o transporte de carga corresponde a 60% da nota, os outros 40% esta dividido entre projetos e relatorios realizados pela equipe no decorrer do processo de concepção.

24ª Competição SAE BRASIL de					
Pos	Nº	Nome Equipe	Escola	UF	Carga Paga Total (kg)
1	9	AXÉ FLY	Universidade Federal da Bahia (UFBA)	BA	12,630
2	8	URUBUS AERODESIGN	Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)	SP	10,570
3	4	Uirá AeroDesign	Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI - Itajubá)	MG	10,935
4	3	KEEP FLYING	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI - USP)	SP	9,195
5	13	FEI REGULAR	Centro Universitário da FEI (FEI)	SP	9,800
6	32	PegAzuls AeroDesign	Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA - Mossoró)	RN	9,155
7	18	Kukulcán AeroDesign	Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Ticomán (ESIME Tic - IPN)	México	7,515
8	7	F-CARRANCA	Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)	BA	7,310
9	14	FALCONS AERODESIGN	Centro Universitário FACENS(FACENS)	SP	9,165
10	6	HARPIA AERODESIGN UFABC	Universidade Federal do ABC (UFABC)	SP	7,420

Figura 16- Dados da 24ª competição SAE Brasil 2022
(Fonte: SAE Brasil, 2022)

Figura 16 apresenta as 10 melhores equipes classificadas num total de 55 equipes de AeroDesign do Brasil, que todos os anos participam da classe regular SAE Brasil, com o objetivo de desenvolver um aeromodelo capaz de transportar uma carga paga de 20 kg, o peso máximo permitido pela norma.

No ano de 2022, a equipe buscou retomar as atividades depois de muito tempo sem competir, tendo que recomeçar do zero.

Composta por integrantes novos, a equipe buscou ajuda para que pudéssemos voltar a competir, nesse momento o Prof. Dr. Leandro Tagliari nos apresentou o piloto Pablo Fonseca que se voluntariou para fazer parte da equipe de AeroDesign da UPF, e que desde então nos ajudou com seu conhecimento para que pudéssemos dar início as atividades, a partir deste momento começamos a trabalhar através da norma da classe de acesso à competição, começamos com 11 integrantes e alunos dos curso de engenharia mecânica e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo RS.

Durante o processo de fabricação do aeromodelo buscamos reformar dois aeromodelos que se enquadravam na norma de acesso, para garantirmos que caso viéssemos a perder uma aeronave teríamos a outra para garantir, no decorrer do processo poucos foram aqueles que estiveram ou se fizeram presentes para ajudar nos projetos e na fabricação, muitos acabaram saindo da equipe.

Mas foi com muito empenho que a equipe em que geralmente se tinha 4 integrantes trabalhando de fato conseguir obter o exito para cumprir com os prazos na entrega dos projetos e também para fabricação / manutenção do aeromodelo.

Como nosso principal objetivo era de conseguirmos um video que cumprisse com o regulamento e que mostrasse a maior carga paga que o aeromodelo pudesse transportar, foi no último momento que conseguimos obter este exito.

Feito isso a equipe agora aguarda pelo resultado que deve ser divulgado durante os proximos meses pela SAE Brasil, para sabermos se a equipe estará apta a competir na classe regular junto as demais em São Paulo no ano de 2023.



Figura 17 - Equipe de Aerodesign 2022
(Fonte: O autor, 2022)

A figura 17, equipe de aerodesign da UPF, que trabalhou para garantir o acesso a competição de classe regular para o ano de 2023.

Deixo meu agradecimento aos integrantes desta equipe que trabalharam de forma incondicional para resgatar o conceito do aerodesign.

Piloto da Equipe – Pablo Fonseca

Prof. Dr. Leandro Tagliari

Capitão – Alan Cristian Bagestan de Oliveira

Integrante: Élder Casagrande, Joyce Hellen Barros, José Conte Três

5 CONCLUSÕES

As conclusões do trabalho estão relacionadas ao cumprimento dos objetivos específicos que alicerçam o objetivo geral. Neste sentido abaixo descreve-se por objetivo o cumprimento das atividades:

1) Com relação ao Primeiro Objetivo específico: Elaborar uma metodologia para o desenvolvimento de aeronaves leves radio controladas:

Utilizou-se a metodologia de desenvolvimento de projetos proposta por Pahl et al, (2005) aonde desenvolveu-se um levantamento bibliográfico pertinente ao estudo, aplicou-se a metodologia aonde foi desenvolvida uma lista de requisito com as principais exigências para o estudo de caso, desmembrou-se a função global com as sub-funções, no intuito de obter-se as melhores soluções e por consequência obteve-se o projeto conceito na forma de um esboço do EROMODELO.

2) Com relação ao Segundo Objetivo específico: Desenvolver o projeto detalhado:

Realizou-se o projeto detalhado e construiu-se um protótipo do aeromodelo que em testes práticos conseguiu transportar uma carga paga de 7,380 Kg com uma envergadura de Asa de 1600mm, no entanto ao transpor para a norma SAE Brasil da classe regular aonde a envergadura da Asa é de 2500mm esse projeto possibilita um incremento de 60% de melhoria podendo chegar a 12,00 Kg de carga paga. Possibilitando uma recolocação da equipe entre as 10 primeiras a nível de campeonato Brasileito no ano de 2023.

3) Com relação ao terceiro Objetivo específico: Propor a lista de materiais com investimento para a construção de três aeronaves para SAE Brasil Aero design classe regular 2023.

Foi desenvolvida uma lista de materiais com investimento para a construção de três aeronaves para SAE Brasil Aero design classe regular 2023, a base para o projeto 2023 foi no aprendizado da competição da classe de acesso ao qual sou o capitão da equipe e me proporcionou aprendizado na gestão, tratamento e delegação de atividades e tarefas aos integrantes da equipe e propiciou realizar de forma detalhada todo o romaneio e necessidades para fabricação destes aeromodelos para o ano de 2023.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON JR., J. D. **Fundamentos de Engenharia Aeronáutica**. [S. l.]: AMGH Editora, 2015.

BARROS, C. P. **Uma metodologia para desenvolvimento de aeronaves leves subsônicas**. 2001. Tese (Doutorado em de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, UFMG, Minas Gerais, 2001.

DA ROSA, E. **Introdução ao Projeto Aeronáutico**: uma contribuição à competição SAE Brasil Aerodesign. UFSC: Florianópolis, 2005.

DANSIE, J. **Model aircraft design**: a teaching series for secondary students. 2016. Disponível em: <https://fdocuments.in/document/jon-dansie-model-aircraft-design.html?page=3>. Acesso em: 18 abr. 2022.

FERREIRA, M. J. B.; MELLO, C. H.; MARQUES, R. **Relatório de Acompanhamento Setorial**: Indústria Aeronáutica. Brasília: ABDI/UNICAMP, 2009, v. 3. Disponível em: https://www.economia.unicamp.br/Neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/aeronautica_vol-III_julho2009.pdf?msclkid=5078956dcf3111ec8fea8317721fee4. Acesso em: 20 abr. 2022.

FERREIRA, P. L. **Capital intelectual na indústria de private equity e venture capital**: Um estudo sob a ótica dos Investidores Institucionais e Gestores de Fundos. 2010, 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Pontifca Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

ANDERSON Jr., J. D. **Fundamentos de engenharia aeronáutica**. 7. ed. Porto Alegre: Grupo A, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788580554816>. Acesso em: 8 maio 2022.

MORAES, F. A. B.; D. d.; Silva, C. L. d. Etapas de dimensionamento de trem de pouso triciclo para aeronaves radio controladas sae aerodesign. **The Journal Of Engineering And Exact Sciences**. Viçosa, v. 5, n. 4, 2019.

OXFORD, E. D. Oxford english dictionary online. **Mount Royal College Lib.**, Calgary, v. 14, 2004.

PAHL, Gerhard. **Projeto na Engenharia**. São Paulo: Editora Blucher, 2005. *E-book*. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521215516/pages/recent>. Acesso em: 24 fev. 2022.

RAYMER, D. P. **Aircraft Design**: A Conceptual Approach. [S. l.]: AIAA (American Institute of Aeronautics & Ast, 1992.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da engenharia aeronáutica, aerodinâmica e desempenho**. [S. l.]: Salto/SP - Edição do Autor, 2014.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da engenharia aeronáutica, estabilidade e estruturas**. [S. l.]: Salto/SP - Edição do Autor, 2014.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da engenharia aeronáutica**. [S. l.]: Cengage learning, 2013.

RODRIGUES, L. E. M. J. **Fundamentos da engenharia aeronáutica**: aplicações ao projeto SAE aerodesign. [S. l.]: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2010.

SAE BRASIL **AeroDesign**. 2022. Disponível em: <https://saebrasil.org.br/programas-estudantis/aero-design-sae-brasil/>. Acesso em: 17 mar. 2022.

SANTOS, J. S. P. DOS; DIAS, J. P. A.; SATIRO, A. R. G. Análise de aerofólios de alta sustentação para aplicação em aeronave cargueira não tripulada da equipe aerodesign. **Brazilian Journal Of Development**,

[s. l.], v. 6, n. 10, p. 78550–78570, 2020.

TORENBEEK, E. **Synthesis of subsonic airplane design**. Rotterdam: Nijgh-WoltersNoordhoff, Universitaire Uitgevers B.V., 1976.

YECHOUT, T. R. **Introduction to Aircraft Flight Mechanics**, AIAA (American Institute of Aeronautics & Ast), 2014. 700 p.

APENDICE A – Desenho detalhado com lista de principais peças.

O detalhamento da figura 16, busca mostrar evidenciar todos os detalhes de como a asa foi projetada, para posterior a isso efetuar o processo de concepção do aeromodelo de competição da classe regular SAE Brasil 2017. O projeto desta asa garantiu a 12º na competição a nível Brasil, para o ano de 2018.

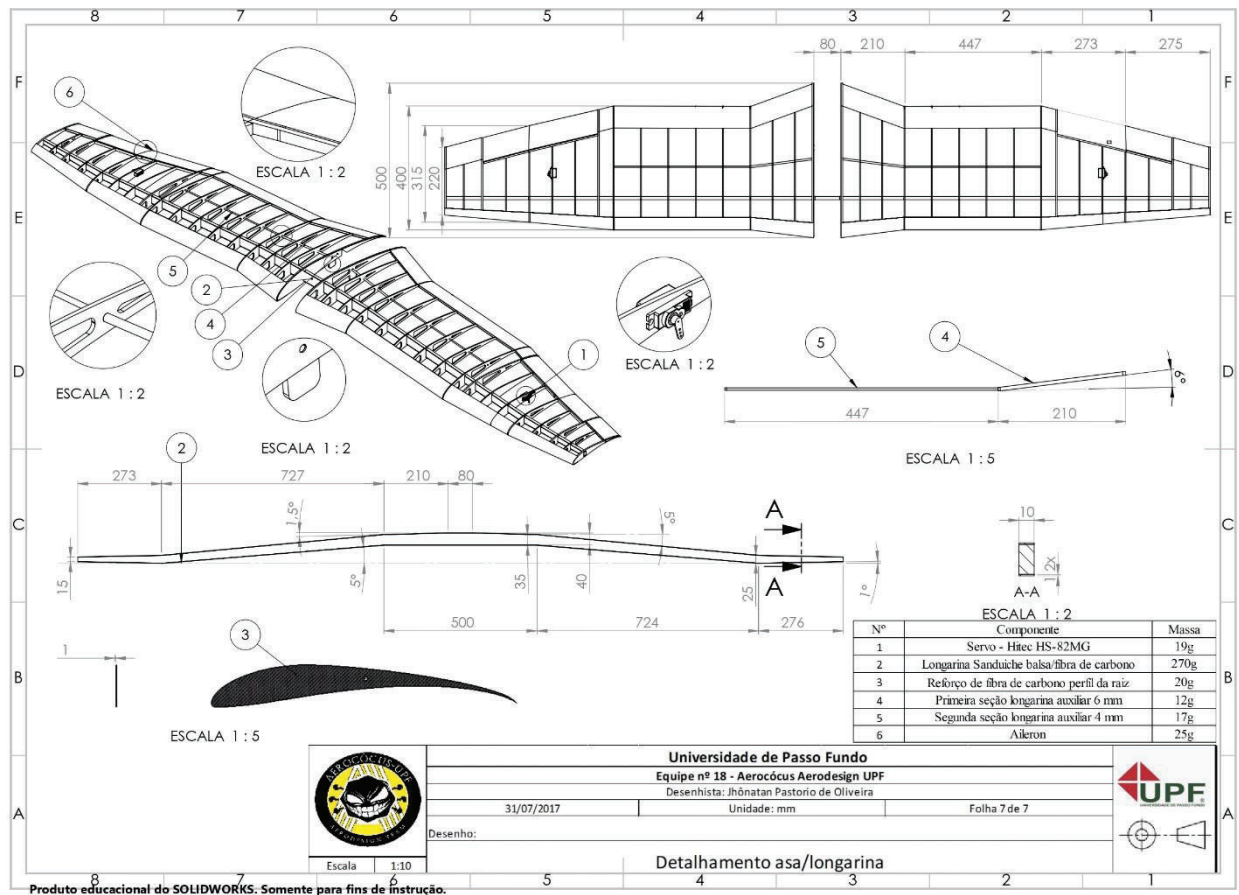


Figura 18 - Detalhamento da Asa
 (Fonte: Equipe Aerococcus, 2017)

A figura 16, traz todos os detalhes possíveis da estrutura da asa, para sua concepção, é possível também ver a posição dos servos-motores responsáveis pelo movimento dos ailerons.

A fuselagem é detalhada neste projeto para a concepção do aeromodelo, visto que o projeto contempla todas as informações necessárias para sua concepção, além de outras partes do aeromodelo todos os itens estão descritos como mostra a figura 17.

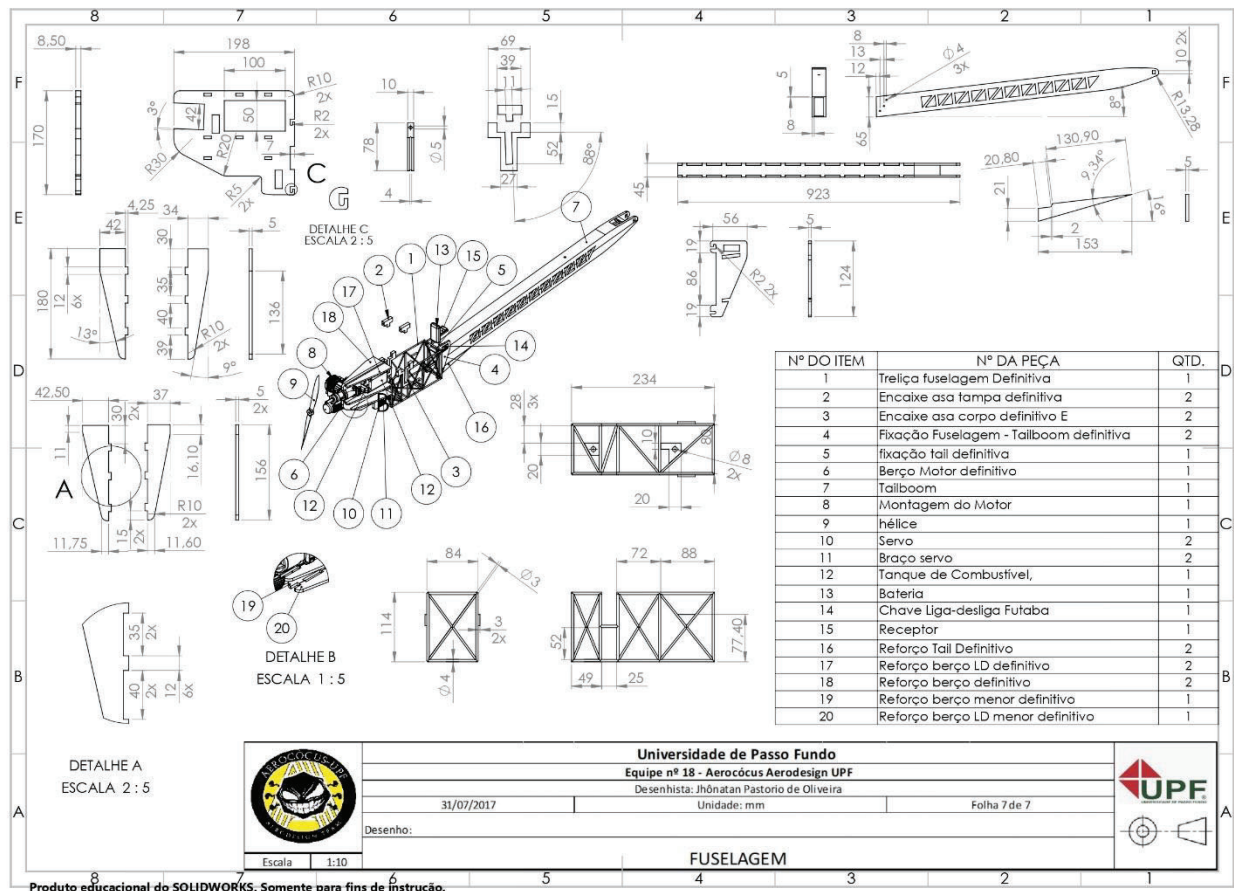


Figura 19 - Detlhamento da Fuselagem
(Fonte: Equipe Aerococcus, 2017)

A Figura 17, mostra em detalhes todos as partes da fuselagem, tailboom, compartimento de carga e berço do motor, além de outros componentes eletronicos.

APENDICE B – Relatório de aerodinâmica.

O quadro 3 apresenta um resumo do estudo realizado por equipes anteriores que tiveram um grande sucesso em seu projeto no ano de 2017.

PROJETO 2017	Descrição
Análise do regulamento	Realizou-se uma análise do regulamento e foram listadas as restrições e pontuações da competição SAE AERODESIGN 2017.
Objetivos propostos	Dividiu-se os objetivos da equipe em dois grupos, o primeiro é referente à parte conceitual de projeto, visando melhorias no mesmo. Já o segundo é referente às metas de projeto para a competição 2017, baseando-se no regulamento e nos objetivos desta.
Projeto Conceitual	Esta seção apresentará os critérios utilizados pela equipe para a seleção da aeronave 2017, além de suas características principais.
Algoritmo otimizado	O primeiro protótipo foi gerado a partir de um algoritmo de otimização de força bruta. Este algoritmo fez uma análise prévia de aerodinâmica, estabilidade, controle e desempenho das aeronaves geradas.
Definição da configuração da aeronave	Para a escolha da aeronave considerada ideal para a competição a equipe buscou encontrar uma forma que atendesse os resultados preliminares do algoritmo de otimização utilizado e respeitasse o regulamento da competição 2017.
Projeto estrutural	Fuselagem, tailboom, longarina.
Fuselagem	A fuselagem foi projetada de forma a atender os requisitos impostos pelo projeto e apresentar segurança em todas as etapas de voo. Suas alterações durante os períodos de testes, tiveram como objetivo principal a redução de peso estrutural, aliada à alta rigidez.
Tailboom	Partindo dos problemas encontrados na aeronave 2016, buscou-se dimensionar um tailboom robusto e suficiente para executar todas as etapas de voo, além de possuir baixo peso estrutural. Foram comparadas estruturas feitas de divinicell, fibra de carbono e balsa.
Longarina	Devido à experiência da equipe, a primeira opção considerada para o projeto da longarina, foi a utilização de tubos de fibra de carbono como longarina principal.
Primeiro protótipo	Partindo dos resultados preliminares obtidos pela equipe, foi concebido o primeiro modelo de aeronave. Este primeiro protótipo visou explorar a viabilidade de construção da aeronave e analisar o seu desempenho em voo.
Construção da aeronave	A partir do detalhamento do projeto, visando a perfeita execução da construção da aeronave, foram confeccionados gabaritos de montagem e utilizados serviços de precisão para a fabricação das peças e componentes.
	Foi utilizado um pente alinhador de perfis para as

Gabaritos para montagem	superfícies sustentadoras, o qual permitiu o alinhamento correto de perfis, além de facilitar a colagem dos mesmos. O mesmo processo executado na asa.
Ensaio de Voo	Construído o protótipo, o mesmo foi testado para verificação das características de voo. Foram realizados 8 voos bem-sucedidos, verificando características positivas em relação ao desempenho da aeronave.
Trem de pouso	A primeira configuração de trem de pouso adotada pela equipe se mostrou insatisfatória para a corrida de decolagem. Quando realizados teste em pista de asfalto, este se mostrou com baixa controlabilidade, característica que ocasionou a mudança desta estrutura.
Projeto de Freio	O projeto de freio foi descartado devido a utilização de um freio aerodinâmico utilizado no pouso. Este artifício, juntamente com um pouso em zig-zag, possibilitou a parada dentro do limite imposto de 120 m.
Ângulo de incidência	A partir dos testes de corrida e dados obtidos pela polar de arrasto, foi definido um ângulo de incidência fixo da aeronave, sendo igual a 2°.
Colisão de ponta de asa	Devido à posição da ponta da asa, uma das preocupações da equipe era com choques da ponta da asa no momento do pouso. Este efeito foi descartado depois dos testes realizados pela equipe, sendo assim possível a retirada do revestimento de fibra de carbono colocado na ponta de asa da aeronave, aliviando peso estrutural.
Conclusão do protótipo	Após os voos de testes do primeiro protótipo, foi constatada uma grande melhoria da aeronave em comparação aos anos anteriores. Esta destacou-se na confiabilidade e estabilidade em voo.
Segundo Protótipo	Para o segundo protótipo, foram revisados o PV, a aerodinâmica da asa e os parâmetros de estabilidade devido as alterações, enquanto que outras mudanças mais minuciosas foram propostas.
Passeio do CG	A fim de evitar o passeio do CG longitudinal da aeronave, o compartimento de carga foi posicionado a 25% da carga, à frente da longarina, e 75% na parte de trás.
Otimização de perfis	Buscando uma forma de aumentar o desempenho da aeronave, a equipe realizou duas otimizações no perfil, uma buscando acréscimo $C_{l\max}$ e outra buscando a redução do C_m e C_d . A segunda otimização ofereceu melhores resultados, visto que reduziram o coeficiente de momento e o coeficiente de arrasto.
Ensaio de Voo	A fim de validar os dados do projeto, foram realizados 10 voos com o segundo protótipo.
Qualidade de voo	O segundo protótipo apresentou características de voo semelhantes ao primeiro. O novo posicionamento do estabilizador vertical proporcionou maior atuação do leme, ocasionando

	uma maior controlabilidade em baixas velocidades.
Desempenho da aeronave	As otimizações aerodinâmicas proporcionaram uma redução das superfícies estabilizadoras, além da redução do arrasto total da aeronave.
Fator de carga	Como os testes do segundo protótipo foram encontrados os limites da aeronave, pelo sistema de aquisição de dados foram obtidos os valores de fator de carga em que a aeronave se encontra durante o percurso de voo.
Projeto elétrico	A execução do projeto elétrico iniciou-se na determinação dos servos motores, partindo dos dados de torque requerido por superfície de controle.
Projeto Final	Ao final do processo de testes em voo, definiu-se o projeto final da aeronave. Alcançou-se confiabilidade e robustez, aliados a um peso vazio de 2,6 Kg. A aeronave mostrou-se estável e controlável em todos os eixos, apresentando um alongamento de asa igual a 7.

Quadro 3 - Integração de projetos
(Fonte: O autor, 2022)