

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

SELEÇÃO DE MATERIAL PARA A FABRICAÇÃO DE FUSELAGEM DE AEROMODELO

Anderson Sousa dos Santos, andersonsousa@hotmail.com¹

Ebson Freitas da Costa, ebsonfreitas@gmail.com¹

Tharcysio Fernando Barros de Souza, tharcysiosouza@gmail.com¹

Maciel da Costa Furtado, macielcosta@ufpa.br¹

¹Universidade Federal do Pará – Campus Universitário de Tucuruí, Rua Itaipú, n° 16, Vila permanente – Tucuruí/Pará, CEP: 68455-700

RESUMO: O projeto de um aeromodelo consiste, dentre outros, no dimensionamento das várias partes que compõe o modelo. A fuselagem, em especial, é a parte responsável por desempenhar um papel fundamental na estrutura do aeromodelo, pois a ela é atribuída componentes importantes, tais como, as asas, estabilizadores e trem de pouso, que são os elementos estruturais fundamentais para decolagem, controle e aterragem, respectivamente. A este respeito, um ponto importante no projeto de aeromodelo é a seleção do material que irá compor a fuselagem e que reúna as três principais características necessária a saber: leveza, resistência mecânica e baixo custo. Diante disso, este artigo apresenta uma metodologia de seleção de materiais adequada para a construção de uma fuselagem com estrutura treliçada. Esta metodologia foi aplicada a um modelo de aeronave que tem como intuito competir no concurso SAE Brasil Aerodesign. As etapas de seleção foram baseadas em uma metodologia amplamente empregada na literatura, que inclui o atendimento das funções operacionais de componentes, restrições, objetivos e variáveis livres do processo. Esta metodologia conta com uma análise computacional, que permitiu identificar os materiais mais adequados para a construção do modelo de aeronave empregado, adotando um índice de desempenho, com base no tipo de geometria e nas forças que atuam em sua estrutura.

Palavra Chave: Aeromodelo, Fuselagem, análise computacional, índice de desempenho.

ABSTRACT: An aircraft consists of various structural elements which resist dynamic forces during the flight. Particularly, the fuselage plays a crucial structural role, since it attaches important components such as wings and landing gear, which are fundamental elements for takeoff and landing, respectively. In this regard, it is important that these components are constructed with materials capable of resisting varying efforts. This paper presents a selection method of suitable materials for the construction of a fuselage with lattice structure. This method is applied to a model aircraft aimed at competing on the SAE Aerodesign Brazil contest. The steps of selection were based on a methodology widely employed in literature, which includes meeting the operating functions of components, constraints, objectives and free variables of the process. This methodology made it possible to identify the most suitable materials to build the model aircraft, based on the type of geometry and forces acting on its structure.

Keywords: Fuselage, Performance Index, Computational Analysis.

INTRODUÇÃO

Segundo Rodrigues (2014), a fuselagem é um componente estrutural crucial de uma aeronave, uma vez que é responsável por suportar toda a carga e resistir as forças dinâmicas durante o voo. Além disso a fuselagem deve garantir a fixação segura de outros componentes em sua estrutura (como asa, trem de pouso e estabilizadores). A este respeito é de fundamental importância selecionar corretamente os materiais que serão utilizados na construção desses componentes. Isso requer um processo de seleção completo, de preferência auxiliado por simulações computacionais, conveniente ao foco desse trabalho.

Este artigo foi desenvolvido por estudantes de engenharia mecânica da Universidade Federal do Pará, do Campus Universitário de Tucuruí vinculado ao grupo de pesquisa Dumont Aerodesign que desenvolvem trabalhos que fazem alusão aos assuntos que envolvam aeronaves de asas fixas. O objetivo principal do grupo é projetar e construir um protótipo de avião rádio-controlado que possa participar da competição SAE Brasil Aerodesign que ocorre uma vez por

ano no país. Um requisito obrigatório da competição impõe que a aeronave-modelo deva transportar uma carga que exceda seu peso, enquanto a sua estrutura deve resistir a diferentes forças que atuam sobre a fuselagem.

O artigo tem como objetivo descrever uma metodologia de seleção de material adotado para o projeto da fuselagem, que irá participar da competição. Para isso, o conhecimento sobre as características e propriedades mecânicas dos materiais que irão compor a fuselagem é um aspecto chave para um projeto adequado dos componentes do modelo da aeronave. Collins (2014) enfatiza que os objetivos fundamentais do projeto mecânico envolvem uma escolha seletiva dos melhores materiais e a determinação de uma geometria otimizada para cada parte. O presente trabalho descreve a seleção de material para os elementos da fuselagem através do método do mapa de propriedades, apresentado por Ashby (2012). As análises foram realizadas na ferramenta computacional CES Edupack.

De maneira organizacional os principais passos da seleção são: Requisitos de projeto, tradução, triagem, classificação e documentação. Primordialmente, Ashby (2012) descreve as necessidades que os **requisitos de projeto** devem ter, bem como, determinar a estrutura da função, analisar os componentes detalhadamente, otimizar o desempenho e custo, nessa etapa se busca especificar a função do produto que está sendo projetado. A **tradução** reinterpreta os requisitos de projeto em termos de função, restrições, objetivos e variáveis livres. Já a **triagem** enfatiza as restrições que eliminam os materiais que não podem fazer o serviço. Nessa etapa a responsabilidade é deduz os limites de atributos das restrições e aplica-los para isolar um subconjunto de materiais viáveis. A **classificação**, por sua vez, ordena os candidatos viáveis pelo valor de um índice de material, o critério de excelência que maximiza ou minimiza alguma medida de desempenho. A **documentação** pesquisa documentos para os candidatos mais bem classificados, explorando aspectos de seu histórico, sua utilização estabelecida, seu comportamento em ambientes relevantes, sua disponibilidade e outros, até montar um quadro suficientemente detalhado que possibilite uma escolha final. A Fig. 1 demonstra o processo de seleção.



Figura 1. Processo de seleção

METODOLOGIA

Uma das atividades mais importantes na elaboração de um projeto de engenharia é a seleção de materiais. Nessa etapa do projeto, devem ser considerados todos os critérios importantes tais como disponibilidade, custo, propriedades mecânicas e processos de fabricação. Para auxílio da melhor escolha, desenvolveram-se métodos que visam facilitar esse processo, proporcionando segurança, melhor custo e sucesso ao final do projeto. A Fig. 2 representa o componente estudado nesse trabalho.

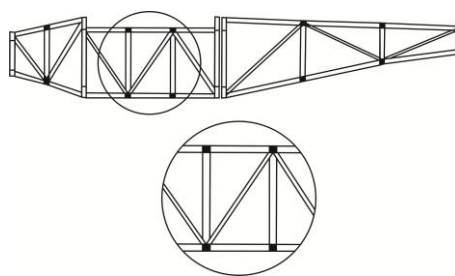


Figura 2. Fuselagem do aeromodelo, estrutura treliçada.

Tradução

Como parte inicial da seleção de materiais os requisitos de projeto foram levantados e são apresentados na Tab. 1.

Tabela 1. Requisitos de projeto para elemento de treliça

Função	Elementos de treliças
Restrições	Comprimento L especificado, seção transversal quadrada. Custo. Propriedades da balsa.
Objetivo	Minimizar a massa.

Variáveis livres	Área da seção transversal e escolha do material.
------------------	--

Em termos estruturais o elemento de treliça é uma barra que está sobre tração ou compressão. Busca-se um material com melhores características mecânicas para que a estrutura em si não se danifique em movimentos bruscos provenientes de manobras inesperadas. É importante também que a fuselagem resista aos esforços de flexão, uma vez que, essas cargas estão combinadas e atuando junto a estrutura do aeromodelo.

Além do mais, a resistência ao impacto é outra importante característica que a estrutura da fuselagem deve possuir. Os danos causados pelas cargas de impacto por possíveis quedas em testes, aterrissagem e voos oficiais devem ser minimizados e, portanto, um o projeto adequado deve prever uma boa resistência ao impacto.

A massa do conjunto é outro fator importante. Deve-se ser levado em conta, uma vez que seu dimensionamento levará em conta um maior consumo de combustível por parte do grupo motor-propulsor e melhor eficiência aerodinâmica.

Triagem

Na concepção de aeromodelos destinados a participar da competição SAE BRASIL AeroDesign - Classe Micro, a balsa é o material mais aplicado na construção desses aviões, portanto, suas propriedades, apresentadas na Tab. 2, serão tomadas como dados de entrada para a seleção do material adequado para a fuselagem, de acordo com a metodologia adotada.

Tabela 2. Propriedades da madeira balsa

Módulo de Young	8,8	GPa
Módulo de Cisalhamento	0,65	GPa
Tenacidade à Fratura	0,7	MPa.m ^{0,5}
Resistência à tração	35	Mpa
Resistência à compressão	26	Mpa
Densidade	300	kg/m ³

Nessa etapa foram impostas as exigências do projeto que caracterizam os limites de atributos para a seleção. Esses limites são as propriedades da balsa, pois, como já mencionado, é um material de referência para a construção de aeromodelos na competição e, portanto, o novo material deve obter propriedades mecânicas superiores a ela e densidade e custo relativamente baixo. As análises de seleção de materiais tiveram como o software CES EduPack e foi realizada no laboratório de metalografia da Engenharia de Metalurgia e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

Classificação

A obtenção dos materiais restantes da triagem foi realizada a partir da classificação destes por meio de índices de desempenho, ou seja, a razão de propriedades que são consideradas de maior importância, com intuito de organizar e indicar os materiais que se aproximam das características de massa e resistência. Nesse processo são estudados os possíveis carregamentos que o elemento poderá sofrer e com isso o desenvolvimento dos índices de materiais que visam o melhor desempenho do componente perante a estes.

Seleção auxiliada por computador

Essa etapa tem como objetivo a determinação dos materiais através do auxílio da ferramenta computacional CES EduPack®. Os cálculos feitos para cada tipo de carregamento estão disponíveis no material suplementar da pesquisa e os resultados encontrados estão resumidos na Tab.3. As propriedades do material Balsa, que foi o material base para esse estudo (ver Tab. 2), foi introduzido como dado de entrada no programa. Só assim foi possível selecionar e encontrar os tipos de materiais mais adequados e que atenderia as exigências de projeto.

Tabela 3. Índices de Méritos para os tipos de carregamento existentes na fuselagem.

Tração	Torção	Flexão	Compressão	Tenacidade a Fratura
$M_{t1} = \frac{\sigma_f}{\rho}$	$M_{G2} = \frac{G^{\frac{1}{2}}}{\rho}$	$M_{F3} = \frac{E^{\frac{1}{2}}}{\rho}$	$M_{C4} = \frac{E^{\frac{1}{2}}}{\rho}$	$M_5 = \frac{k_1}{\rho}$

Os índices de Mérito (ou desempenho) são equivalentes para seção transversal circular. A mudança relaciona-se a restrição funcional e geométrica, e a parcela referente ao material permanece.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da triagem (que aplica restrições na seleção) tem-se uma quantidade de 86 materiais aptos pelos requisitos de projeto dentre 3905 materiais do banco de dados da ferramenta computacional. A Fig. 4, demonstra o efeito da triagem sobre o grupo de materiais. Os materiais em cor cinza são os materiais descartados para a aplicação.

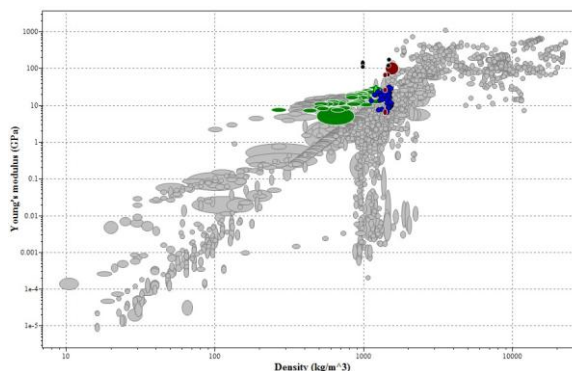


Figura 4. Mapa de propriedade representando o resultado da primeira etapa de seleção pelo processo de triagem.

Conforme pode-se observar na Fig. 4, a classificação se deu sobre os materiais remanescentes por meio da aplicação dos índices de mérito e as retas de isopropriedade sobre os mapas de propriedades. Dessa maneira pôde-se organizar, dentre os restantes, os materiais mais propícios a aplicação.

Após a reorganização das retas de isopropriedade aplicadas para os índices de méritos referentes aos cinco tipos de carregamentos existente, foi possível determinar o grupo de materiais aptos para a construção da fuselagem. É importante frisar que para selecionar o conjunto de elementos foi necessário mover a reta na diagonal para níveis mais altos de resistência e níveis mais baixos de consistência, ou seja, o desejado era adquirir um material com baixa densidade e alta resistência conforme a característica de cada carregamento. Os materiais que apresentaram uma boa resistência a compressão e flexão são mostrados na Fig. 5 (a), não houve uma divisão para essas duas tensões, pois, segundo os cálculos o índice de mérito é igual para ambos. Os que obtiveram uma ótima resistência a tração são listados na Fig. 5 (b) e para torção a Fig. 5 (c), mostra os que resistirão as forças de cisalhamento, e por fim, os materiais que terão boa tenacidade são mostrados na Fig. 5 (d). Reforçando que alguns elementos como a própria balsa e o Kevlar 149 aramid fiber (fibra de aramida), aparecem em mais de um gráfico, pois demonstram ter resistência não só em um tipo de carregamento, mas em outros.

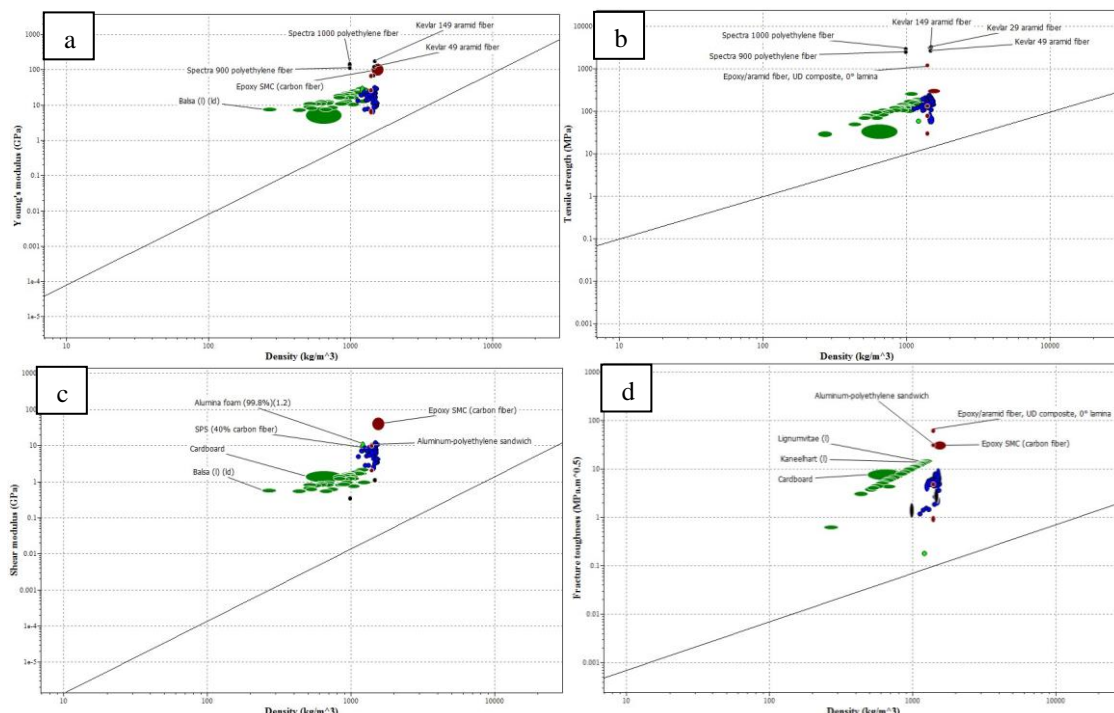


Figura 4. Mapas de propriedades. (a) Módulo de Young x Densidade, (b) Resistência à tração x densidade, (c) Módulo de cisalhamento x densidade, (d) Tenacidade à fratura x densidade

As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam os seis melhores materiais adotando a reta de isopropriedade para cada gráfico como mostra o Gráfico 2 (a, b, c e d).

Tabela 4. Melhores materiais para compressão e flexão.

Material	Índice de desempenho – $M_{F3}=M_{C4}$
Spectra 1000 polyethylene fiber	0,0123
Spectra 900 polyethylene fiber	0,0111
Balsa	0,0105
Kevlar 149 aramid fiber	0,00912
Kevlar 49 aramid fiber	0,00769
Epoxy SMC (carbon fiber)	0,00654

Tabela 5. Melhores materiais para tração.

Material	Índice de desempenho – M_{T1}
Spectra 1000 polyethylene fiber	3,19
Spectra 900 polyethylene fiber	2,63
Kevlar 149 aramid fiber	2,31
Kevlar 29 aramid fiber	2,24
Kevlar 49 aramid fiber	1,9
Epoxy/aramid fiber, UD composite, 0° lamina	0,89

Tabela 6. Melhores materiais para torção.

Material	Índice de desempenho – M_{G2}
Epoxy SMC (carbon fiber)	0,00415
Balsa	0,00286

Alumina foam (99.8%)	0,00251
SPS (40% carbon fiber)	0,00244
Aluminum-polyethylene sandwich	0,00239
Cardboard	0,00185

Tabela 7. Melhores materiais para cargas de impacto.

Material	Índice de desempenho – M_{15}
Epoxy/aramid fiber, UD composite, 0° lamina	0,0451
Aluminum-polyethylene sandwich	0,0234
Epoxy SMC (carbon fiber)	0,0204
Lignumvitae (I)	0,0121
Cardboard	0,0121
Kaneelhart (I)	0,0119

Portanto, como resultado na Tab.8 temos os materiais que melhor se destacaram. A balsa apresentou bons resultados no quesito rigidez e torção. O Epoxy fibra de carbono foi o material com mais aparições entre os primeiros. Entre as fibras de polietileno e aramida foi escolhido o melhor de cada família.

Tabela 8. Materiais selecionados para documentação e suas características relevantes.

Materiais	Densidade (kg/m^3)	Preço (R\$/Kg)
Balsa	300	22,40
Epoxy SMC (carbon fiber)	1700	52,70
Kevlar 149 aramid fiber	1480	457,00
Spectra 1000 polyethylene fiber	975	292,00

A próxima etapa consisti na documentação desses materiais para análise final.

Documentação

Balsa

A balsa é utilizada para fazer aeromodelos e alguns tipos de embarcações, carrocerias de caminhões, etc. Tem disponibilidade, excelente trabalhabilidade, variedade e baixo preço.

Epoxy SMC (carbon fiber)

Esse material é bastante resistente a tração, são aplicáveis no desenvolvimento de equipamentos espaciais, construção de aviões, aeromodelismos, coletes a prova de balas. Tem um alto custo.

Kevlar 149 aramid fiber

A fibra de aramida Kevlar 149 é comumente utilizada na produção de capacetes balísticos, coletes a prova de bala, correias transportadoras, mangueiras automotivas e na indústria aeroespacial. É aplicada como fibras de reforço para compósitos de alta performance. Tem disponibilidade, porém, pouca variedade. Alto preço.

Spectra 1000 polyethylene fiber

A fibra de polietileno é regularmente utilizada na produção de coletes balísticos, capacetes e veículos blindados, lonas, linhas e redes de pesca, devido a tenacidade dessa fibra é usada também em vestuários de segurança, etc. Tem boa disponibilidade, porem o custo é elevado.



CONCLUSÃO

De acordo com os trabalhos desenvolvidos neste artigo existem quatro materiais apropriados para a construção do aeromodelo. O material escolhido foi o que apresentou as melhores características de massa e resistência e custo, se comparado aos outros, entretanto, não significa que os materiais que não foram escolhidos serão descartados, ficarão na lista dos possíveis materiais que poderão ser usados em eventuais projetos que sigam a mesma linha de trabalho. Vale destacar, que o Klevlar 149 aramid fiber e o Spectra 1000 polyethylene fiber fazem parte do grupo das fibras e para serem considerado materiais aptos na construção de uma fuselagem rígida e resistente teriam que ser adicionados a algum tipo de resina e, por conseguinte, formar um material compósito capaz de suprir todas as necessidades propostas no projeto, o que implicaria em um aumento de peso e custo, algo um tanto indesejado. O Epox SMC (carbono fiber), por sua vez, é um material compósito, onde em sua composição existe a fibra de carbono, tem um custo acessível, contudo, dentre todos é o mais denso. Já a Balsa é um elemento natural com boa disponibilidade, tem um bom custo e baixa densidade.

Levando em conta tudo o que foi observado na documentação de cada elemento selecionado, pode-se concluir que o melhor material para construção da fuselagem do aeromodelo será a Balsa, esse elemento segundo os critérios de seleção é o mais adequado, visto que, ele tem uma excelente resistência a flexão e torção. Embora não seja destacado nos outros tipos de carregamentos, possui níveis de resistência consideravelmente bons para tração e compressão. Como se sabe, o modelo estrutural da treliça está disposto em uma sequência de triângulos, que tem como intuito distribuir as forças que neles são aplicados, sendo assim, mediante a um impacto, por exemplo, a forma estrutural aumentaria a tenacidade do material. A Balsa, dentre os demais materiais, é a que possui a menor densidade e preço, dois dos quesitos que eram objetivados no trabalho.

Por fim, o trabalho seguiu um método eficaz para chegar até um material que preenchesse todos os requisitos do projeto, as análises apenas reforçaram a verdade sobre as boas qualidades da balsa. Os resultados encontrados no desenvolvimento deste trabalho contribuirão de forma significativa para a equipe Dumont Aerodsign, acrescentando a ele, um nível de maior confiança e credibilidade na escolha do material adequado para a construção do protótipo aéreo.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a grande colaboração do laboratório de metalografia da Engenharia de Metalurgia e de Materiais da Escola Politécnica da USP, em especial ao Mrs. Paulo Machado, por ter nos auxiliado e permitido fazer as análises no software Ces Edupack.

REFERÊNCIAS

- Ashby, M. F., 2012, Seleção de materiais no projeto mecânico, Ed. Elsevier, Rio de Janeiro, Brasil, 663 p.
Collins, J. A., 2014, Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção de falha, Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil, 740 p.
Hibbeler, R. C., 2010, Resistência dos materiais, Ed. Pearson Prentice Hall, São Paulo, Brasil, 637 p.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.