

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DO TREM DE POUSO DE UMA AERONAVE RÁDIO CONTROLADA

ALISON KAIO DANTAS PEREIRA^{1*}, EDUARDO MAURÍCIO GADELHA²; PAULA APARECIDA DE MOURA OLIVEIRA³; FRANCISCO HENRIQUE NEO⁴; RAMSÉS OTTO CUNHA LIMA⁵

¹Graduando em Engenharia Civil, UFERSA, Mossoró-RN, alison_kaio@hotmail.com

²Graduando em Engenharia Civil, UFERSA, Mossoró-RN, dudu_tab@hotmail.com

³Graduanda em Engenharia Civil, UFERSA, Caraúbas-RN, paulinha_ufersa@hotmail.com

⁴Graduando em Engenharia Civil, UFERSA, Mossoró-RN, henriqueneo2010@hotmail.com

⁵Dr. em Engenharia mecânica, Prof. Titular DCAT, UFERSA, Mossoró-RN, ramses.cunhalima@ufersa.edu.br

RESUMO: O evento SAE AeroDesign acontece em São José dos Campos desde 1999, e tem como finalidade promover interação e intercâmbio de conhecimentos entre estudantes de diversas áreas da engenharia. As equipes devem projetar aeronaves radio controladas, não tripuláveis, que apresentem a maior eficiência estrutural possível. Desta maneira, o presente artigo tem como finalidade a análise e dimensionamento estrutural do trem de pouso utilizado pela equipe PegAzuls AeroDesign no ano 2015. No decorrer do estudo, a partir da determinação das propriedades mecânicas dos materiais ensaiados, foi observado que a fibra de carbono bidirecional laminada com resina epóxi apresentou a melhor relação entre a resistência e densidade, optando assim por este material para compor o trem de pouso. Este foi projetado de forma a resistir aos esforços referentes à descida vertical da aeronave em contato com o solo e a operação de rolagem na pista de pouso.

PALAVRAS-CHAVE: Análise estrutural, dimensionamento estrutural, trem de pouso.

ANALYSIS AND STRUCTURAL DESIGN OF A RADIO CONTROLLED AIRCRAFT'S LANDING GEAR

ABSTRACT: The SAE AeroDesign event happens in São José dos Campos since 1999, the main objective is promote interaction and exchange of knowledge between students from different areas of engineering. The teams must design radio controlled aircraft, not manned, which have the greatest possible structural efficiency. Thus, this article aims to analysis and structural design of landing gear used by the team PegAzuls AeroDesign in 2015. During the study, from the determination of mechanical properties of materials tested, it was observed that the carbon fiber bidirectional laminated with epoxy resin showed the best relationship between strength and density, so it was choosed this material to make up the landing gear, which was designed to withstand the efforts regarding the vertical descent of the aircraft in contact with the ground and the scroll operation on the runway.

KEYWORDS: Structural analysis, structural design, landing gear.

INTRODUÇÃO

Um avião é definido como uma aeronave de asa fixa mais pesada que o ar, movida por propulsão mecânica, que é mantido em condição de voo devido à reação dinâmica do ar que escoia através de suas asas. São projetados para uma grande variedade de propostas, porém todos possuem os mesmos componentes principais, dentre eles está o trem de pouso (RODRIGUES, 2010).

Os objetivos do trem de pouso são dissipar a energia proveniente da descida vertical da aeronave em contato com o solo, suportar o peso estático da mesma e ainda ser projetado para resistir à operação de rolagem da aeronave na pista de pouso (NIU, 1995).

Para as aeronaves rádio controladas, como é o caso das utilizadas na competição SAE Brasil (Sociedade de Engenheiros de Mobilidade), todos os requisitos citados anteriormente devem ser atendidos, ou seja, tanto aeronaves de grande como de pequeno porte tem a mesma base.

A competição é dividida em três categorias de aeronaves: Micro, Regular e Advanced. A equipe PegAzuls AeroDesign, da Universidade Federal Rural do Semiárido, está inserida na classe regular.

Um das avaliações da competição consiste na análise de projetos, nos quais os subsistemas são avaliados, sendo eles: Aerodinâmica, Estabilidade e Controle, Desempenho, Elétrica, Cargas e Estruturas. A segunda parte da avaliação consiste nas provas de voo, nas quais, a eficiência estrutural garante que a aeronave complete o percurso de voo transportando a maior quantidade de carga útil possível.

O objetivo deste trabalho teve como finalidade a análise e o dimensionamento estrutural do trem de pouso da equipe PegAzuls AeroDesign usado na competição SAE Brasil AeroDesign 2015.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo em questão, Este trabalho foi dividido em etapas, de acordo com o fluxograma mostrado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma do método de pesquisa.



No planejamento apresentado, foi definida a geometria utilizada, determinados os esforços internos e dimensionado o trem de pouso tipo convencional da equipe PegAzuls AeroDesign 2015.

2.1. Determinação das propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas dos materiais foram obtidas através de ensaios mecânicos regidos por normas, sendo eles: Flexão, tração, compressão e cisalhamento. A escolha dos materiais para os ensaios teve como critérios a disponibilidade, menor densidade e aparentemente maior eficiência estrutural, sendo estes o Alumínio comercial, Fibra de carbono unidirecional laminada, Fibra de carbono bidirecional laminada, Honeycomb de fibra de kevlar e Honeycomb de fibra de carbono.

Observou-se que a fibra de carbono bidirecional laminada com resina epóxi apresentou a melhor relação entre a resistência e densidade, optando assim por este material para compor o trem de pouso. As propriedades da mesma são expostas na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas da fibra de carbono bidirecional laminadas com resina epóxi.

Fibra de carbono bidirecional laminada com resina epóxi (seção transversal)			
Densidade (g/cm ³)	1,50	Resistência ao cisalhamento (MPa)	16,01
Resistência à compressão (MPa)	198,06	Elasticidade (E) (GPa)	7,00
Resistência à tração (MPa)	326,60		

2.2. Definição da geometria do trem de pouso

A geometria inicial do trem de pouso principal foi escolhida tomando como base dois fatores principais, explanados na Figura 2. Onde o “a” significa uma largura relevante para evitar que a ponta da asa toque ao solo numa possível aterragem desnivelada e o “b” uma distância para que a hélice não toque ao solo. Escolheu-se a geometria inicial em duas dimensões apresentada na Figura 3.

Figura 2: Fatores que influenciam nas dimensões do trem de pouso.

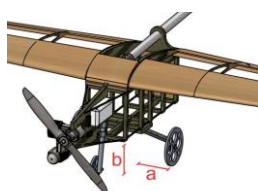
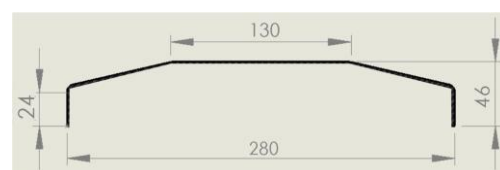


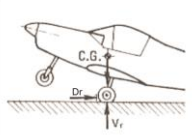
Figura 3: Geometria em duas dimensões do trem de pouso (dimensões em milímetros).



2.3. Definição das carga

Para a determinação das cargas aplicadas ao trem de pouso, desenvolveu-se os cálculos com base na Federal Aviation Regulations (FAR) – Part 23, considerando a condição crítica de aterragem, que segundo Niu (1995), é o pouso em uma roda. Desta forma, as cargas para o pouso em uma roda com relação ao projeto PegAzuls AeroDesign são apresentadas na Figura 4.

Figura 4: Análise das cargas no trem de pouso principal com aterragem em uma roda.

	$V_r = (n - L) \cdot W$	$V_r = (2,667 - ,667) \cdot 156,96$	$V_r = 313,92 \text{ N}$
	$D_r = k \cdot n \cdot w$	$D_r = ,25 \cdot 2,667 \cdot 156,96$	$D_r = 104,65 \text{ N}$

2.4. Análise estrutural

A análise estrutural do trem de pouso teve como ponto de partida o conhecimento das cargas aplicadas (Figura 4) e a geometria em duas dimensões do mesmo (Figura 3). Posteriormente foram definidas as condições de contorno, como representadas na Figuras 5. Na Figura 6 percebe-se exatamente onde se encontram as fixações parafusadas do trem de pouso na fuselagem, sendo eles dois engastes.

Figura 5: Detalhes da fixação.

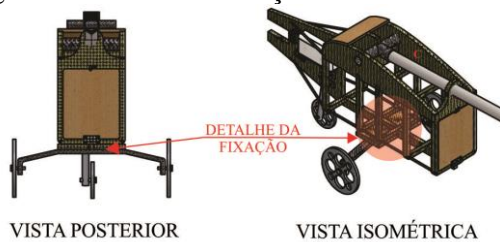
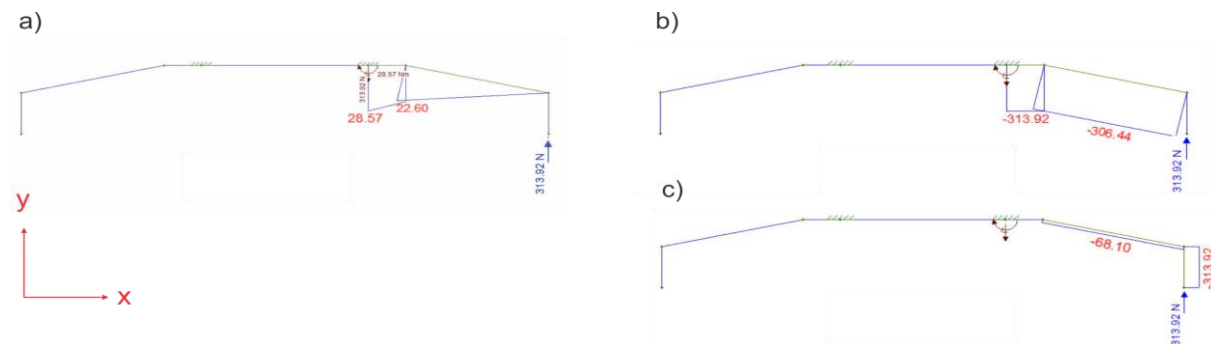


Figura 6: Detalhes da fixação.



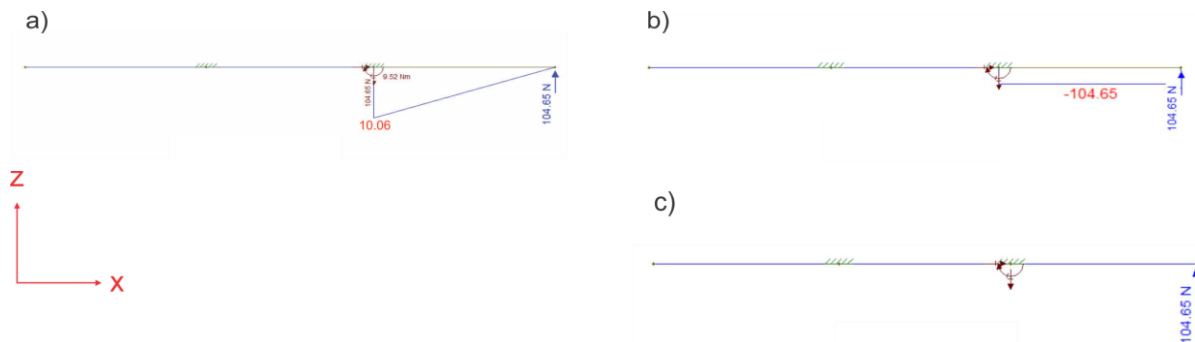
Analisou-se os esforços internos aplicados à peça analiticamente e através do Software Ftool®, como este só trabalha com pórticos planos, definiram-se eixos para representar os diagramas de esforços na qual a peça está submetida. Os esforços referentes a torção foram determinados analiticamente. Na Figura 7 estão representados os esforços no plano “XY”, onde “a” representa o diagrama de momento fletor, “b” o diagrama de esforço cortante e “c” o diagrama de força normal.

Figura 7: a) Diagrama de momento fletor, b) Diagrama de esforço cortante e c) Diagrama de força normal



Na Figura 8 estão representados os esforços no plano “XZ”, onde “a” representa o diagrama de momento fletor, “b” o diagrama de esforço cortante e “c” o diagrama de força normal.

Figura 8: a) Diagrama de momento fletor, b) Diagrama de esforço cortante e c) Diagrama de força normal.



2.5. Dimensionamento estrutural

Para facilitar o entendimento do dimensionamento estrutural, foi criado um esboço do trem de pouso, dividindo-o em barras e seções, como mostrado na Figura 9. Na Tabela 2 estão expostos os esforços internos atuantes na estrutura devido as cargas aplicadas.

Figura 9: Esboço do trem de pouso.

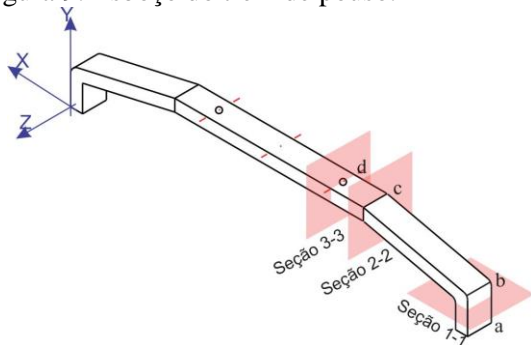


Tabela 2: Esforços internos aplicados ao trem de pouso.

Plano	Seção	Esforços				
		Flexão (N.m)	Normal (N)		Cisalhamento (N)	Torção (N.m)
			Tração	Compressão		
XY	1-1	0,00	0,00	313,92	0,00	0,00
	2-2	22,60	0,00	68,10	306,44	0,00
	3-3	28,57	0,00	0,00	313,92	0,00
XZ	1-1	2,70	0,00	0,00	104,65	0,00
	2-2	8,45	0,00	0,00	104,65	2,45
	3-3	10,06	0,00	0,00	104,65	2,39

Como esperado, percebeu-se que a seção que sofre maiores esforços é a 3-3. Por facilidade construtiva, decidiu-se manter a seção constante ao longo de todo o trem de pouso, desta forma, o dimensionamento foi realizado com base na seção 3-3.

Para determinar as dimensões do trem de pouso, tomou-se como critério inicial a largura “a”, representada na Figura 10, variando de 0,0 a 8,0 mm devido a facilidades construtivas e menor dimensão de “b” possível, com a finalidade de diminuir a quantidade de massa do mesmo, para tanto, criou-se um roteiro de cálculo relacionando as equações de flexão, cisalhamento puro, cisalhamento por torção e esforço normal. Respeitando as propriedades do material, as dimensões das seções foram determinadas, conforme a Figura 11.

Figura 10: Esboço das seções(mm).

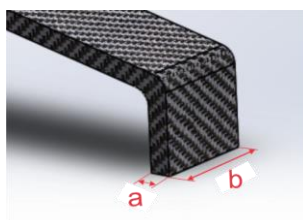
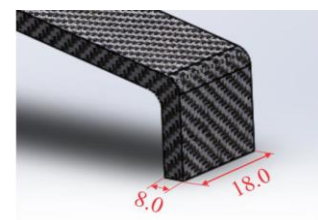


Figura 11: Dimensões do trem de pouso (mm).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o estudo realizado, definiu-se as dimensões do trem de pouso de acordo com a Figura 3 e a Figura 11, em seguida calculou-se as tensões aplicadas em todas as seções do mesmo, conforme representado na Tabela 3.

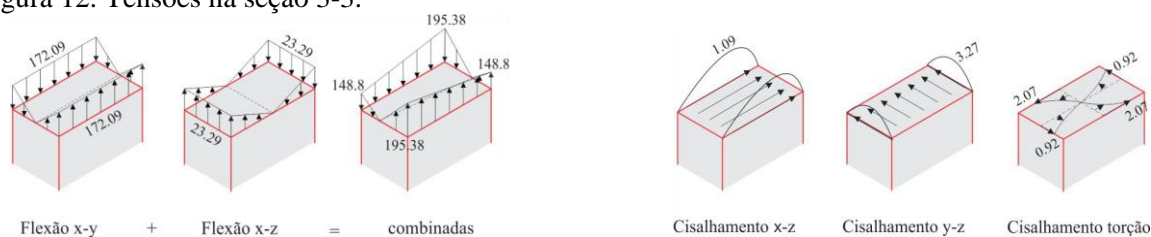
Tabela 3: Tensões aplicados ao trem de pouso.

Seção	Tensões aplicadas					
	Normal (MPa)				Cisalhamento (MPa)	FS
	Tração	FS	Compressão	FS		
1-1	4,12	118,9	8,48	35,00	2,18	11,00
2-2	136,79	3,60	137,73	2,15	4,13	5,80
3-3	195,38	2,50	195,38	1,52	4,09	5,80

FS = Fator de Segurança

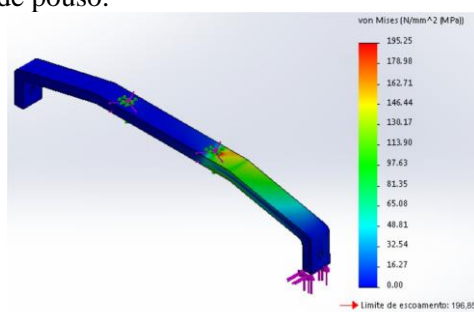
Percebe-se que as maiores tensões aplicadas à estrutura estão concentradas na seção 3-3, onde o fator de segurança para a mesma chega próximo ao valor mínimo previsto (1,5). Na Figura 12 estão representadas as distribuições das tensões (MPa) atuantes na seção 3-3 (referenciada na Figura 11).

Figura 12: Tensões na seção 3-3.



Com a finalidade de verificar as tensões solicitadas ao trem de pouso, utilizou-se o software SolidWorks® como ferramenta de simulação de elementos finitos. O modelo foi criado com as dimensões estimadas nas seções 2.2 e 2.5, aplicou-se as cargas definidas na seção 2.3, as condições de contorno foram definidas na seção 2.4. Na Figura 13 é representado o resultado da simulação.

Figura 13: Simulação do trem de pouso.



As tensões resultantes da simulação foram análogas às calculadas, a concentração de tensões apresentou-se como o esperado, próximo ao engaste, e os respectivos fatores de segurança também como esperado, acima de 1,5.

CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos, foi possível observar que a fibra de carbono bidirecional laminada com resina epóxi mostrou-se um material bastante satisfatório devido a sua alta eficiência estrutural, ou seja, melhor resistência por densidade.

Em relação às tensões aplicadas à estrutura, foi verificado que todos os fatores de segurança estão iguais ou acima de 1,5, o que é recomendado por norma, desta forma, validando o dimensionamento e obtendo resultados significativos quanto à resistência estrutural do trem de pouso.

REFERÊNCIAS

- FAA. Federal Aviation Regulations, Part 23, Airworthiness Standarts: Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanesjar. USA, 1958.
- NIU, M.C.Y. Airframe Structural Design. Technical Book Company, 1995.
- RODRIGUES, L. E. M. J. Fundamentos da Engenharia Aeronáutica: Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign. 1.ed. rev.-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo: Edição do Autor, 2010.