



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
22 a 26 de Outubro de 2012



UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA NA DEFINIÇÃO DO PERFIL PARA TREM DE POUSO POLIMÉRICO

Leonardo José Lottermann (FAHOR) II001211@fahor.com.br

Djone Rafael Viana (FAHOR) dv001140@fahor.com.br

Gustavo Albring Guth (FAHOR) gg001154@fahor.com.br

Vilmar Bueno Silva (FAHOR) silvavilmarb@fahor.com.br

Anderson Dal Molin anderson@fahor.com.br

Resumo

O trem de pouso é um dos principais sistemas de uma aeronave nos momentos de interação do avião com o solo, sendo assim, seu estudo mostra-se de fundamental importância no desenvolvimento de uma aeronave rádio-controlada. O proposto artigo busca a aplicação da simulação via software pra análise de diferentes perfis de trem de pouso polimérico para aeronave da Equipe Águia FAHOR, a partir da revisão de literatura acerca do polímero UHMW, onde obteve-se valores dos parâmetros necessários para efetuar tais análises. A partir disso, foram estudados os perfis que melhor se adequam a aplicação, os quais foram submetidos a testes no software SolidWorks® Simulation 2012, onde foram reproduzidas as reais condições de utilização. Obteve-se o melhor resultado na utilização do perfil U, que com a otimização da aplicação de nervuras, se mostrou mais eficiente se comparado aos demais perfis analisados.

Palavras-chave: Trem de pouso, Polímeros, Simulação.

1. Introdução

A análise estrutural representa uma etapa fundamental de projeto de uma aeronave, pois esta garante que os componentes desta aeronave irão suportar as cargas aplicadas sobre a mesma, tanto em voo, quanto em manobras de solo, decolagem e aterrissagem, bem como a segurança destas operações. O trem de pouso de uma aeronave possui grande importância quanto a estes quesitos, sendo que o mesmo, segundo Miranda (2009), tem a função principal apoiar o avião no solo e manobrá-lo durante os processos de taxiamento, decolagem e pouso, dissipando as energias de impacto atuantes.

Tendo em vista que a eficiência estrutural da aeronave projetada contribui decisivamente no desempenho da mesma e que a relação de peso da aeronave, bem como seus componentes estão diretamente relacionados a questão. O presente projeto tem como objetivo o estudo de perfis de trem de pouso que melhor se adequam a aplicação, bem como submetê-los a testes no software SolidWorks® Simulation 2012, onde serão reproduzidas as reais condições de utilização verificada a sua eficiência estrutural.



2ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR

Horizontina - RS - Brasil
22 a 26 de Outubro de 2012



2. Materiais e Métodos

O estudo e a análise dos diferentes perfis a serem utilizados no trem de pouso polimérico partiram de alguns princípios que foram delineados pela equipe, de maneira que os principais requisitos a serem avaliados, quando em um projeto ou simulação, puderam ser identificados e quantificados.

Desta forma, iniciou-se o estudo com a escolha e caracterização do material a ser aplicado à peça. Sua definição e correta caracterização são de fundamental importância na geração de resultados confiáveis durante a análise, principalmente se esta acontecer apenas virtualmente.

O próximo aspecto levado em consideração foi a geometria do trem de pouso. Em nosso caso foram testados perfis comerciais, que apresentaram simplicidade de projeto e construção. Quanto ao comprimento do trem de pouso, este foi fixado em 350 mm valor que demonstrou, nas competições anteriores, boas condições de pouso e decolagem.

Outro aspecto importante é a definição das forças atuantes no trem de pouso, assim como a sua intensidade e local de aplicação. Os cálculos, apresentados anteriormente, foram embasados na literatura pertinente. Já em relação às simulações, estas serão efetuadas utilizando o aplicativo Simulator, integrante do Software Solid Works 2012.

2.1. Descrição e definição dos materiais

A busca por um material polimérico para a substituição do alumínio (utilizado nos anos anteriores) foi incentivada através dos conhecimentos obtidos na disciplina de Polímeros e Compósitos, disciplina integrante da matriz curricular do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina. A partir disso, o UHMW foi uma opção natural, pois é de fácil acesso a equipe, pelo fato de possuir um fabricante patrocinador. Esse fator aliado às elevadas propriedades mecânicas e a baixa densidade do material, torna-o uma solução satisfatória.

O UHMW, segundo WTA PLASTIC (2012) é um polietileno de Ultra Alto Peso Molecular, possuindo características técnicas elevadas como alta resistência ao desgaste por abrasão, excelente resistência ao impacto, resistência à quebra por pressão e baixo coeficiente de atrito, o que prolonga a vida útil das peças. Segundo o mesmo autor, outra característica apresentada pelo material é a facilidade de usinagem o que possibilita a fabricação de diferentes perfis e formas.

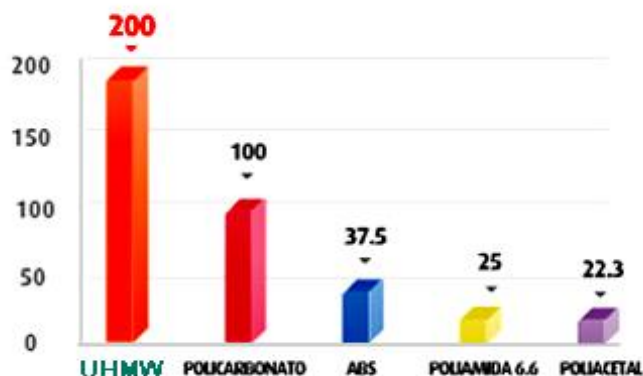


Gráfico 1 – Comparativo de resistência ao impacto. Fonte: CORMATEC (2012)

De encontro a isso CORMATEC (2012), ressalta que, se comparado a outros polímeros de elevadas propriedades mecânicas, o UHMW leva vantagem em relação à resistência ao impacto, mesmo que em baixas temperaturas. Este fator é evidenciado pelo Gráfico 1.

Dando seguimento a análise do material, fizeram-se algumas relações importantes entre as características mecânicas e sua aplicação no projeto de um trem de pouso para uma aeronave rádio-controlada. Em primeiro lugar, os coeficientes de resistência à tração e compressão do UHMW são muito semelhantes aos do aço, tendo, porém densidade inferior a grande maioria dos metais existentes, até mesmo do Alumínio, utilizado no trem de pouso das aeronaves anteriores.

Em segundo lugar, porém não menos importante, foi considerado os indicadores de elasticidade e resistência à fadiga, superiores aos dos metais, o que possibilita um melhor dimensionamento do eixo do trem de pouso, já que no presente projeto optou-se por um eixo com um maior grau de flexibilidade se comparado ao utilizado anteriormente. Esta maior flexibilidade visa o amortecimento do impacto da aeronave com o solo no momento do pouso, e é possível graças ao elevado coeficiente de elasticidade do material, conforme referência anterior.

2.2. Definição da geometria

Uma vez definido o material a ser utilizado, foi preciso definir a geometria do eixo do trem de pouso. Em primeiro lugar, é necessária a definição da configuração do trem de pouso. Desde sua primeira aeronave, a Equipe Águia FAHOR vem empregando a configuração triciclo fixo que, segundo Barros (2000), apresenta como vantagem grande facilidade de pouso, sendo esta a configuração escolhida para o projeto 2012.

A Geometria do eixo do trem de pouso foi selecionada após a análise de quatro possíveis perfis, que foram projetados e analisados no software CAD SolidWorks 2012. Os perfis analisados foram os seguintes: Perfil “L”, Perfil “T”, Perfil “U” e um perfil “U” Nervurado, conforme demonstra a Figura 1.

Estes perfis foram sugeridos pela equipe levando em consideração a sua simplicidade e facilidade de fabricação. As dimensões da secção de cada perfil foram sendo alteradas após cada análise numérica, sendo que após algumas tentativas cada perfil demonstrava seu ponto ótimo, fixado em torno de 3mm de

deslocamento por flambagem, e nenhum ponto de ameaça de ruptura. O critério de desempate entre os perfis foi, portanto, a massa final da peça, onde a peça de menor massa foi selecionada.

O perfil, no sentido horizontal será retilíneo, buscado assim a menor altura entre a aeronave e o solo, fator este que proporciona ganhos aerodinâmicos. O comprimento do eixo foi reduzido em 50 mm se comparado ao eixo do projeto anterior, proporcionando redução de peso, sem prejudicar, no entanto, o desempenho de pouso e decolagem da aeronave.

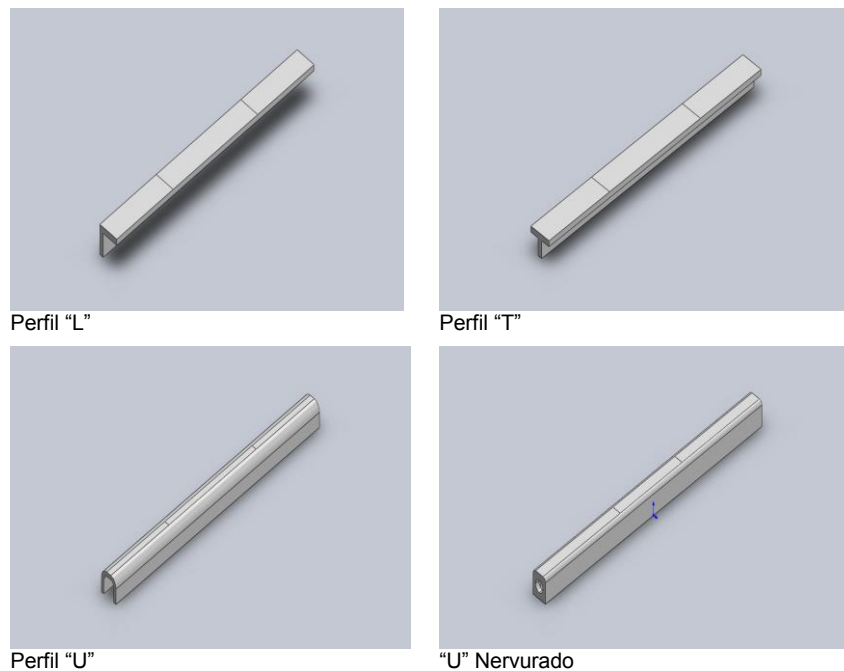


Figura 1 – Geometrias de eixo. Fonte: O Autor.

3. Análise dos resultados

3.1. Avaliação numérica do trem de pouso

As análises numéricas do desempenho mecânico de cada um dos quatro modelos de trem de pouso foram realizadas no aplicativo SolidWorks Simulation, integrante do Software SolidWorks Premium 2012.

Sua escolha foi natural, já que todos os projetos 3D foram realizados no mesmo software, e sua eficiência é comprovada pelo grande número de usuários em todo o mundo, incluindo muitas empresas e projetistas. O SolidWorks realiza os estudos através do Método de Elementos Finitos, que segundo Miranda (2009), tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria qualquer sujeito a forças externas.

Quanto à aplicação do método, esta exige a adição de alguns parâmetros, conforme serão citados a seguir.

3.1.1. Seleção do Material

O primeiro parâmetro é a seleção do material a ser aplicado. Como o UHMW não se encontrava cadastrado na biblioteca, foi necessária sua inclusão de forma manual. Os dados aplicados são demonstrados na Tabela 1.

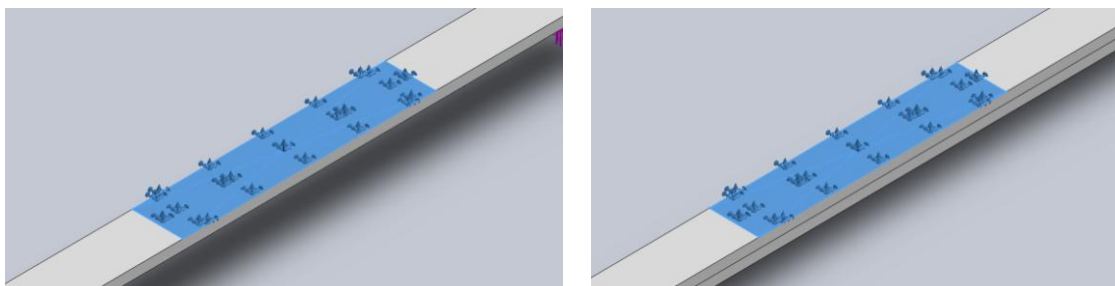
CHAPAS DE UHMW ANTI-ESTÁTICO (PRETO)			
PROPRIEDADES FÍSICAS			
MECÂNICAS:			
PROPRIEDADES	ASTM	Unidade	Valores
Densidade	D-792	g/cm ³	>0,93
Resistência Tração	D-638	Kgf/cm ²	
Resistência /Ruptura	D-638	Kgf/cm ²	350
Resistência Escoamento	D-638	Kgf/cm ²	250
Alongamento na Ruptura	D-638	%	300
Deformação por compressão	-	20 ^o C/60Kgf/cm ² /24h	
Deformação sob carga		% espessura	5.1
Deformação retirada á carga			1.8
Resistência ao impacto IZOD	D-256-A	J/m	Não quebra
Resistência abrasão	D-1044	mg/1000 ciclos	23
Desgaste p/ abrasão em lama de areia	D-1044	Aço 1020=100	25
Dureza	D-2240	Shores D	63
Coeficiente de atrito(Aço polido)23 ^o C			
	Estáticos	D-1894	0,16
	Dinâmico	D-1894	0,08

Tabela 1 – Propriedades mecânicas do UHMW. Fonte: POLISTAR BRASIL (2012)

3.1.2. Elementos de Fixação

O segundo parâmetro a ser adicionado é a posição do elemento de fixação da peça, que no caso do trem de pouso é a área de contato deste com a fuselagem da aeronave. Os quatro perfis foram fixados de maneira muito semelhante, sendo que a área de fixação foi definida por um retângulo, de 150 mm (Largura da Fuselagem) X (Largura do Perfil), localizado no centro do comprimento do eixo, conforme apresentado na Figura 2.

Imagem dos acessórios de fixação



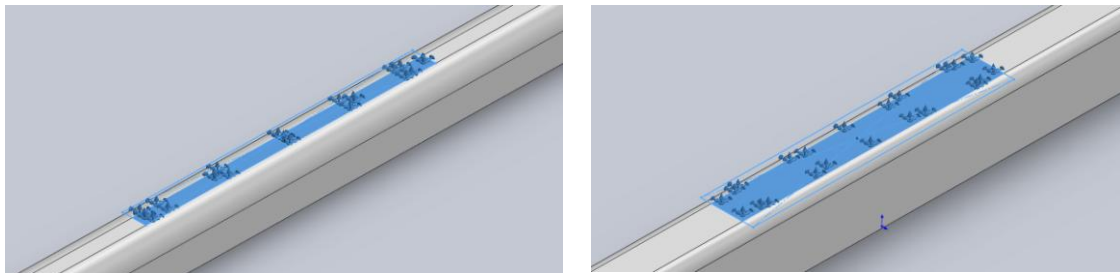


Figura 2 – Fixação dos perfis “L”, “T”, “U” e “U Nervurado”. Fonte: O Autor.

A fixação do trem de pouso na aeronave será realizada com a adição de parafusos localizados em locais específicos a serem definidos, pois dependem do projeto da fuselagem e do posicionamento do compartimento de carga.

3.1.3. Localização e Intensidade das Cargas Aplicadas

A determinação das cargas atuantes e sua correta aplicação nos modelos simulados são os fatores responsáveis pelo sucesso do projeto de um trem de pouso, tanto para uma aeronave tripulada, como para um AeroDesign. Para Miranda (2009), devem ser consideradas três situações distintas de pouso: o pouso realizado em três rodas, considerando 15% da carga atuante no trem do nariz; o pouso em duas rodas (trem principal); e o pouso em uma das rodas do trem principal. Para o cálculo da força atuante pode-se adotar, no AeroDesign, o Fator de Carga Vertical de 2,5 e o Fator de Carga Horizontal equivalente a 40% do vertical. De acordo com isso, foi formulado o Quadro 1.

Peso da Aeronave	4 kg		Força Atuante no Trem de pouso			
Peso da Carga Paga Máxima	8 Kg		$F = (12) \times FC \times g$			
Peso Total da Aeronave	12 Kg		$F = (12) \times 2,5 \times 10 = 300 \text{ N}$			
Situação	Esquerda		Direita		Trem do Nariz	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
Três Rodas	127,5 N	51 N	127,5 N	51 N	45 N	18 N
Duas Rodas	150 N	60 N	150 N	60 N		
Uma roda	300 N					

Quadro 1 – Forças atuantes no trem de pouso. Fonte: O autor.

Para critério de comparação entre os perfis estudados, utilizou-se a segunda situação de pouso, resultando em uma carga padrão de 300 N, ou seja, como a situação contempla o pouso com as duas rodas do trem principal, 150 N por roda.

Imagem da Aplicação das Forças (Cargas)

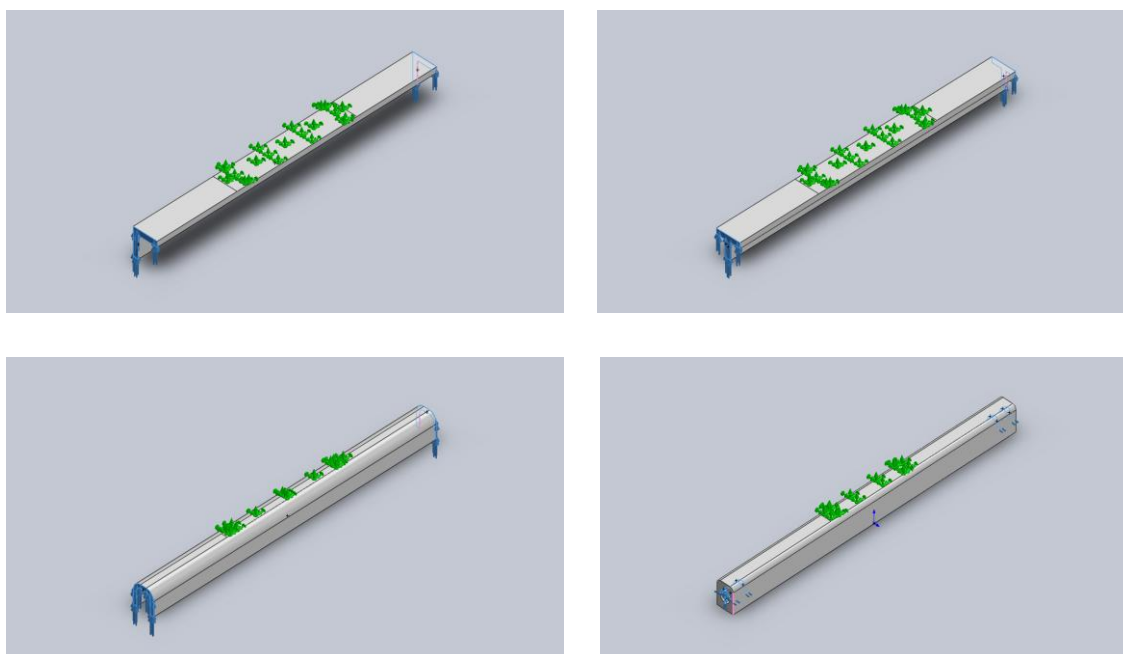


Figura 3 – Aplicação de forças nos perfis “L”, “T”, “U” e “U Nervurado”. Fonte: o Autor.

3.1.4. Aplicação da Malha de Estudo

A malha “Média” foi adotada como padrão em todos os estudos, apresentando elementos com 4.84175 mm e tolerância dimensional de 0.242088 mm. Esta malha proporciona a melhor relação entre precisão de análise e velocidade de processamento, proporcionando agilidade ao processo de análise e seleção.

3.2. Resultados da análise de elementos finitos

Após a execução do passo a passo anteriormente caracterizado, foram realizados os estudos de cada perfil estudado, lembrando que suas dimensões foram sendo alteradas de maneira com que cumprissem o pré-requisito de não exceder os 3 mm de deslocamento durante o pouso, parâmetro este que foi fixado pela equipe por motivos já apresentados anteriormente.

Para fins de comparação, porém, serão expostos somente os estudos dos

modelos que atingiram os parâmetros exigidos, proporcionando uma comparação justa entre os quatro perfis avaliados.

O primeiro resultado fornece a Tensão de Von Mises máxima atingida pelo perfil, comparando-a com a Tensão Máxima do Material, no caso o Polímero UHMW. Os resultados podem ser visualizados nas Figuras 4, 5, 6 e 7.

Conforme demonstram os relatórios apresentados nas Figuras, três dos quatro perfis analisados apresentaram índices apropriados de Tensão, ficando muito abaixo da Tensão de Von Mises do material, que é responsável por seu cisalhamento, comprovando que, do ponto de vista da resistência ao esforço, estes estariam aptos à utilização na aeronave.

Já o Perfil “U” apresenta alta concentração de Tensão em alguns pontos, o que sugere a necessidade de melhorias em seu projeto. Foi exatamente por este motivo que se criou o perfil “U” Nervurado, que demonstrou-se uma ótima opção de projeto devido ao comportamento apresentado nas simulações.

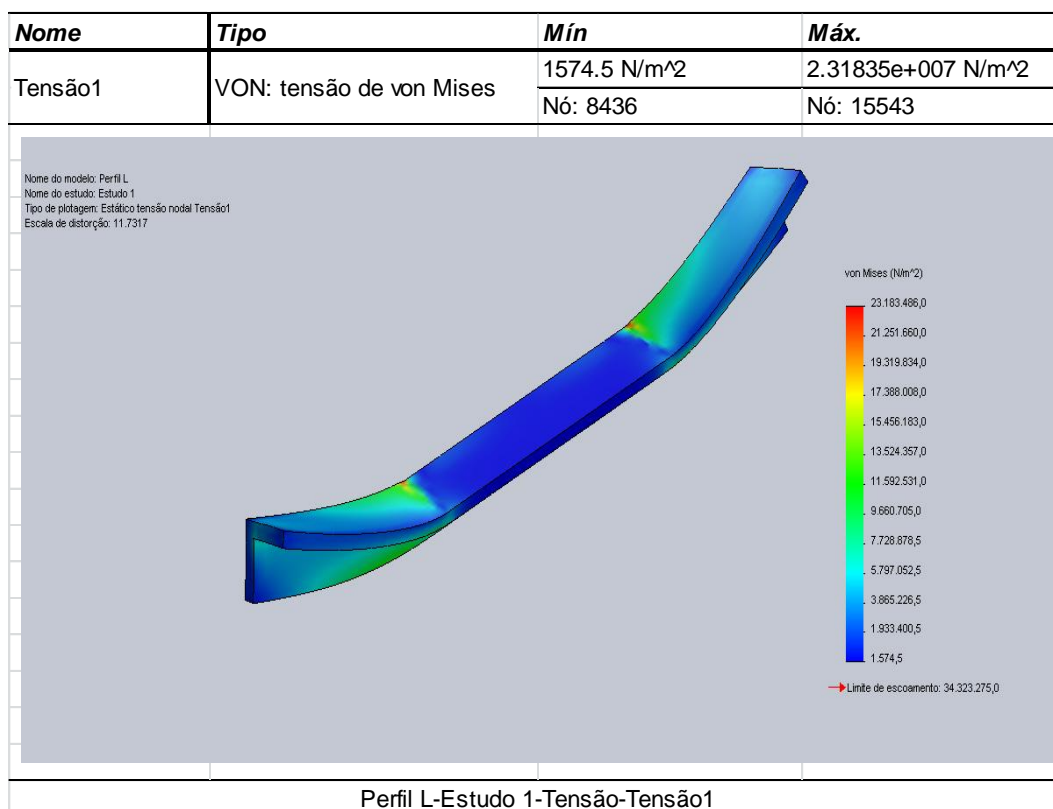


Figura 4 – Análise de Elementos Finitos – Perfil “L”. Fonte: o Autor.

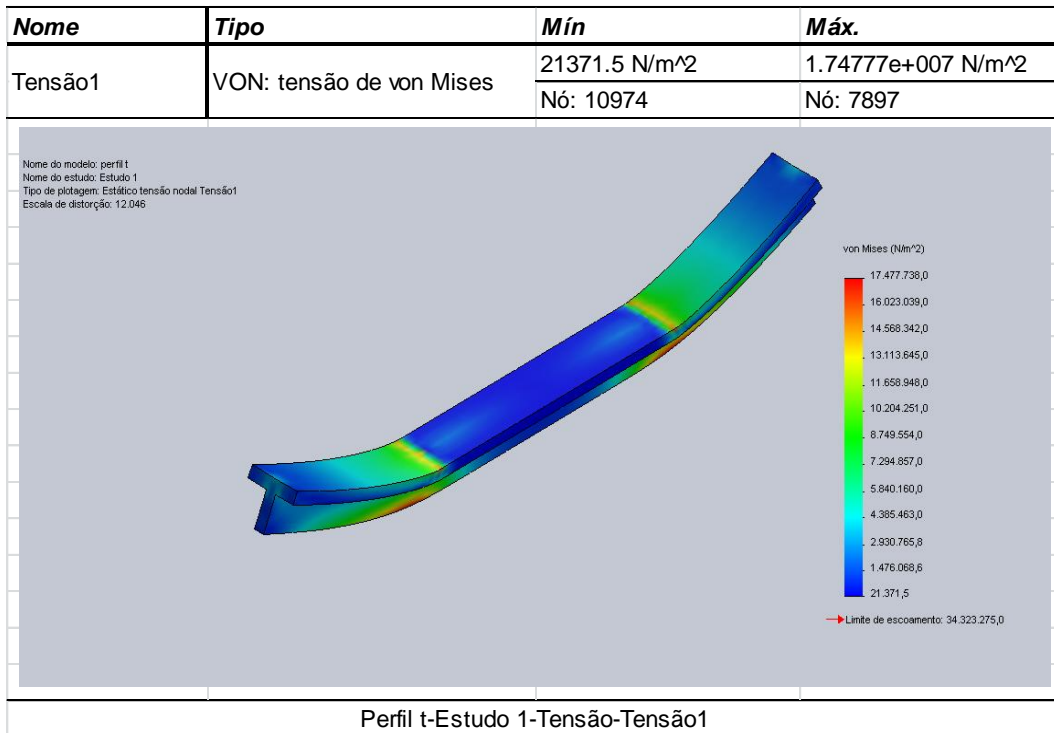


Figura 5 – Análise de Elementos Finitos – Perfil “T”. Fonte: o Autor.

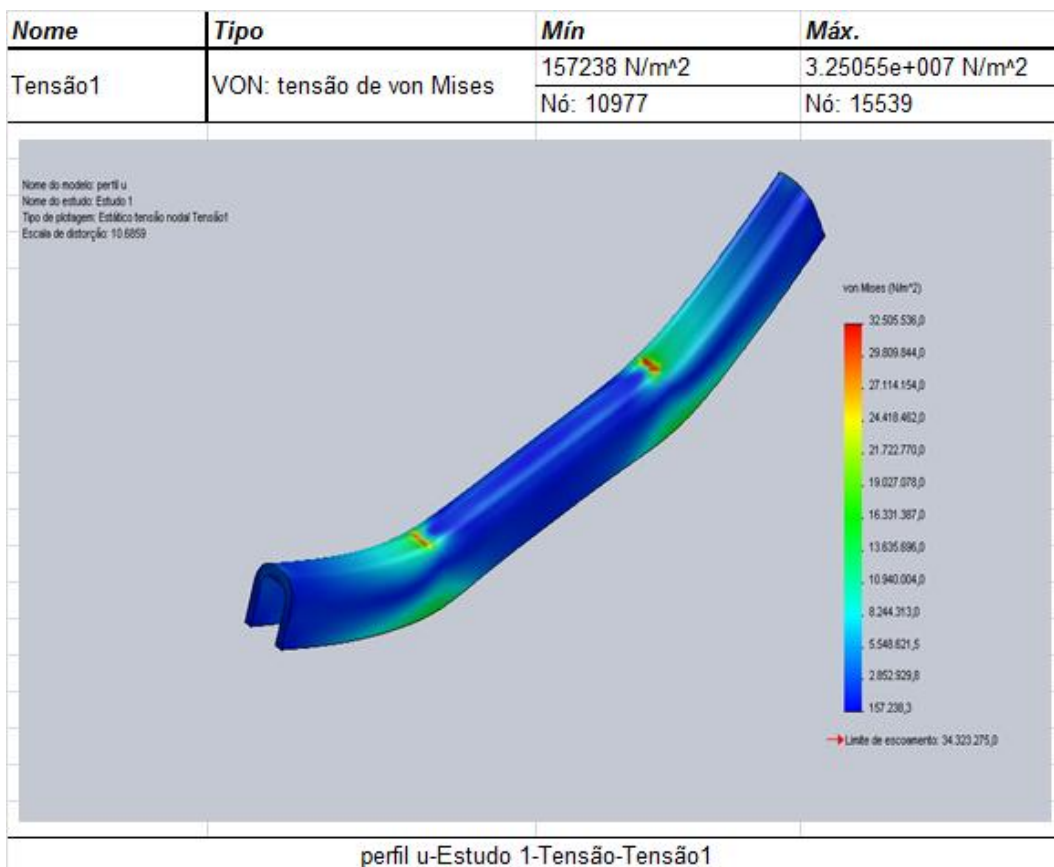


Figura 6 – Análise de Elementos Finitos – Perfil “U”. Fonte: o Autor.

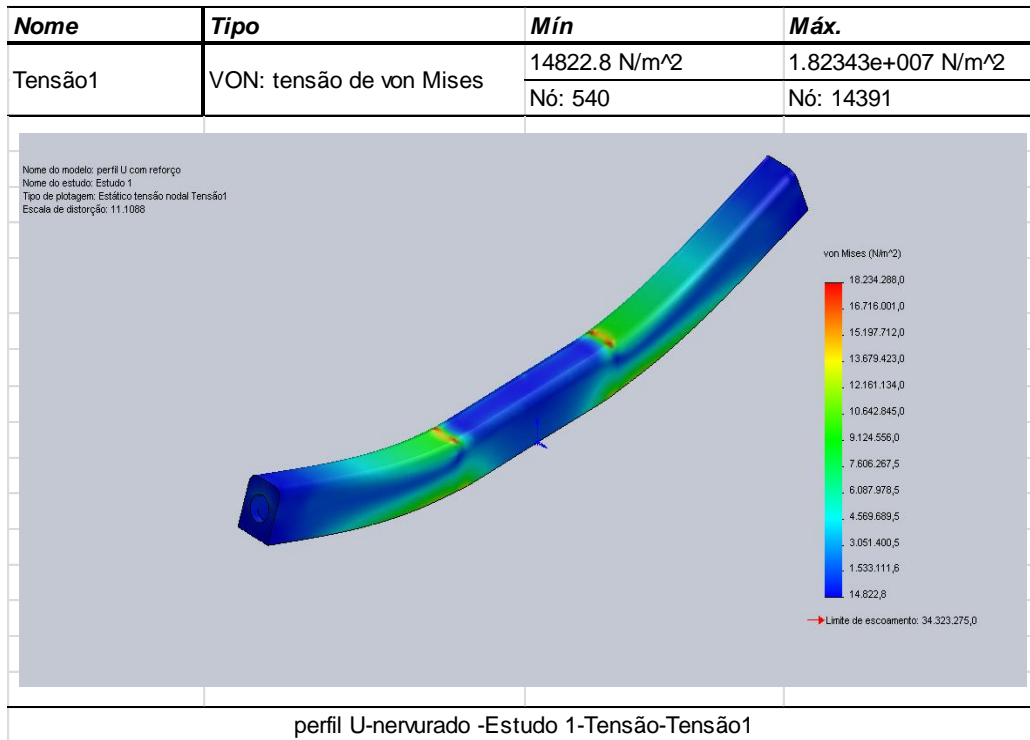


Figura 7 – Análise de Elementos Finitos – Perfil “U Nervurado”. Fonte: o Autor.

Em seguida o software fornece os relatórios de deslocamento relativo, ou seja, em relação ao ponto de fixação pré-selecionado, apresentados nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

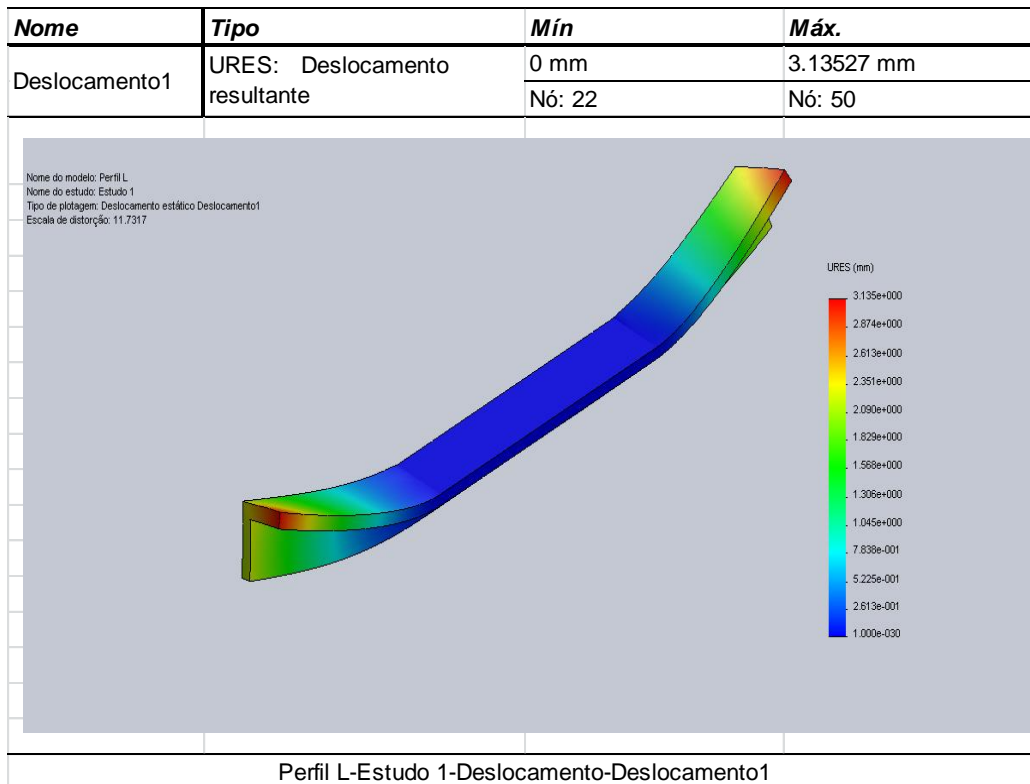


Figura 8 – Deslocamento relativo – Perfil “L”. Fonte: o Autor.

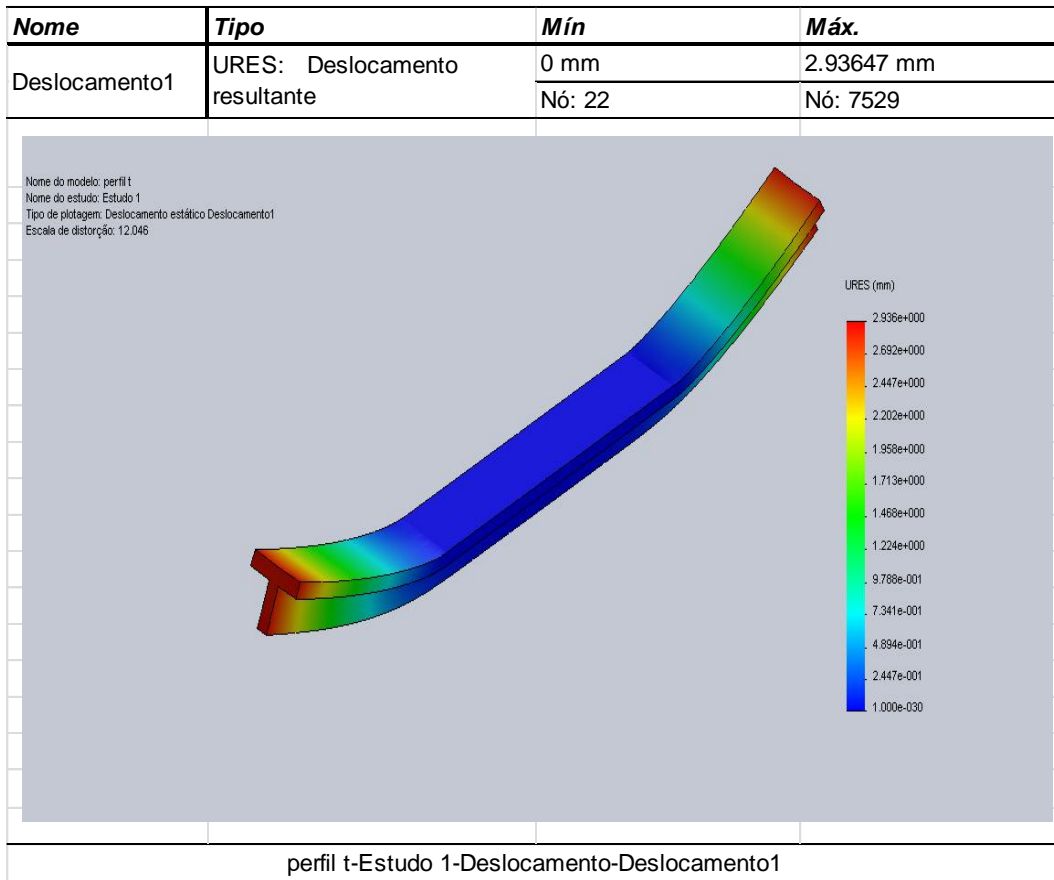


Figura 9 – Deslocamento relativo – Perfil “T”. Fonte: o Autor.

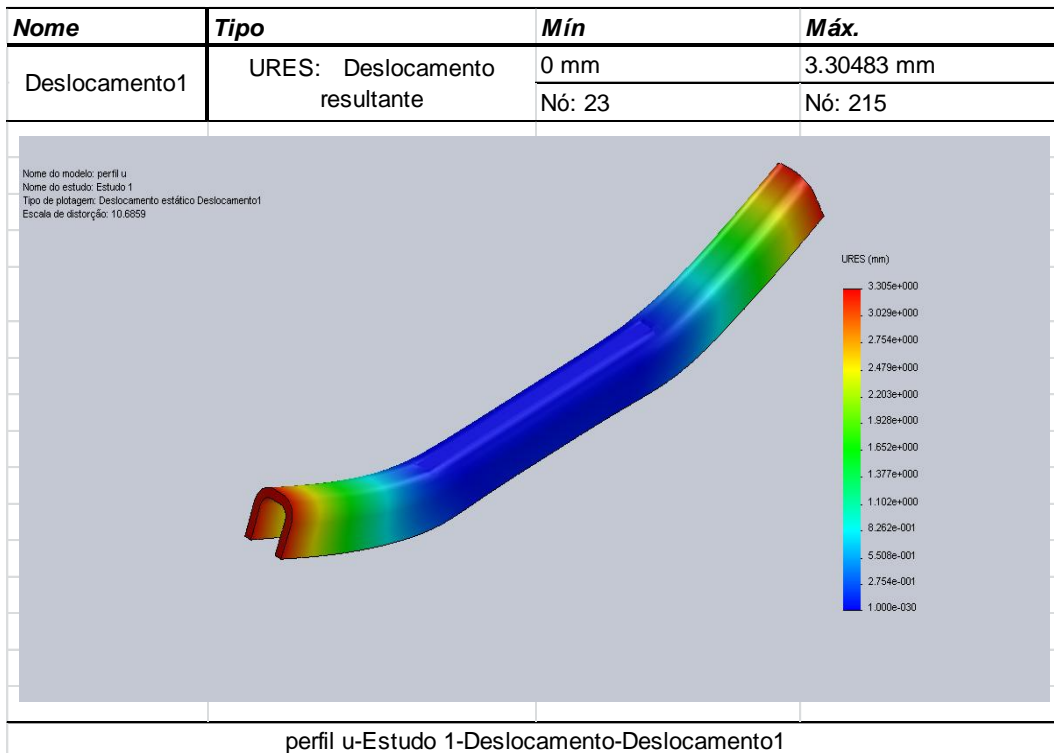


Figura 10 – Deslocamento relativo – Perfil “U”. Fonte: o Autor.

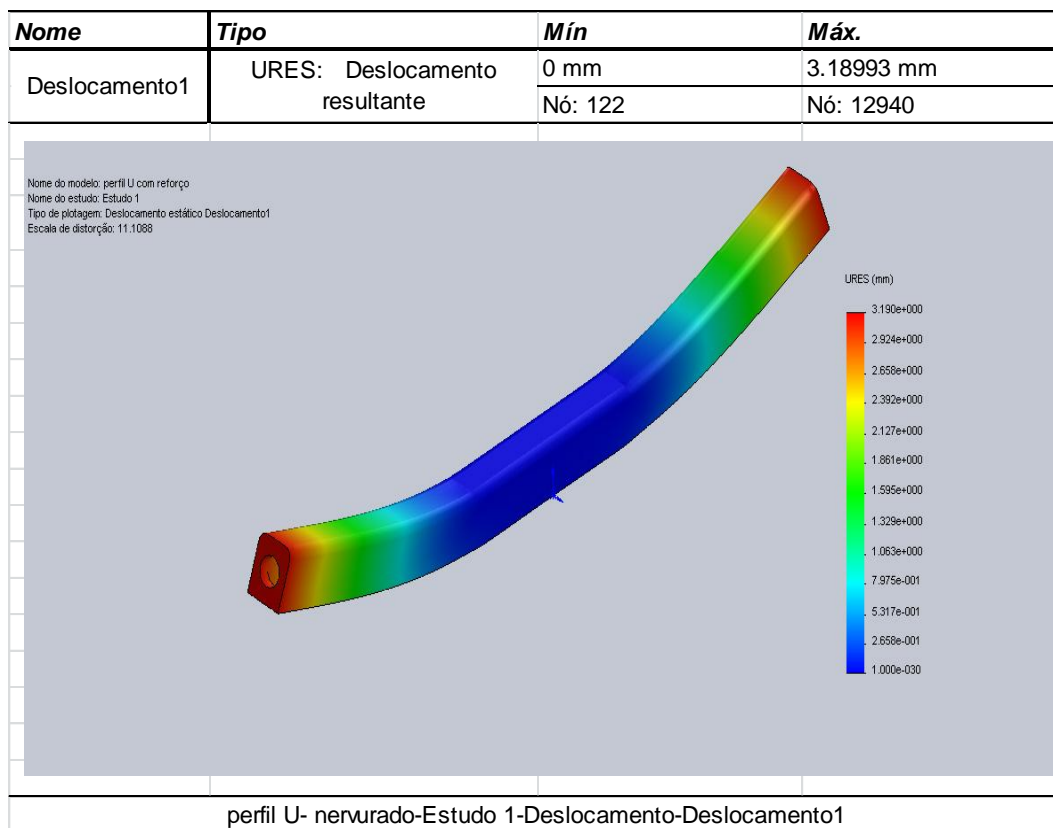


Figura 11 – Deslocamento relativo – Perfil “U Nervurado”. Fonte: o Autor.

Este resultado foi determinante para a concepção dos perfis, pois estes foram redesenhados e reanalisados diversas vezes até que o valor de deslocamento atingisse um valor próximo a 3 mm.

O fator mais importante, porém destas análises entre os quatro diferentes perfis, depois de efetuadas as análises estruturais, é o sua massa, pois trata-se de uma peça para uma aeronave onde a redução de peso apresenta-se como objetivo fundamental. Por este motivo, na seleção do perfil de trem de pouso apropriado para a aeronave do projeto 2012 da Equipe Águia FAHOR de Aerodesign usou-se como critério principal a comparação entre as massas finais dos perfis, após a comprovação da confiabilidade dos perfis, conforme demonstra o Quadro 2.

Massas dos Perfis do Trem de Pouso	
Perfil “L”	Massa:0.105462 kg
Perfil “T”	Massa:0.093744 kg
Perfil “U” Nervurado	Massa:0.0731197 kg

Quadro 2 – Comparativo de massas. Fonte: o Autor.

Os valores de massa foram calculados a partir da multiplicação dos volumes dos corpos sólidos, fornecidos pelo software Solid Works, pela Densidade Absoluta do UHMW, que é de 930 kg/m³.

Com o término das análises estruturais dos perfis poliméricos mostra-se válida a comparação destes com o modelo de trem de pouso utilizado no projeto

anterior, que foi construído totalmente em alumínio, e consistia em um eixo cilíndrico rebaixado com a fixação na aeronave através de mancais também em alumínio.

Conforme a Figura 12, o modelo apresentava desempenho satisfatório em relação as forças aplicadas, porém por ser construído em alumínio apresentava baixa eficiência estrutural, tendo massa elevada, 0,157 kg.

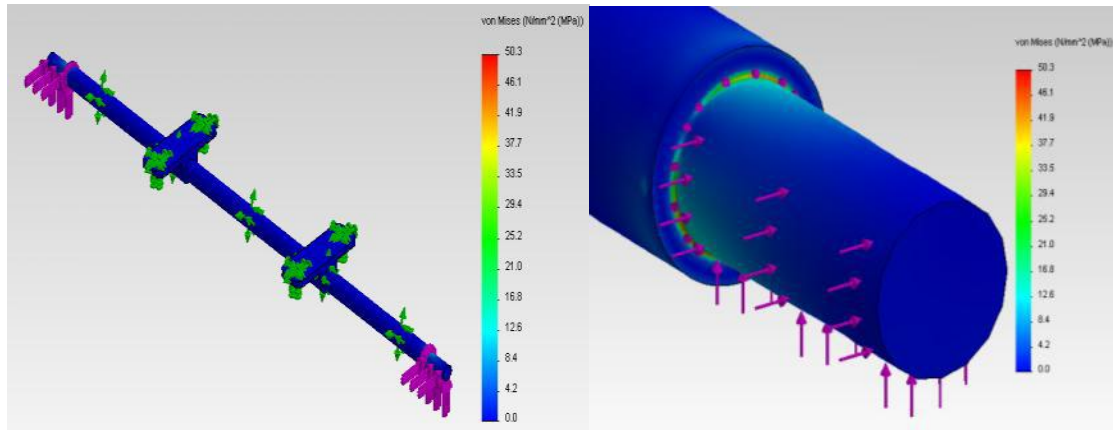


Figura 12 – Simulação no SolidWorks para comprovação da eficiência estrutural. Fonte: O Autor.

Dentre os perfis analisados, o que se mostrou mais eficiente, foi o perfil “U” Nervurado, por responder de maneira satisfatória a todas as solicitações de cargas estudadas e principalmente, por apresentar a melhor relação de carga suportada/massa..As Figuras 13 e 14 mostram, respectivamente, o trem de pouso projetado em processo de fabricação e o produto final, já usinado.

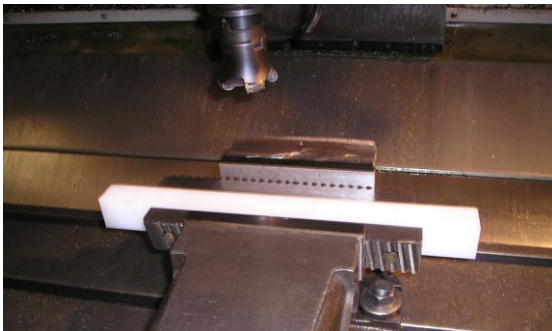


Figura 13 – Usinagem. Fonte: O autor.



Figura 14 – Produto Final. Fonte: O autor.

4. Conclusões

Considerando o apresentado, o presente artigo atingiu seus objetivos, pois, após a finalização das análises dos quatro modelos previamente propostos, pode-se comprovar a eficiência estrutural destes, através da aplicação das cargas atuantes durante o pouso da aeronave, que foram estimadas através de cálculos específicos, bem como, reafirmar a importância e a validade da utilização de simulações via software no processo de avaliação e estudo de determinado produto.



5. Referências

BARROS, C. P. **Uma Metodologia para o Desenvolvimento de Projeto de Aeronaves Leves e Subsônicas**. Belo Horizonte: UFMG, 2001.

CORMATEC. **Produtos – UHMW**. Disponível em:

<<http://www.cormatec.com.br/produtos.php#ancora2>>. Acesso em: Maio de 2012.

POLISTAR BRASIL. **UHMW Antiestático**. Disponível em: <<http://www.polistar.com.br/index.php/uhmw-antiestatico>>. Acesso em: Junho de 2012.

Rodrigues, Luiz Eduardo Miranda. J. **Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações ao Projeto SAE-AeroDesign Volume 1**. Edição revisada. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo, 2009.

WTA PLASTIC. **UHMW (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular)**. Disponível em: <http://www.wtaplastic.com.br/produto/detalhe_produto/plasticos_de_engenharia/uhmw_polietileno_de_ultra_alto_peso_molecular.html>. Acesso em: Maio de 2012.