

## **DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE POR SOLID EDGE DA ESTRUTURA DE UM PROTÓTIPO VEICULAR PARA PARTICIPAÇÃO NA MARATONA UNIVERSITÁRIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

**Antônio Vinicius Garcia Campos, antviniciuscampos@gmail.com**

Universidade Estadual do Maranhão, Unidade de Estudos de Engenharia.  
Cidade Universitária Paulo VI  
Tirirical  
65055-310 - São Luís, MA – Brasil

**Flavio Nunes Pereira, flaviomecn@yahoo.com.br**

Universidade Estadual do Maranhão, Unidade de Estudos de Engenharia.  
Cidade Universitária Paulo VI  
Tirirical  
65055-310 - São Luís, MA – Brasil

**Mavd de Paula Ribeiro Teles, mavd.ribeiro@hotmail.com**

Universidade Estadual do Maranhão, Unidade de Estudos de Engenharia.  
Cidade Universitária Paulo VI  
Tirirical  
6505 5-310 - São Luís, MA – Brasil

**Rayston Werner Oliveira Sousa, raystonsousa@gmail.com**

Universidade Estadual do Maranhão, Unidade de Estudos de Engenharia.  
Cidade Universitária Paulo VI  
Tirirical  
65055-310 - São Luís, MA – Brasil

**Rodrigo Rafael Pinheiro Pereira, ra.fa.pp@hotmail.com**

Universidade Estadual do Maranhão, Unidade de Estudos de Engenharia.  
Cidade Universitária Paulo VI  
Tirirical  
65055-310 - São Luís, MA – Brasil

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta fundamentalmente um projeto e análise de uma estrutura por meio do software SIEMENS SOLID EDGE. Tal estrutura será a base (chassi) para o protótipo veicular da maratona universitária de eficiência energética, portanto ele baseia-se na análise de cargas e tensões assim como dimensionamento e escolha do material para o mesmo. O projeto e análise são efetuados nesse software por regulamentado da competição a qual o protótipo será utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chassi Veicular, Solid Edge , Eficiência Energética

**ABSTRACT:** *The present work presents a fundamentally design and analysis of a structure by means of software Solid Edge. This structure will be the basis (frame) for the prototype car marathon university of energy efficiency, so it is based on the analysis of loads and tensions as well as sizing and choice of material for the same. The design and review is performed in software by the regulated competition which the prototype will be used.*

**KEYWORDS:** *Frame Car, Solid Edge, Energy Efficiency*

### **INTRODUÇÃO**

A Maratona Universitária de Eficiência Energética (MUEE) faz parte do calendário de competições estudantis no Brasil desde 2004. No entanto está no cenário mundial a mais de 25 anos como SHELL ECO-MARATHON. Tem como objetivo, a construção de um protótipo veicular, que tenha o menor consumo de energia. Com isso faz com que alunos desenvolvam seus conhecimentos teóricos na prática. É uma

competição que tem como característica não apenas a construção de um protótipo veicular, mas também, despertar nos estudantes a pesquisa em eficiência energética. A competição ajuda a desenvolver, aperfeiçoar e estabelecer parâmetros que possivelmente serão usados no futuro como critérios de eficiência energética.

Este trabalho tem como objetivo o dimensionamento, escolha do material, análise das tensões para a carga aplicada à estrutura do protótipo veicular a ser utilizada na competição, maratona universitária de eficiência energética. Por meio do software SIEMENS SOLID EDGE e de cálculos adicionais é possível obter os resultados necessários para o progresso e conclusão do projeto da estrutura. A análise das tensões na estrutura se faz necessária para o protótipo, pois a partir delas, poderemos determinar se o mesmo conseguira suportar as cargas a serem aplicadas. Esse Projeto é de fundamental importância para o projeto do protótipo veicular, pois os demais componentes poderão ser executados e colocados em funcionamento após sua conclusão.

Segundo o regulamento da 10ª MUEE no artigo 44º “As equipes devem se assegurar que o chassi do veículo ou seu monocoque seja rígido, formado por componentes que realizem a função de uma célula de sobrevivência. Em caso de capotamento do veículo, nenhuma parte do piloto deve ter a possibilidade de tocar o solo.” Com base nisto e no artigo 45º do mesmo, a estrutura do chassi deve oferecer segurança e resistência a impactos, além de ter um baixo peso.

Dispondo destes critérios estabelecidos pela organização da competição, é que são montadas as estratégias para projeto, análise, escolha adequada do material e montagem da estrutura. A escolha do material da estrutura deve ser como parâmetros o custo, o peso específico, e como será realizada a sua montagem.

A MUEE tem como objetivo o a construção de um protótipo que possua o menor índice de consumo de energia, no caso o uso da energia química da gasolina. “Há duas maneiras de reduzir a quantidade de energia necessária para mover um veículo: melhorando a eficiência do motor ou reduzindo a massa total do veículo” (Ashby, 2006). A redução da massa é o objetivo principal do presente trabalho, mas sem perder a resistência a forças, choques e segurança.

### Seleção de Materiais para Estrutura

A escolha do material tem como parâmetros seu custo, peso específico e método de fabricação. Desta forma foi definido três materiais muito utilizados em projetos de engenharia:

Fibra de Carbono: É uma fibra sintética composta de finos filamentos de 5 a 10 micrometros de diâmetro e composta principalmente de carbono.

Liga de Alumínio 2024: Esta liga é composta de 99,60% de Al e incluem combinações dos seguintes elementos: Cobre (Cu); Magnésio (Mg); Silício (Si); Manganês (Mn) e Zinco (Zn) em suas devidas proporções. Para essa liga, temos: Limite de resistência

típico [MPa]= 68; Densidade [g/cm<sup>3</sup>]= 2,65 e Relação resistência/peso=26.

Aço Carbono 1020: Liga metálica mais comumente encontrada no mercado, é composto de Ferro (Fe) e Carbono (C), é muito utilizado em projetos de engenharia. Existem também muitos outros metais: Níquel, Cromo, Manganês, Tungstênio, Molibdênio, entre outros.

**Tabela 1** Comparação de informações entre os Materiais

Material	Peso Específico	Preço uni	Forma de Fabricação
Fibra de Carbono	19 kN/m <sup>3</sup>	R\$ 160,00/[m <sup>2</sup> ]	Laminado c/ resina Epoxi
Alumínio 2024	28 kN/m <sup>3</sup>	R\$ 31,00/[m de tubo 1"]	Soldagem TIG
Aço 1020	78,5 kN/m <sup>3</sup>	R\$ 30,00/[m de tubo 1"]	Soldagem Eletrodo Revestido

Os dados da Tabela 1 conforme CALISTER (2012) pode-se comparar o custo de cada material assim como o peso específico. Com base nestes dados foi escolhido o Alumínio 2024, pois além de ter um preço unitário baixo, apresenta baixo peso específico e de fabricação rápida e confiável. Foi escolhido a forma de tubos redondos de 1 polegada (25,4mm) de diâmetro com espessura da parede de 2,5mm, esta forma de tubo é comum em lojas comerciais, na região de São Luís-MA, o que tornou a aquisição do material viável.

### Utilização do Software SIEMENS SOLID EDGE

Para haver maior validação com o presente projeto, foi utilizado um software CAD com fins de engenharia para auxiliar no desenho CAD do chassi. A versão utilizada foi a Solid Edge ST6 Student Edition, versão grátis de uso exclusivo a projetos acadêmicos, o mesmo software além de ser CAD também possui funções de simulações de estruturas CAE, o que é muito útil em dimensionamentos e verificação das tensões máximas admissíveis para o protótipo.

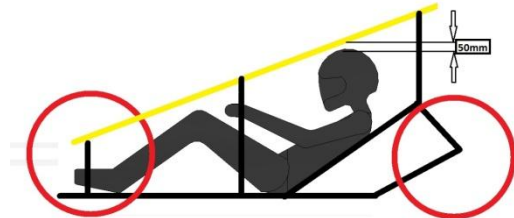
O download e todo o suporte técnico foi adquirido no site:

<[http://www.plm.automation.siemens.com/pt\\_br/products/velocity/solidedge/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/velocity/solidedge/index.shtml)>

### Projeto e Dimensionamento do Chassi

O chassi foi dimensionado a partir das mediadas do piloto, assim garantindo um bom conforto, e para se ter um projeto enxuto e com o menor peso possível. O regulamento da 10ª MUEE estrige algumas medidas

limites por questões de segurança, assim com base no regulamento da competição e as questões iniciais do projeto (peso baixo, alta resistência) foi dimensionado o chassi, a Fig. (1) mostra um esboço do chassi utilizado no projeto.



**Figura 1.** Limites do Regulamento

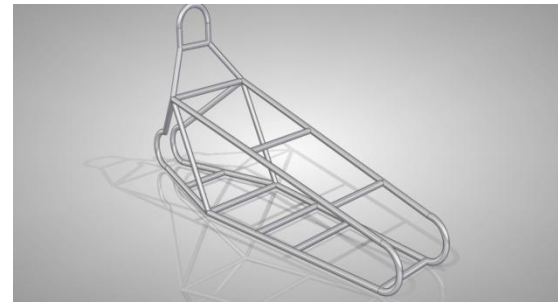
Na Figura 1 a linha amarela representa um limite imposto pelo regulamento, onde “Acima da cabeça do piloto, devendo ter uma folga de 50 mm entre o capacete e a parte inferior da barra. Acima do volante, devendo ter uma folga de 50 mm entre o maior raio do volante e a parte inferior da barra” (Regulamento da 10ª MUEE, 2013).

As linhas em preto representam o chassi e os círculos em vermelho são as rodas do veículo.

Com base nas propriedades do alumínio e suas limitações e forma de fabricação assim como os limites de projeto aliado à segurança que um veículo tem que ter em caso de colisão e capotamento, pode-se dimensionar o chassi. Com o auxílio do Solid Edge ST6 pode-se desenhar um esboço CAD do protótipo com tubos de 1” e parede de 2,5mm, e assim sabendo seu peso final e seu centro de gravidade. A Tabela 2 foi retirada das informações fornecidas pelo software.

**Tabela 2** Dados do Chassi

Propriedades Físicas	Volume 2071117,139 mm <sup>3</sup>	Massa 15,817 kg	
Centro de Gravidade	X= -148,40 mm	Y= 0,31 mm	Z= 217,35 mm
Momento de Inércia	Ixx= 0,74 kg-m <sup>2</sup>	Iyy= 2,39 kg-m <sup>2</sup>	Izz= 2,00 kg-m <sup>2</sup>
	Ixy= 0,00 kg-m <sup>2</sup>	Ixz= 0,05 kg-m <sup>2</sup>	Iyz= 0,00 kg-m <sup>2</sup>
Principais Momentos de Inércia	I1= 2,00 kg- m <sup>2</sup>	I2= 1,92 kg-m <sup>2</sup>	I3= 0,44 kg-m <sup>2</sup>
Raio de Giração	K1= 596,12 mm	K2= 584,00 mm	K3= 278,65 mm

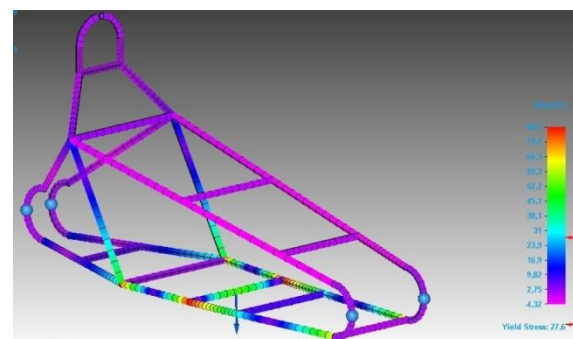


**Figura 2.** Desenho 3D do Chassi em SOLID EDGE

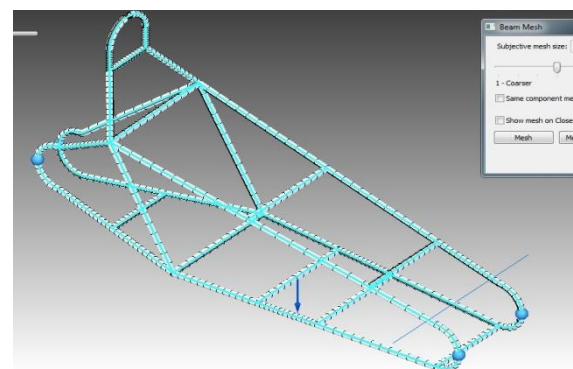
Pela Tabela 2 pode-se saber qual é a massa do chassi que é aproximadamente 16 Kg. Como todos os pré-requisitos iniciais de projeto foram atendidos. A última etapa é a validação por simulações dentro do próprio Solid Edge ST6.

### Simulações Estáticas Resultados

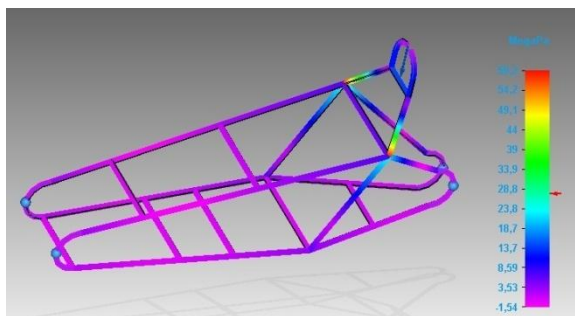
Após as simulações, onde se pode verificar todas as condições possíveis que o veículo poderia suportar na competição, foi verificado que em todos os testes, não houve nenhuma tensão superior ao limite de resistência para a liga Alumínio 2024 [186Mpa], a maior tensão encontrada pelo software foi 80,5 Mpa. A Figura 4 mostra a simulação do chassi com carga concentrada de 1000N (102 Kg).



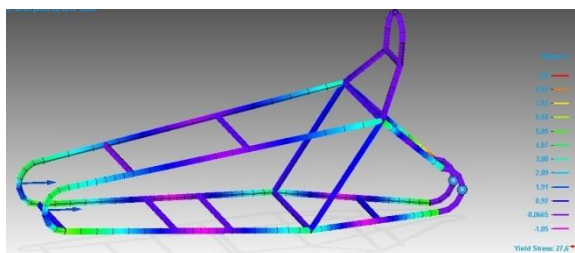
**Figura 4.** Simulação das Tensões resultantes da força peso



**Figura 4.** Malha de Elementos Finitos da Simulação no Solid Edge ST6



**Figura 5.** Simulação de Capotamento

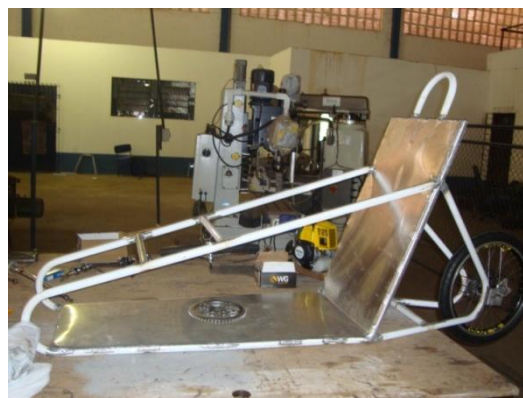


**Figura 6.** Simulação de colisão frontal

### Fabricação do Chassi

Após a análise e simulação da estrutura no programa CAD, pode-se verificar a viabilidade do projeto para sua aplicação na constituição final do veículo, partindo assim, para a fase de construção do chassi. A fabricação das peças foram realizadas com tubos de alumínio liga 2024, com diâmetro externo de 1 polegada (25,4mm) e espessura de 2,5mm. O modo de fabricação foi de soldagem TIG, por garantir uma solda de confiança e segurança.

A soldagem TIG (Tungstênio-inerte gás), é um processo de soldagem de alta qualidade, onde se utiliza um eletrodo de tungstênio não consumível, e uma vareta de enchimento, além do uso de corrente de gás, foi utilizado o Argônio para ligas de alumínio. O processo TIG pode soldar a maior parte dos metais além das “juntas soldadas resultantes são de alta qualidade, apresentam-se lisas, porque o banho fundido que se origina é calmo devido a ser o arco em atmosfera de argônio muito suave” (Chiaverini, 1986).



**Foto 1.** Chassi já soldado; Autor: Vinícius Campos

A Foto 1 mostra o chassi já soldado, algumas peças foram modificadas para melhorar o processo de fabricação. A figura mostra os integrantes da Equipe do Projeto Eficiência/UEMA junto do chassi já com as rodas, motor e sistema de direção montados.



**Foto 2.** Chassi já soldado; Autor(a): Mavd Ribeiro

### CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este trabalho apresenta um projeto e desenvolvimento de um chassi de protótipo veicular usado na competição de eficiência energética, abordando a modelagem CAD da estrutura e a análise de tensões no software Solid Edge ST6. Dessa forma, foi possível analisar o projeto de maneira mais clara e objetiva, tendo uma visão macro e micro da atuação das cargas na estrutura, o que auxiliou na escolha da melhor configuração que se adequasse às condições exigidas pelo regulamento da MUEE. Assim, foi possível identificar os locais de maior concentração de esforços e aperfeiçoar a estrutura do chassi. Por fim observou-se que o veículo suportou as cargas aplicadas e que as deformações encontradas são pequenas comparadas às principais dimensões da estrutura.

Na fase conceitual do projeto, se utilizou a estratégia de redução da quantidade de soldas, tendo em vista que esse processo aumenta a massa total da estrutura ocasionando prejuízos significativos no consumo de

combustível, além de tornar o processo de fabricação menos viável economicamente.

Considerando seu uso, o veículo está dimensionado a uma pessoa de 50 kg e deve ser utilizado em veículos que exerçam velocidades moderadas e em pistas com baixo impacto, desta forma a estrutura suportará os esforços sem nenhum possível dano. Outro aspecto levado em consideração no projeto foi a total segurança do piloto, para isso teve-se como base o regulamento da maratona universitária.

Por fim, pode-se dizer que, no geral, o projeto teve êxito, visto que a construção do veículo foi bem sucedida, o que o levou a sua aprovação na vistoria técnica que ocorre na competição. Além disso, este projeto serviu como um ponto de partida para projetos futuros, servindo como experiência e aprendizado teórico e prático. Dessa forma, será possível cada vez mais desenvolver projetos de desenvolvimento de estruturas para protótipos veiculares de eficiência energética bem sucedido, que resultam em produtos de alta qualidade, inovadores, de baixo custo e que fazem uso eficiente dos recursos disponíveis.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela realização deste trabalho e a UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO pelo apoio concedido.

## **REFERÊNCIAS**

Callister. W.D.J R.: Materials Science and Engineering, An Introduction, Third Edition.

Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica Vol. I – Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas. 2ed. Makron Books. São Paulo: 1986

Ashby, M., Johnson, K., Materiais e Design: Arte e Ciência da Seleção de Materiais no Design de Produto. Elsevier Editora Ltda. Rio de Janeiro – RJ,2006.

Siemens, 2013. “Solid Edge”. 15 à 29 Agosto, 2013, <[http://www.plm.automation.siemens.com/pt\\_br/products/velocity/solidedge/index.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/velocity/solidedge/index.shtml)>

Maratona Universitária de Eficiência Energética, 2013, Regulamento da 10ª Etapa, 16 de Março, 2013, <<http://www.maratonadaeficiencia.com.br/>>

## **DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Os autores são os únicos responsáveis por este artigo.