

## **ANÁLISE DE FORÇAS DE IMPACTO E SOLDA POR ELETRODO REVESTIDO DE UM CHASSI TIPO BAJA SAE**

LUCAS LOBATO STEFFEN<sup>1\*</sup>, ARIELLY ASSUNÇÃO PEREIRA<sup>2</sup>  
RAIMUNDO ANDERSON CARVALHO MEIRELES<sup>3</sup>; RAMON SILVA DA COSTA<sup>4</sup>; KARLA  
ODAZIMA PEGORETI<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade Estácio de Belém, Belém-PA,  
lucas.l.steffen@gmail.com;

<sup>2</sup> Msc. Professora em Engenharia Mecânica, Faculdade Estácio de Belém, Belém-PA,  
arielly.pereira@gmail.com;

<sup>3</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade Estácio de Belém, Belém-PA,  
anderson3224@hotmail.com;

<sup>4</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade Estácio de Belém, Belém-PA,  
ramon\_silvasilva@hotmail.com

<sup>5</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica - Faculdade Estácio de Belém, Belém-PA,  
karlapegoreti@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** Neste trabalho serão discutidas análises de forças de impacto e a solda em um projeto de um chassi automobilístico do tipo mini-baja. O projeto deste chassi foi realizado para participar da competição Baja SAE 2017, logo, este está em conformes com o regulamento da competição. O perfil do tubo comprado pela equipe também está em conformes com o regulamento, sendo do material AISI 1020 CD com um limite elástico de 210 Mpa, diâmetro externo de 31,75 mm e espessura da parede de 2 mm. Para as análises o programa Autodesk Inventor foi utilizado, em seus ambientes de Stress Analysis e Design Accelerator. Para a solda foi utilizada solda de eletrodo revestido, eletrodo E6013 de 2,5 mm de diâmetro, pela sua disponibilidade na faculdade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chassi Baja SAE, elementos finitos, colisões elásticas, solda, eletrodo revestido.

## **ANALYSIS OF IMPACT FORCES AND WELDING BY COATED ELECTRODE OF A BAJA SAE CHASSIS**

**ABSTRACT:** In this work will be discussed the analysis of impact forces and welding on a project of an automobile chassis type mini-baja. The design of the chassis was carried out to participate in the Baja SAE 2017 competition, so it is in compliance with the rules of the competition. The profile of the tube purchased by the team is also in compliance with the regulations, the material is AISI 1020 CD with an yield strength of 210 MPa, 31.75 mm of external diameter and wall thickness of 2 mm. For the analysis we used Autodesk Inventor, in its Stress Analysis and Design Accelerator environments. For the weld was used coated electrode solder, E6013 electrode of 2.5 mm diameter, for its availability in college.

**KEYWORDS:** Baja SAE Frame, Finite Element Method, elastic collisions, Weldment, Coated electrode.

## INTRODUÇÃO

A competição BAJA SAE tem como desafio o projeto, a construção e a análise de um veículo de assento único off Road. Com isso em mente são formadas equipes em todo o Brasil para projetar estes protótipos. Neste trabalho discutiremos apenas alguns aspectos básicos do projeto do veículo.

Inicialmente será discutida a determinação de forças de impacto, em uma análise estática, em caso de colisões. Este é um método simples para o dimensionamento e análise de um chassi, já que esta é apenas uma análise estática. Análises dinâmicas de impacto, em softwares mais avançados, também são recomendadas, para garantir a completa segurança do chassi para o piloto, em casos extremos.

Em seguida discutimos processo de soldagem utilizada e as dificuldades encontradas nesta árdua tarefa.

## MATERIAL E MÉTODOS

**O Projeto do Chassi** - O Modelo 3D do chassi foi feito no Autodesk Inventor, de acordo com a figura 1, devido a sua facilidade de acesso aos estudantes.

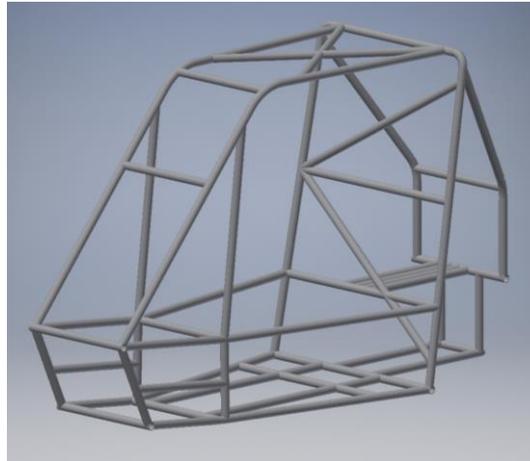


Figura 1: Chassi 3D

A equipe utilizou tubos pretos de aço carbono AISI 1020 com diâmetro externo de 31,75 mm e espessura de parede de 2 mm. Segundo o regulamento da competição, para um diâmetro externo de 31,75 mm a espessura mínima da parede seria de 1,56 mm. Em seguida foram definidas as forças dos impactos.

Para estimar as forças de impacto frontal, traseiro e lateral, foram feitas as seguintes análises:

$$\int_1^2 F(t)dt = m(v_f - v_i)$$

*Equação 1*

Onde o termo da esquerda é considerado como o impacto, e no termo da esquerda  $m$  é a massa total do veículo, estimada como 275 Kg,  $v_f$  é a velocidade final do chassi e  $v_i$  é a velocidade inicial deste. O tempo de impacto é normatizado pela SAE como 0,1 segundo, e a força é estimada como constante nessa análise, logo:

$$F \cdot \Delta t = m(v_f - v_i)$$

*Equação 2*

Considerando que a velocidade inicial é 60 Km/h (velocidade máxima dos carros na competição), e a velocidade final como 0 Km/h, obtemos uma força de impacto de 45,8 KN.

Não é necessário aplicar coeficientes de segurança nesta força, visto que consideramos uma massa total bem segura. E foi considerado também que a velocidade inicial é de 60 Km/h, esta é considerada bem alta pois raramente durante a corrida o carro chega a esta velocidade. E também, quando o piloto sentir que está em uma situação de risco, este vai logo frear.

Para estimar as forças nas capotagens frontais e laterais foi feita uma análise um pouco diferente. Utilizamos a consideração da aceleração:

$$F = (n \cdot g) \cdot m$$

Equação 3

Onde F é a força, g é a aceleração gravitacional ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ), e n seria um multiplicador da aceleração gravitacional.

Vários testes já foram realizados e mostram que em impactos, a aceleração do veículo, é bem estimada com 9g, porém já que o carro será pilotado na areia e não no asfalto, e sua velocidade máxima é de 60 Km/h, decidimos que o 5g é bem seguro para a nossa aplicação. Logo obtemos uma força de 13,5 KN.

Em seguida, com o perfil do tubo já determinado, e as forças de dimensionamento também determinadas, foi realizado um processo iterativo com a análise de elementos finitos no ambiente do próprio Autodesk Inventor, com o objetivo de posicionar os tubos de modo a otimizar a estrutura.

**A Solda** - O desafio proposto com o projeto baja SAE Brasil vai além do aluno adquirir habilidades em gerenciamento de projetos, é preciso integração das várias áreas de conhecimento adquirida ao longo da vida acadêmica e aplicar esses conhecimentos em uma das áreas da engenharia automobilística. Após a concepção do projeto estrutural do chassi do mini baja ser finalizado o próximo passo foi a construção do chassi, nessa etapa de fabricação surgiu mais um desafio à equipe Jambu Racing, sem experiências em processos e métodos de fabricação, para obter os resultados proposto no projeto elaborou-se procedimentos de soldagem, este foi o principal método de fabricação empregado no chassi, obedecendo as normas American Welding Society (AWS) e NBR 10516-define as terminologia dos consumíveis empregado na soldagem.

O chassi do mini baja deve ser robusto, eficiente, atrativo do ponto de vista comercial e oferecer segurança ao piloto e aos demais competidores, para isso ele segue um rígido regulamento com diversas características que deve ser incorporado no projeto. Projetado em estrutura tubular em aço AISI 1020 com limite de escoamento de 210 Mpa, atende-se os principais requisitos do projeto como: resistência mecânica, boa soldabilidade, preço acessível e disponibilidade no mercado. Conseguir a união dos tubos da gaiola e garantir as propriedades mecânicas e metalúrgicas do projeto para resistir aos esforços das provas estáticas e dinâmicas, bem como garantir a segurança do pilotos e membros do evento é uma tarefa árdua e necessária.

A definição do processo de soldagem por eletrodo revestido, deveu-se pela disponibilidade deste equipamento no laboratório da Faculdade Estácio de Belém e também o formato e material da estrutura. Após estabelecer o processo na fabricação a etapa seguinte selecionou-se o tipo de eletrodo. O chassi possui pontos de união de tubos de difícil acesso e por isso o processo necessita de atendimento a várias posições de soldagem, principalmente a horizontal (2G) e circunferencial (5G). A tubulação por possuir diâmetro externo de  $1 \frac{1}{4}$ " e espessura de parede de 2 mm optou-se por não chanfrar os tubos e aproximá-los ao máximo, pois esperava obter uma penetração parcial da solda para evitar furos na região de aplicação do cordão de solda. Também houve a necessidade de aplicar o mínimo possível de energia de soldagem para evitar distorções (deformação plástica sofrido pela estrutura na aplicação de calor localizado durante a soldagem) nos tubos, esse problema certamente prejudicaria posteriormente a instalação dos principais sistemas de transmissão, suspensão e direção, no entanto, a diminuição dessa energia estimula a eclosão de descontinuidades no cordão de solda, como exemplo a falta de fusão do metal de base, por isso a equipe realizou vários testes práticos

utilizando eletrodo E6013 de 2,5 mm de diâmetro e aplicando a equação 1 chega-se a uma energia de  $E=42625 \text{ J/mm}$ .

$$E = \frac{U \cdot I}{V} * \mu$$

(Equação 1)

Onde U é a tensão elétrica de soldagem (V), I é a corrente de soldagem (A), V é a velocidade de soldagem (mm/s) e  $\eta$  é o rendimento do eletrodo de 93%.

A alta energia de soldagem também provoca pontos de concentração de tensões residuais na estrutura Modenesi et al. (2009). Para atender os requisitos mencionados e por possuir baixo custo e confiabilidade mecânica e metalúrgica a equipe optou pelo eletrodo E6013 da fabricante ESAB com limite de escoamento de 331 Mpa, superior ao tubo da estrutura, o que está dentro dos parâmetros requeridos, no qual as propriedades do cordão de solda devem ser iguais ou superiores ao tubo. Com isso foi necessário a aplicação de apenas um cordão de solda, pois com a penetração parcial, fusão e união das juntas e o reforço fornecido pelo metal de adição as propriedades eram satisfeitas e a gaiola ganhava menor peso.

Outro método adotado pela equipe para amenizar as distorções consiste em executar os cordões em pontos cruzados dessa forma as deformações eram distribuídas de forma iguais em toda estrutura e também utilização de gabaritos de madeira, em razão de possuir um coeficiente de dilatação térmica baixo, com isso o movimento dos tubos era restrito ao receber calor e ao resfriar, o resultado obtido desse processo é apresentado na figura 1.



Figura 1. Perfil do cordão de solda aplicado no chassi.

Fonte: Autores

A figura 3 mostra um processo de fixação de tubos com pregos adotado inicialmente pela equipe, posteriormente mostrou-se ineficiente, pois apresentava excessiva deformações na estrutura devido a alta condutividade térmica e dilatação do prego.



Figura 3. Fixação dos tubos do chassi com gabaritos de pregos.

Fonte: Autores

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sendo o primeiro protótipo da equipe obtivemos bons resultados, o projeto foi finalizado de acordo com o cronograma e orçamento, as etapas de fabricação foram bastante onerosas em razão da equipe ter pouca experiência e habilidade prática em fabricação isso gerou atrasos em algumas etapas, mas a equipe conseguiu com horas extras finalizar o projeto e participar da 23ª competição do Baja SAE Brasil.

Em um segundo protótipo pretende-se otimizar ainda mais o peso, com isso será reavaliado a possibilidade de utilizar outro material na estrutura e também a aplicação de outro processo de soldagem com objetivo de ganhar tempo e menor consumo de energia.

## CONCLUSÕES

Apesar do processo de eletrodo revestido apresentar-se como um método simples, barato e versátil ele exige bastante técnica do operador o que requer onerosos processos de treinamento principalmente em aplicações de tubulações e posições variadas, mas em particular para essa aplicação da gaiola do mini baja esse processo se mostrou bem eficiente.

A proposta da competição de formar um engenheiro completo para atuar na área da mobilidade, buscar soluções que inovem na área automobilísticas, adquirir perfil de liderança e integração com as várias áreas do projeto, fizeram com que várias dificuldades pudessem ser superadas e com isso a conclusão.

## REFERENCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10474**: Qualificação em soldagem - Terminologia - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10516**: Consumíveis em Soldagem - Terminologia - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

AWS A2.4. Brazing Manual. American Welding Society, Inc., FL, 1975.

Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas. 2ª edição São Paulo: Pearson Education do Brasil, 1986.

ESAB. Eletrodo Revestido, 2000 (apostila).

Idalberto, C.. Gestão de pessoas. Rio de Janeiro: Campus, 2008.

Machado, I.G. Soldagem e Técnicas Conexas: processos. Porto Alegre, 1996.

Modenesi, P.J.; Marques, P.V.; Santos, D.B. Curso de metalurgia da soldagem. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1985.

Modenesi, Paulo J.; Marques, Paulo V. ; Bracarense, A. Queiroz. Soldagem: fundamentos e tecnologia , 3ª edição atualizada-Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.