

OTIMIZAÇÃO DA CAIXA DE PEDAIS DE VEÍCULOS AUTOMOTORES

MATEUS O. MONTEIRO¹, PAULO D. FRIGHETTO².

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBITI-IFSP/CNPq, IFSP, Câmpus Sertãozinho, mateus.monteiro@ifsp.edu.br.

² Professor Doutor em Engenharia de Materiais, IFSP, Câmpus Sertãozinho, paulofrighetto@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.04.06 – 6 Métodos de Síntese e Otimização Aplicados ao Projeto Mecânico

RESUMO

Neste trabalho projetou-se e construiu-se uma caixa de pedais e aprimorou-se o sistema de frenagem e o de aceleração para veículos Baja SAE (*Society of Automotive Engineers*), que é um protótipo fora-de-estrada que deve possuir um sistema seguro e eficiente de frenagem, devido às agressivas condições das provas, as quais o veículo será submetido. O aprimoramento da caixa de pedais do veículo Baja SAE foi necessário, pois o sistema de freios deve ser capaz de travar as 4 rodas simultaneamente, após uma aceleração máxima, durante 30 metros, requisito de segurança exigido pela SAE Brasil. Portanto, este projeto pretendeu solucionar os problemas existente nos projetos antecedentes, com o estudo do sistema de frenagem e do sistema de aceleração, e o dimensionamento correto da caixa de pedais. Com os testes já realizados, o veículo travou as rodas simultaneamente. Também, foi possível reduzir em 10%, o peso do projeto antigo. A nova caixa de pedais também ficou com resistência mecânica apropriada para que não ocorra deformações, como na antiga.

PALAVRAS-CHAVE: caixa de pedais; frenagem; aceleração; Baja SAE; fora de estrada.

OPTIMIZATION OF MOTOR VEHICLES PEDAL BOX

ABSTRACT

In this work, it was designed and built a pedal box and improved the brake and the throttle system for Baja SAE (*Society of Automotive Engineers*) vehicles, which is an off-road prototype that must have a safe and efficient braking system, due to the aggressive conditions of the tests to which the vehicle will be submitted. The improvement of the pedal box of the Baja SAE vehicle was necessary, because the brake system must be able to brake all 4 wheels simultaneously, after maximum acceleration, for 30 meters, a safety requirement demanded by SAE Brazil. Therefore, this project intended to solve the problems existing in previous projects, with the study of the braking system and the throttle system, and the correct sizing of the pedal box. With the tests already performed, the vehicle braked the wheels simultaneously. It was also possible to reduce the weight of the old design by 10%. The new pedal box was also given the appropriate mechanical resistance so that deformations do not occur, as in the old one.

KEYWORDS: pedal box; brake; throttle; Baja SAE; off-road.

INTRODUÇÃO

Um veículo tipo Baja enfrenta situações agressivas, terreno acidentado, lama, troncos, rampas, pedras, necessitando para tal, ter um sistema de frenagem e aceleração adequados. O Baja SAE, não foge dessa situação e de acordo com o regulamento da SAE, o veículo deve por exemplo ter uma frenagem que trave as 4 rodas simultaneamente, após uma aceleração máxima, durante 30 metros.

Para se obter essa condição, uma caixa de pedais de acionamento da frenagem e da aceleração do veículo bem projetada e construída é fundamental. A caixa de pedais pode abrigar além dos próprios pedais, alguns componentes do freio, como os cilindros mestres, reservatório de fluido, componentes do acelerador e o *balance bar*, que é um componente que distribui a força aplicada no pedal, para os dois cilindros, sendo um para a traseira e um para a dianteira.

Outras considerações em relação a um sistema de frenagem e aceleração são a ergonomia e a possível interferência entre os componentes. Para isso, o piloto deve poder usar confortavelmente os pedais do freio e do acelerador por um longo período, já que a corrida de resistência nas competições Baja SAE possui quatro horas de duração, e pedais mal posicionados causam um grande desconforto ao piloto. Além disso, os componentes do conjunto de pedais localizados na parte frontal do veículo compartilham espaço com a caixa e a coluna de direção. Os componentes do sistema de freio, como os discos, tubulações (linhas) e as pinças, localizados nas rodas dianteiras, podem interferir nos pontos de conexão dos componentes da suspensão ou até na própria roda.

Um protótipo de veículo Baja SAE está sendo construído no campus e o sistema de freio utilizado é hidráulico a disco e foi redimensionado, e desenvolvido juntamente com outros subsistemas do veículo. Esse projeto visou seguir as exigências do Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil (RATBSB,2020), além de tentar diminuir o peso caixa de pedais já existente.

MATERIAL E MÉTODOS

Para projetar a nova caixa de pedais determinou-se os parâmetros dos componentes que seriam utilizados, como a razão do pedal, que multiplica a força que é aplicada na pedaleira pelo piloto e transmitida ao cilindro mestre. Posteriormente, foi calculada a razão do diâmetro do êmbolo da pinça de freio e do pistão do cilindro mestre, na dianteira e na traseira, ressaltando que quanto maior o número, maior a força de frenagem. Todas essas razões servem para multiplicar a força aplicada no pedal para que ela seja suficiente para travar as 4 rodas do protótipo simultaneamente, como exigido no regulamento. Essas razões foram obtidas pelas seguintes equações:

$$R_{pedal} = \frac{L}{L_p} \quad (1)$$

em que,

R_{pedal} - Razão do pedal;

L - Comprimento total do pedal em mm;

L_p - Comprimento do ponto de articulação até o ponto de atuação no cilindro mestre em mm;

$$R_{diametros} = \frac{D^2}{d^2} \quad (2)$$

em que,

$R_{diametros}$ - Razão entre os diâmetros do êmbolo da pinça de freio e do pistão do cilindro mestre;

D - Diâmetro do êmbolo da pinça de freio em mm;

d - Diâmetro do embolo do cilindro mestre em mm;

Após definidos estes parâmetros, desenvolveu-se o projeto dos componentes da caixa de pedais no software CAD Solidworks, definindo os materiais e o modelamento dos componentes da caixa, com a intenção de reduzir o máximo de peso possível, mantendo a resistência calculada. Para isso foram feitas simulações estáticas dos componentes, para que fosse feita uma otimização topológica.

O método utilizado para fazer as simulações estáticas foi o de elementos finitos, usando Von Mises que combina os efeitos das tensões atuando em um estado triplo, para que possa ser possível comparar o valor de Von Mises com as propriedades do material. Quando a tensão de Von Mises da análise de elementos finitos for maior que o limite de escoamento, significa que a peça sob análise vai sofrer deformação plástica.

Para a execução do projeto foram utilizados os equipamentos da oficina mecânica do Câmpus, como: máquina de serra de fita horizontal, máquina de solda elétrica tipo MAG, torno mecânico, fresadora convencional, furadeira de bancada, esmerilhadeira e corte à plasma.

Os materiais utilizados foram:

- Aço Strenx700, da SSAB, devido à sua boa resistência mecânica, utilizados nos pedais e na estrutura;
- Náilon 6, para a confecção de buchas;
- Rótula e tarugos de Aço SAE 4340, para o *balance bar*;
- Uma mola em Aço AISI 302, para o retorno do acelerador, reaproveitada de uma motocicleta;
- Fixadores, como, porcas, parafusos, arruelas e anéis elásticos para a trava dos pinos, baseados nas propriedades de cada material (CALLISTER, 2008).

Para a fabricação dos constituintes da caixa de pedais, as chapas de aço foram fornecidas e cortadas a plasma por uma empresa parceira. Para fabricação do *balance bar*, tarugo de aço SAE 4340 foi usinado no torno convencional. A soldagem dos diversos componentes foi feita utilizando equipamento de solda MAG.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta de dados do protótipo atual e dos componentes do sistema de freio, foram realizados os cálculos para que o mesmo tenha a frenagem desejada. Deste modo, calculou-se a razão do pedal, utilizando a equação 1, e o resultado foi 6:1. Também foi calculada a razão entre os diâmetros do êmbolo da pinça de freio e do pistão do cilindro mestre, de acordo com a equação 2, e o resultado foi 6,35:1 na dianteira, e 8,04:1 na traseira.

Atualmente, o protótipo utiliza freio a disco, sendo dois discos de motocicleta Suzuki Burgman 150, com 160mm de diâmetro, fixados no cubo das rodas dianteiras e duas pinças da motocicleta Honda CG 150, com um êmbolo de 32mm de diâmetro. Já na traseira, a frenagem é realizada por apenas um disco de freio, de 220mm diâmetro, usinado no laboratório, acoplado na saída do redutor, e uma pinça da Honda CBX 250 Twister, com dois êmbolos de 25,4mm de diâmetro. As pinças que já eram utilizadas no veículo, foram mantidas, pois já estavam dimensionadas adequadamente.

Os cilindros mestres, que por funcionalidade, são divididos em dois tipos, os simples e os duplos (Limpert, 2010). O cilindro mestre duplo que era de aço, e, portanto, muito pesado, e com êmbolo de 19,05mm de diâmetro, teve que ser substituído, pois a razão, entre os diâmetros do êmbolo da pinça de freio e do pistão do cilindro mestre, não proporcionava a força de frenagem desejada. Após os cálculos, foi adquirido um cilindro da moto Honda Falcon, que é simples, em alumínio e seu pistão possui 12,7mm de diâmetro, conseguindo assim uma maior força de frenagem, além de um peso cerca de 6 vezes menor. Porém, pelo fato dele ser simples, houve a necessidade de se utilizar 2 cilindros, que são acionados pela *balance bar*.

O cilindro mestre que tem como função pressurizar e deslocar o fluido de freio até as pinças e/ou cilindros de roda (Punh, 1987), recebe a força aplicada pelo piloto, multiplicada pela razão do pedal, que é 6:1. Essa força é transmitida através das linhas de freio pelo fluido hidráulico. Essas linhas podem ser rígidas ou flexíveis. As rígidas são feitas de tubos de cobre ou aço, e possuem uma perda de carga praticamente nula, porém devem ser utilizadas em lugares onde não há movimentação da linha. As flexíveis, geralmente são de borracha, e são usadas em locais onde as linhas de freio precisam se movimentar. A flexível de borracha pode sofrer uma deformação volumétrica entre 10% e 30%, quando estão sob pressão interna, caso não sejam substituídas dentro prazo de validade. No projeto atual, pelo fato dos cilindros mestres não possuírem alta capacidade volumétrica, qualquer possível deformação volumétrica nas linhas de freio poderia reduzir a capacidade da frenagem. Para solucionar esse problema, foram adquiridas flexíveis de borracha com malha de aço inox, que garante a integridade das mesmas, em pressões elevadas. Na dianteira, as duas linhas são por sua totalidade flexíveis, já na traseira foi usada uma linha rígida do VW Fusca, até a parte que é fixa, e no final usou-se uma flexível para ser conectada à pinça.

Na etapa de projeto, foi levado em conta a ergonomia e o conforto do piloto, e para isso os dois pedais possuem buchas de náilon no ponto de articulação, para redução de atrito. A fixação da caixa de pedais no chassi é feita por intermédio de furos oblongos, que permitem regulagem de distância, possibilitando ser utilizada por diferentes pilotos. Além disso, foi realizado o desenho dos componentes da caixa de pedais, como: pedais, estrutura, novo cilindro mestre, conexões, como pode ser visto na Figura 1.

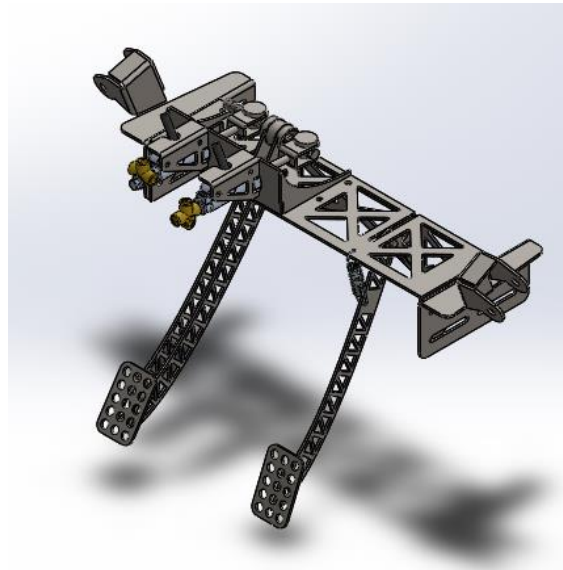


FIGURA 1: Desenho de montagem da caixa de pedais no software CAD (autoria própria).

Com os dados obtidos pelos cálculos e o método de elementos finitos (Figura 2), desenvolveu-se todos os componentes da caixa de pedais, como: os pedais, do freio e de aceleração; a *balance bar*; a estrutura da caixa, além de os outros componentes.

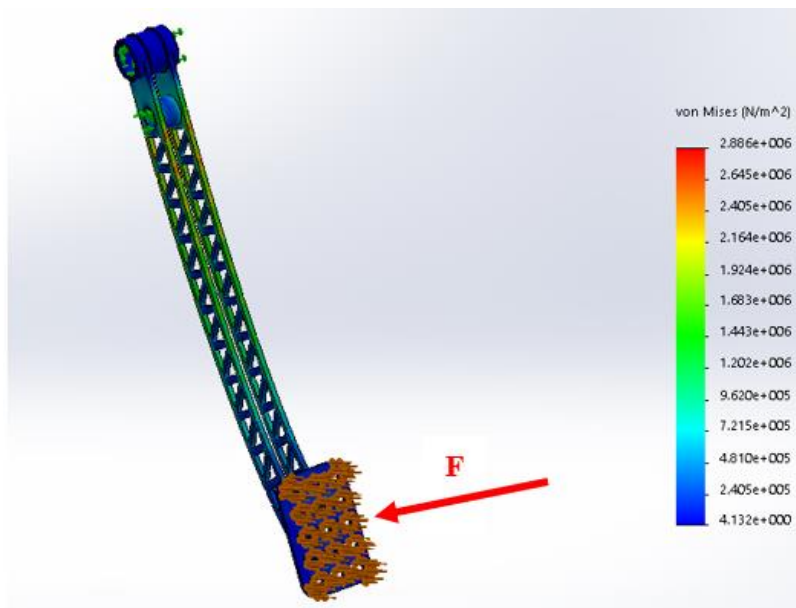


FIGURA 2: Simulação do pedal de freio no software CAD (autoria própria).

Como é visto na Figura 2, a tensão de Von Misses, encontrada no pedal de freio, foi de 288 MPa, e o material utilizado, que foi aço Strenx 700, possui um limite de escoamento de 650 MPa. Sendo assim, o material escolhido vai suportar a força (F) aplicada pelo piloto, que nos cálculos, foi considerada 400 N.

Na Figura 3, é mostrado como o pedal antigo se deformou (linha azul) após alguns testes realizados com o veículo, em comparação com o formato original (linha vermelha). Isso mostra que o pedal de freio antigo estava mal dimensionado, causando uma deformação plástica. Também na Figura 3, uma foto do novo pedal desenvolvido.



FIGURA 3: Pedais de freio: antigo e novo (autoria própria).



FIGURA 4: Montagem da caixa de pedais nova. (autoria própria)

Após cortadas as peças, verificou-se que o peso das mesmas foi muito próximo ao peso fornecido pelo software CAD. A nova caixa de pedais ficou 10% mais leve que anterior, além de ter ficado mais adequada para veículos Baja SAE, permitindo uma maior regulagem da força a ser aplicada em cada roda.

Além disso, foi realizado um ajuste técnico na caixa de pedal antiga, para fazer um teste com os novos cilindros, o teste foi bem-sucedido travando as duas rodas dianteiras, e posteriormente foi realizado o teste com a traseira, também travou as duas rodas. Confirmando assim, os cálculos feitos previamente.

Em seguida, montou-se a caixa de pedais (Figura 4), começando pelo processo de semi acabamento com disco flap de granulação 300, na esmerilhadeira. Após isto foi escolhido o processo de soldagem MAG, por proporcionar grande resistência mecânica aliada a uma boa estética.

CONCLUSÕES

Devido a pandemia, ainda não foi possível finalizar a montagem da caixa de pedais e sua instalação no protótipo. Contudo, com os testes já realizados até o momento, verificou-se que o veículo travou as rodas simultaneamente, como desejado e previsto nos cálculos realizados. Também, foi possível reduzir o peso do projeto antigo em aproximadamente 10%, além de se ter conseguido uma resistência mecânica apropriada para que não ocorra deformações, como aconteceu no pedal de freio antigo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq/IFSP, pelo fomento desta iniciação tecnológica.

REFERÊNCIAS

- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- LIMPERT, R. **Brake Design and Safety**. 3ªed. Warrendale, SAE International, 2010.
- PUHN, F. **Brake Handbook**. 1 ed. New York, HpBooks, 1987.
- SAE Brasil. **RATBSB** (Regulamento Administrativo e Técnico Baja SAE Brasil). Disponível em: http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/Users/165/65/64165/RATBSB_emenda_03.pdf . Acesso em: 10 abr.2020.

