



Adelson Moacir Bornhold

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE FREIO PARA VEÍCULO
OFFROAD DE PEQUENO PORTE**

Horizontina

2012

Adelson Moacir Bornhold

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE FREIO PARA VEÍCULO
OFFROAD DE PEQUENO PORTE**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Dr.

Co-orientador: Ricardo Ferreira Severo, Ms.

Horizontina

2012

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Dimensionamento de um sistema de freio para veículo offroad de pequeno porte”

Elaborada por:

Adelson Moacir Bornhold

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 10/12/2012
Pela Comissão Examinadora**

**Doutor. Ademar Michels
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador**

**Mestre. Ricardo Ferreira Severo
FAHOR – Faculdade Horizontina
Co-orientador**

**Especialista em Desenvolvimento de Produto. Valmir Vilson Beck
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2012**

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, pela vida e a oportunidade de chegar até aqui com condições para a realização deste trabalho, aos meus pais Elvira e Egon, a minha irmã Simone, que sempre me apoiaram em minhas decisões, dando-me força e coragem para seguir em frente, auxiliando em todos os momentos e torcendo para que tudo desse certo e contribuindo para meu crescimento.

Ao orientador Prof. Dr. Ademar Michels e ao co-orientador Prof. Ms. Ricardo Severo pela oportunidade, amizade, orientação e conhecimentos repassados.

Ao Prof. Valmir Vilson Beck, pela amizade, pelas lições de vida e conhecimento passados nos cursos de Aprendizagem Industrial, curso Técnico em Mecânica e posteriormente na graduação.

Ao Prof. Ms. Anderson Dall Mollin, Prof. Dr. Edio Polacinski, Prof. Ms. José Antônio Sala, obrigado por terem sido grandes mestres.

Aos amigos que participaram comigo no projeto Baja pela Equipe Sinuelo, Adriano, Claudia, Lauri, Rafael, Renan, Ronan e Sidinei, obrigado pelo trabalho em equipe, aprendizado conjunto e conquistas.

Em fim, obrigado a todos aqueles, que de uma forma ou outra contribuíram para a construção deste trabalho, que estiveram presentes em muitos momentos da minha vida acadêmica e que de certa forma contribuíram para a minha formação, sou muito grato.

A todos, meu sincero **MUITO OBRIGADO!**

RESUMO

O presente trabalho objetivou dimensionar um sistema de freio para veículo fora de estrada (*offroad*) Baja SAE, Sociedade dos Engenheiros Automotivos, (*Society of Automotive Engineers*), e testar a eficiência das alterações projetadas em um veículo *offroad* construído pela Equipe Sinuelo FAHOR de Baja, considerando que o sistema adotado deve ser eficiente, respeitar as normas que a competição Baja SAE impõe aos veículos participantes e visando principalmente proporcionar maior segurança tanto para o piloto do veículo como para os indivíduos que possam estar nas proximidades deste. Com tal ensejo, foram analisados alguns conceitos de sistema de freio, a fim de detectar o que melhor se adaptaria ao veículo *offroad* em questão, no caso optando-se pelo sistema de freio a disco. Foi realizado levantamento de dados relacionados ao veículo, como peso, dimensões entre eixos e posição do centro de gravidade a fim de coletar informações primordiais para a realização do dimensionamento do sistema de freio escolhido e, no presente projeto, optou-se por alterar o material utilizado na elaboração do sistema de freio utilizado nas versões anteriores dos veículos Baja da equipe Sinuelo FAHOR de Baja, deixando de utilizar Aço Inoxidável Martensítico do tipo AISI 420 para fazer uso de Ferro Fundido cinzento, sendo alterado também o dimensional do disco de freio aumentando o diâmetro externo em 6% e a espessura em 22% para proporcionar um dimensional ideal para o sistema, aumentando eficiência e confiabilidade deste. Através de simulação feita pelo Software Ansys foi analisada a resistência dos materiais empregados, visando comprovar que o projeto atende as necessidades exigidas, primando pela segurança do condutor e transeuntes. Além da utilização do software para simular o rendimento trazido pelas alterações no projeto, foi feito comparativo por meio de testes práticos com o modelo anterior e o modelo projetado neste trabalho, levando em consideração material e dimensionamento, para comparar a eficiência dos componentes. Por fim, conclui-se que tanto a alteração de material quanto do dimensionamento foram positivas, alcançando o objetivo proposto, revelando eficiência, rendimento e segurança.

Palavras-chaves: Freio a disco, veículo *offroad*, segurança.

ABSTRACT

This paper aims at sizing a brake system for a Baja SAE off-road vehicle and assessing the efficiency of the projected alterations in *offroad* vehicle built by the Baja team from FAHOR Sinuelo, considering that the chosen system should be efficient, respecting the norms that the SAE Baja competition demands from the contestant vehicles and aiming mainly to provide more safety both to the driver and the people that might be nearby. With this objective, we have analysed some concepts of brake systems seeking to detect which of them would best adapt to the off-road vehicle in question, from which we have chosen the disc brake. The collection of the car data was done considering the weight, the dimensions between the axis, and the position of the gravity center, in order to obtain fundamental information to carry out the dimensioning of the chosen brake system. In this project, we have opted for changing the material used in the making of the brake system used in the previous models of the off-road vehicles of FAHOR Sinuelo Baja team, opting from not using the AISI 420 martensitic stainless steel but using gray cast iron instead, also modifying the dimensions of the front brake disk enlarging the external diameter in 6% and the thickness in 22% to provide ideal dimensions for the system, increasing its efficiency and reliability. Through the simulation done by the Ansys, it was possible to analyse the resistance of the materials used, aiming at proving that the project meets the requirements, prioritizing the safety of the driver and the passersby. Besides the use of the software to simulate the performance with the changes in the project, we had some practical tests carried out to compare the old model and the one used in this project, taking into consideration the material and the sizing, to compare the efficiency of the components. At the end, we have concluded that both the changes on the material and the dimensioning were positive, allowing us to achieve the proposed goal, showing efficiency, good performance and safety.

Key words: disk brake, off-road vehicle, safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Equipe Sinuelo	16
Figura 2 - Tendências de bloqueio das rodas do veículo	17
Figura 3 - Freio automotivo.....	18
Figura 4 - Sistema do pedal de freio	19
Figura 5 - Cilindro mestre.....	20
Figura 6 - Disco de freio.....	21
Figura 7 - Pinça fixa	22
Figura 8 - Pinça flutuante	22
Figura 9 - Pastilha de freio	23
Figura 10 - Freio a tambor	24
Figura 11 - Freio a tambor	25
Figura 12 - Componentes do sistema ABS	27
Figura 13- Dimensões básicas do veículo	29
Figura 14 - Análise do disco de freio dianteiro	40
Figura 15 - Análise do disco de freio traseiro	40
Figura 16 - Mangueira Aeroquip	41
Figura 17 - Pinça de freio dianteiro	41
Figura 18 - Pinça de freio traseiro	41
Figura 19 – Cilindro de freio	42
Figura 20 - Disco de freio dianteiro	42
Figura 21 - Disco de freio traseiro	43
Figura 22 - Dimensionamento do pedal.....	43
Figura 23 - Gráfico de desempenho de frenagem	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DA PESQUISA	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 OBJETIVO GERAL	13
1.3.1 Objetivos específicos	13
1.4 ESCOPO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	14
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PROJETO SAE BRASIL BAJA – EQUIPE SINUELO FAHOR.....	15
2.2 SISTEMA DE FREIO	16
2.3 PEDAL DE ACIONAMENTO	18
2.4 CILINDRO MESTRE	19
2.5 SISTEMA DE FREIO A DISCO.....	20
2.5.3 Pinça de freio	21
2.5.4 Pastilhas de freio	22
2.5.5 Disco de freio	23
2.6 SISTEMA DE FREIO A TAMBOR.....	24
2.7 FLUÍDO DE FREIO	25
2.8 ATRITO DO SOLO COM O PNEU.....	26
2.9 SISTEMA ANTIBLOQUEIO (ANTILOCK BRAKING SYSTEMS - ABS).....	26
2.10 NORMAS DE SEGURANÇA SAE BRASIL	27
2.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FREIO.....	28
3. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	33
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	33
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1 MEMORIAL DE CÁLCULO.....	35
4.1.1 Dimensionamento do sistema de freio na dianteira	36
4.1.2 Dimensionamento do sistema de freio na traseira	38
4.2 ANÁLISE DO MATERIAL DO DISCO	40
4.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE FREIO	41
4.4 DETALHAMENTO DO SISTEMA DE FREIO	42
4.5 TESTES COM O VEÍCULO	43
5. CONCLUSÃO	45
SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Os veículos automotores são constituídos por vários sistemas que cumprem funções distintas visando atender à função global de transportar passageiros e cargas com segurança.

Dentre esses sistemas destaca-se o sistema de freio que tem por função efetuar a frenagem do veículo. Trata-se de uma função e que obedece a requisitos rigorosos de segurança.

A Faculdade Horizontina – FAHOR participa de uma competição a nível regional e outra a nível nacional promovida pela SAE Brasil que reúne equipes dos cursos de Engenharia Mecânica do Brasil, onde são apresentados os projetos de veículos de competição *offroad* Baja.

Em cada edição, as equipes participantes buscam aprimorar seus projetos, visando à aplicação de novas tecnologias, promovendo variações em todos os seus sistemas, dentre eles o Sistema de Freios.

Dessa maneira, a problemática desta pesquisa trata da necessidade de garantir maior eficiência e segurança ao sistema de freio em relação ao módulo atualmente utilizado pela equipe de Baja da FAHOR.

1.2 JUSTIFICATIVA

As competições coordenadas pela SAE Brasil, desafiam os acadêmicos a colocarem a teoria das salas de aula em prática, desenvolvendo projetos de veículos do tipo *offroad* - Baja.

Durante a competição, os projetos são apresentados para clientes fictícios. Esses clientes requerem que os veículos estejam de acordo com as normas que a SAE Brasil estabelece. Na competição, juízes avaliam todos os sistemas do veículo.

Aqueles que atendem as normas de segurança são classificados para participarem de um enduro de resistência, validando assim o melhor projeto teórico e prático.

A instituição de ensino FAHOR possui uma equipe de Baja, chamada Sinuelo FAHOR de Baja. A Equipe Sinuelo FAHOR de Baja está em constante evolução, tendo alcançado resultados expressivos até o momento. A sua busca crescente por

aprimoramento, aliada a inovação propiciada por correções em detalhes percebidos no decorrer das competições, refletem os resultados alcançados.

Uma das dificuldades enfrentadas pela equipe nas últimas competições se deu em relação ao sistema de freio adotado, onde o mesmo teve uma perda de eficiência considerável ao longo das provas em que participava, como a perda de pressão das pastilhas em contato com o disco de freio, propiciando desgaste prematuro.

Este trabalho busca realizar o dimensionamento de um sistema de freio para a equipe, objetivando que o mesmo realize com eficiência a sua função, trazendo maior segurança para o piloto, assim como para as demais equipes e expectadores, elaborando um sistema que esteja dentro das normas que a competição requer, e que seja de custo acessível para a equipe adquirir e manufaturar seu produto, buscando alcançar patamares de maior destaque no âmbito regional e nacional.

O trabalho tem importância significativa na área de engenharia mecânica, pois trata do dimensionamento de um sistema de freio, item extremamente importante no conjunto mecânico de um veículo, mesmo este sendo veículo de pequeno porte, como é o caso do veículo objeto do estudo. As premissas do dimensionamento do sistema de freios podem ser utilizadas em veículos de grande porte, além de colocarem em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

1.3 OBJETIVO GERAL

Dimensionar um sistema de freio, que irá realizar a frenagem de acordo com as normas que a competição impõe, trazendo maior segurança para todos que estão próximos ao veículo e principalmente ao piloto.

1.3.1 Objetivos específicos

- Elaborar o conceito de um novo sistema de freio;
- Definir os requisitos de dimensionamento para o novo sistema de freio;
- Realizar análise da resistência do material do disco de freio;
- Elaborar os desenhos detalhados do novo sistema de freio;
- Comparar em termos de eficiência o novo sistema de freio com o atualmente utilizado.

1.4 ESCOPO E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Neste trabalho será apresentado o dimensionamento de um novo sistema de freio para um veículo fora de estrada (*offroad*), atendendo os requisitos de segurança e ergonomia que a SAE Brasil estabelece.

O trabalho em sua fase final atingirá o nível de dimensionamento ideal, onde resultará em uma relação de componentes através do desenvolvimento e embasamento teórico. Estes componentes serão colocados em testes práticos validando-os para as competições em que o Baja irá participar.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Além do presente capítulo, no qual apresenta-se o problema de pesquisa, a justificativa, os objetivos e a delimitação do trabalho, este relatório está composto por mais quatro capítulos.

No capítulo 2, é abordado o referencial teórico, apresentando os principais conceitos existentes no mercado, necessários para a elaboração do dimensionamento do sistema de freio.

No capítulo 3, apresenta-se o método de pesquisa utilizado no presente trabalho. Ainda, nesse capítulo, a estratégia, o delineamento da pesquisa, assim como as atividades realizadas são discutidas detalhadamente.

No capítulo 4, apresenta-se o dimensionamento do sistema de freio, uma análise através do software Ansys e o resultado de testes práticos.

E na última parte do trabalho abordam-se as conclusões do trabalho e pr para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, o trabalho aborda o projeto Baja, e suas normas de segurança para o uso do sistema de freios. Traz uma análise dos tipos de sistemas de freio encontrados no mercado e aborda também a eficiência da frenagem em diferentes pisos de rodagem.

2.1 PROJETO SAE BRASIL BAJA – EQUIPE SINUELO FAHOR

O projeto SAE Baja é uma competição entre Instituições de Ensino Superior de Engenharia, que desafia estudantes através do projeto e desenvolvimento de um veículo *offroad*, visando à aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula (SAE BRASIL, 1994).

O objetivo das equipes é projetar e construir um protótipo recreativo *offroad*, robusto, monoposto, visando sua comercialização ao público entusiasta e não profissional. O veículo deve ser seguro, facilmente transportável, de simples operação e manutenção. Deve ser capaz de vencer terrenos acidentados em todas as condições climáticas sem apresentar danos (SAE BRASIL, 1994).

Cada equipe compete para ter seu projeto aceito por um fabricante fictício. Para isso, os acadêmicos devem trabalhar em equipe para projetar, construir, testar, promover e competir com um veículo que respeite as regras impostas, além de conseguir suporte financeiro para o projeto. Tudo deve ser executado respeitando sempre as prioridades acadêmicas (SAE BRASIL, 1994).

O veículo desenvolvido deve ser atrativo, pelo seu visual, desempenho, confiabilidade e facilidade de operação e manutenção. Além disso, deve ser fabricado com ferramental padrão, requerendo pouca ou nenhuma mão-de-obra especializada. A operação segura do veículo deve ser uma consideração essencial na definição do projeto (SAE BRASIL, 1994).

O Baja deve ser capaz de operar seguramente sobre terrenos acidentados, incluindo pedras, areia, lama, troncos de árvores, grandes inclinações e lâminas de água em qualquer ou todas as combinações e em qualquer condição climática, também deverá ser capaz de transportar um piloto de até 113,4 kg (SAE BRASIL, 1994).

A Equipe SINUELO-FAHOR (Figura 1) é formada por cerca de 20 acadêmicos voluntários dos cursos de Engenharia Mecânica e Engenharia de

Produção da Faculdade Horizontina - FAHOR. A Equipe nasceu em abril de 2006, através da iniciativa do Professor Daniel Werner Zacher, membro da diretoria da SAE Brasil – Seção Porto Alegre, ele incentivou alguns estudantes a montarem uma equipe de Baja para participar de competições e eventos, focando principalmente a Competição SAE Brasil – Petrobrás de Baja (EQUIPE SINUELO, 2006).

Esta experiência traz consigo maturidade e conhecimento ao grupo que compõe a equipe. O nome “SINUELO” tem sua origem do vocabulário típico do Rio Grande do Sul, significando o “cavalo manso que serve de guia ou reponte, para os outros animais xucros” (FERREIRA, 2008). Esta expressão demonstra a ideia de confiabilidade, qualidade e principalmente liderança (EQUIPE SINUELO, 2006).



Figura 1 - Equipe Sinuelo. (2011).

2.2 SISTEMA DE FREIO

O sistema de freio é uma combinação de peças cuja função é reduzir progressivamente a velocidade de um veículo em movimento, ou fazê-lo parar, ou conservá-lo imóvel se já estiver parado (FERREIRA, 2008).

Os veículos automotores são divididos em vários subsistemas, um deles, denominado sistema de freio constitui-se em uma das partes de maior importância e vitais para a segurança dos veículos. Um veículo demanda de tempo e espaço para atingir uma velocidade razoável, já o sistema de freios deverá em tempo e distância muito menores, reduzirem essa velocidade a zero, ou diminuí-la até a velocidade desejada. Se os mecanismos encarregados de tracionar o veículo não forem eficientes, as consequências estarão relacionadas com o nível de desempenho do veículo. Já na frenagem, se isso ocorrer, na melhor das hipóteses, haverá o

aumento da distância de parada, ou falta de dirigibilidade do veículo, com consequências imprevisíveis (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

O processo de frenagem dos veículos (principalmente os de grande porte) possui dois momentos: o primeiro, enquanto o pé do motorista sai do acelerador e chega ao pedal do freio, é conhecido como freio motor e o segundo que corresponde à pressão exercida no pedal do freio. Para executar a frenagem é sempre aconselhável a utilização do freio motor, assim como a redução de marchas antes ou durante o acionamento do pedal de freio, de modo a evitar o bloqueio de rodas, que pode provocar a perda de controle do veículo. A (Figura 2) ilustra o que pode acontecer dentro do intervalo de apenas 0,5 s após o bloqueio (x) de uma ou mais rodas no processo de frenagem (SILVA, 2001).

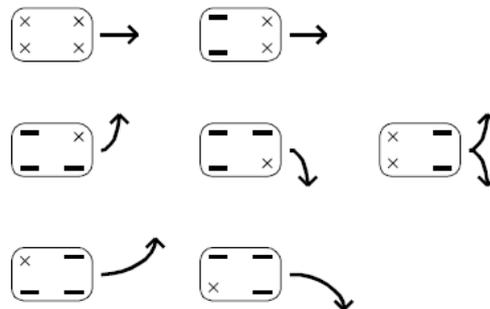


Figura 2 - Tendências de bloqueio das rodas do veículo. Fonte: Silva (2001).

Os sistemas de freio possuem como função primordial a desaceleração do veículo, transformando sua energia cinética em térmica, dissipando-a para o meio ambiente. Para este sistema apresentar eficiência, deverá apresentar como características a resistência à erosão, pouco peso, elevada vida útil, redução do ruído e taxa de desgaste, porém com uma relação aceitável entre custo e desempenho (LIMPERT; BLAU apud LUCIANO, 2005).

Além de considerar as transformações de energia cinética em térmica os engenheiros devem observar alguns fatores para a realização do projeto como a estabilidade de frenagem, distribuição de forças de freio, o pneu utilizado e seu estado de conservação, o atrito do terreno onde o veículo irá trafegar, a frenagem em curvas, a força aplicada no pedal, a distância de travagem, paradas bruscas, e principalmente o desgaste dos freios prevendo sua vida útil (LIMPERT, 1999).

Uma das variáveis de fundamental importância para o sistema de freios é a aceleração, depende basicamente do nível de conforto requerido na frenagem, da segurança e dos dispositivos que a executam. Um freio perfeitamente regulado, com

pneus novos e calibrado, no plano, estrada asfaltada com rugosidade normal e seca, carga bem distribuída, a aceleração é de -6 m/s^2 para um sistema de freio a tambor e de -7 m/s^2 para um sistema com freio a disco e essa aceleração é um fator de projeto e deverá estar apropriada as condições do veículo (DIAS apud ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

O sistema de freio (Figura 3) é constituído por diversos componentes que formam seu layout e esses componentes normalmente são: Pedal de acionamento, cilindro mestre, mangueiras, reservatório do fluido, e um rotor que pode ser classificado quanto a sua geometria como freio a disco ou freio a tambor (CROLLA, 2009).

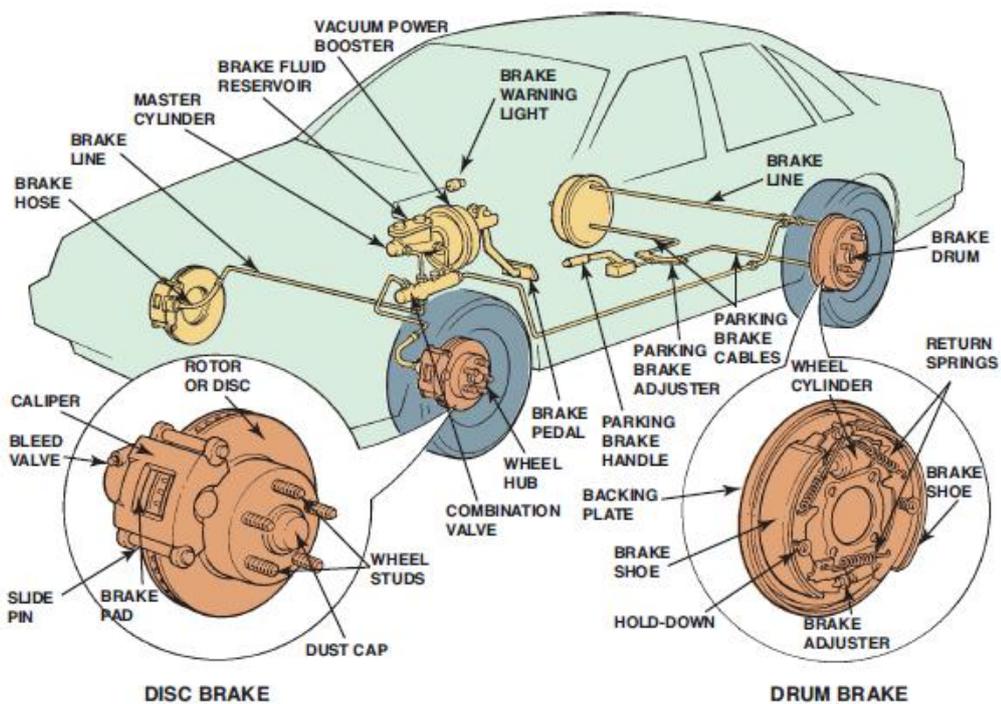


Figura 3 - Freio automotivo. Fonte: Halderman (2012).

2.3 PEDAL DE ACIONAMENTO

O pedal de freio é responsável direto pelo início do processo de frenagem de um veículo, onde uma vez acionado o pedal, move-se o pistão do cilindro mestre, que comprime o fluido que está em seu compartimento, e assim promove a frenagem (LIMPERT, 1999).

O dimensionamento do sistema de alavancas (razão entre L1 e L2) do pedal de freio (Figura 4) deve ser realizado a partir da pressão que o sistema requer em freadas de emergência. O mecanismo de acionamento deve ser projetado em

função de fatores ergonômicos para o sexo feminino, já que na atualidade, as mulheres são grandes consumidoras de veículos automotores. Não se pode esquecer que, com o avanço da ciência, a idade média das populações nas regiões mais desenvolvidas cresceu, o que implica que pessoas cada vez mais idosas são consumidoras de automóveis (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

Ao ser dimensionado o pedal de freio deve ser observado para que a relação força/desaceleração fique entre 440 e 490N/g ($g = \text{aceleração da gravidade } 9,8\text{m/s}^2$) para sistemas não servo assistidos, ou entre 220 e 330 N/g para sistemas servo assistidos. Já os deslocamentos do pedal não devem exceder 90 mm (L 1) e 150 mm (L 2). Os valores são estabelecidos em função dos valores máximos de força no pé direito para homens e mulheres (823 N e 445N, respectivamente), e da velocidade de deslocamento do mesmo, que é de aproximadamente 1m/s (LIMPERT, 1999).

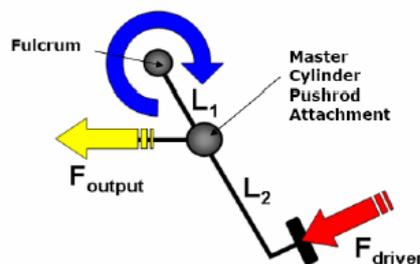


Figura 4 - Sistema do pedal de freio. Fonte: Halderman (2012).

Em uma situação em que o pedal de freio requer uma ou mais vezes ser acionado, ocorre a indicação de fuga de fluido, ou problemas com os retentores nos cilindros de rodas ou no cilindro mestre. Outro fator a ser observado é a existência de ar na canalização hidráulica do freio, para eliminar este fator deverá ser realizada uma “sangria” no sistema, ou seja, retirar o ar deste sistema. Esses testes devem ser feitos com o carro parado e o motor ligado se possuir servo freio assistido com vácuo. Nos veículos com freio assistido a vácuo e o motor desligado, depois de acionado duas ou três vezes em sequência, o pedal fica mais duro, dado que a câmara de vácuo tem a sua depressão diminuída em cada acionamento (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

2.4 CILINDRO MESTRE

Este componente geralmente é encontrado em automóveis comerciais leves em alguns caminhões leves e é um dos responsáveis diretos após ser acionado pelo pedal a dar o início no processo de frenagem de um veículo. Uma vez acionado o pedal de freio, o pistão do cilindro mestre, passa a comprimir o fluido que esta em seu compartimento, e a partir dessa primeira compressão iniciar a geração de pressão em todo o circuito de atuação hidráulica. Sua função também é a de manter a pressão residual nos circuitos de freio (LIMPERT, 1999).

Os regulamentos de segurança exigem que veículos sejam equipados com um sistema que efetue a frenagem das rodas dianteiras e traseiras de maneira independente. Uma forma adota o uso de dois cilindros mestres, um responsável por realizar a frenagem das rodas dianteiras e o outro pelas traseiras. Outra forma utiliza um cilindro mestre (Figura 5) com dois pistões alojados dentro de um furo único. Cada seção da unidade atuando com único cilindro e o pistão mais próximo do pedal é chamado de pistão principal, enquanto o outro é chamado de pistão secundário (CROLLA, 2009).

Caso ocorra um vazamento no interior do circuito primário, o pistão primário avança seu curso total indo ao encontro do êmbolo secundário. A força da haste é transmitida diretamente para o êmbolo secundário através do contato dos pistões, permitindo assim que o êmbolo secundário possa pressurizar o circuito secundário. Inversamente, se ocorrer à falha no circuito secundário, os pistões se movimentarão sem muita resistência. Basta continuar apertando o pedal e vencer a força da mola proveniente do segundo cilindro até que todo o conjunto de pistões encoste no fundo do cilindro mestre. O curso do primeiro cilindro fica assim inalterado e a pressão é acumulada normalmente no circuito primário (HALDERMAN, 2012.).

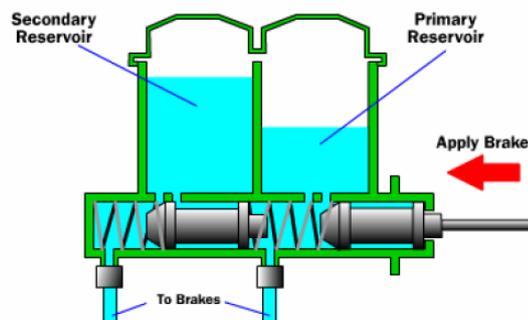


Figura 5 - Cilindro mestre. Fonte: Halderman (2012).

2.5 SISTEMA DE FREIO A DISCO

Este sistema (Figura 6) é composto por disco, o qual está montado fixamente sobre o eixo que liga a roda. Para realizar o travamento do mesmo é acoplado uma pinça, o qual possui um cilindro que comprime as pastilhas de freio contra o disco realizando a seu travamento. Este sistema normalmente é utilizado nos eixos dianteiros de veículos de pequeno porte, devido o seu custo de fabricação ser mais elevado em relação ao sistema de freio a tambor, que normalmente é utilizado nos eixos traseiros (LIMPERT, 1999).

O sistema de freio a disco é composto basicamente por três componentes básicos: o disco, a pinça, e as pastilhas de freio (GONÇALVES, 2004).

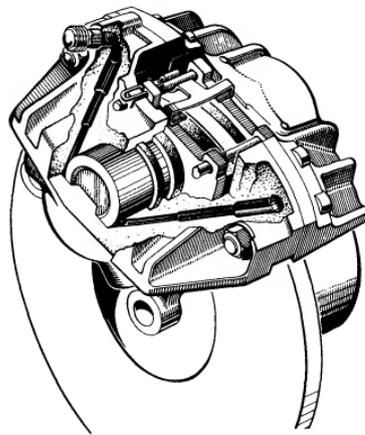


Figura 6 - Disco de freio. Fonte: Limpert (1999).

2.5.3 Pinça de freio

A pinça é um dispositivo do veículo, está fixado em sua estrutura, e é constituído por um ou mais pistões que realizam a compressão das pastilhas no disco de freio. Quanto ao acionamento, a pinça pode ser classificada como pneumática, empregada em veículos ferroviários e alguns freios de caminhões e ônibus; hidráulica, usada na maioria dos veículos comerciais de pequeno porte; ou elétrico magnético, por esforço centrífugo. (JUNIOR, 2012).

Quanto a forma que os pistões são alojados na pinça, ela pode ser classificada em flutuante (Figura 7) ou fixa (Figura 8). As pinças fixas contêm um ou mais pares de pistões que atuam de forma simultânea em cada lado do disco. Desta forma, permitem que os pistões recebam a mesma pressão do sistema. (GONÇALVES, 2004).

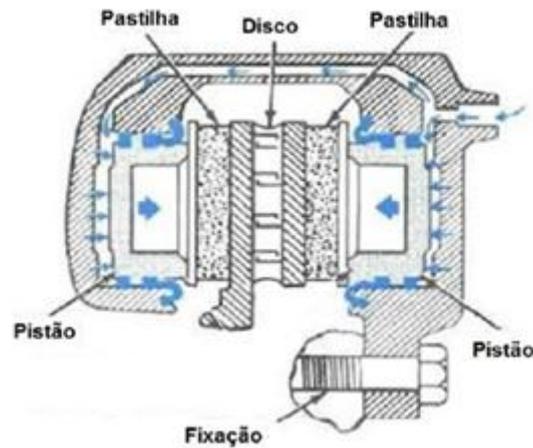


Figura 7 - Pinça fixa. Fonte: Rehkopf e Halderman *apud* Pittel (2011).

As pinças fixas foram sendo substituídas a partir da década de 90 pelas flutuantes, devido principalmente a fatores como redução de peso, custo e espaço físico. A montagem do pistão é localizada em apenas um lado da pinça, aplicando a pressão do sistema em toda a área da pastilha. Assim que o material de fricção toca no disco, por reação, faz com que a pastilha externa entre também em contato com o disco realizando a sua travagem (REHKOPF, HALDERMAN *apud* PITTEL, 2011).

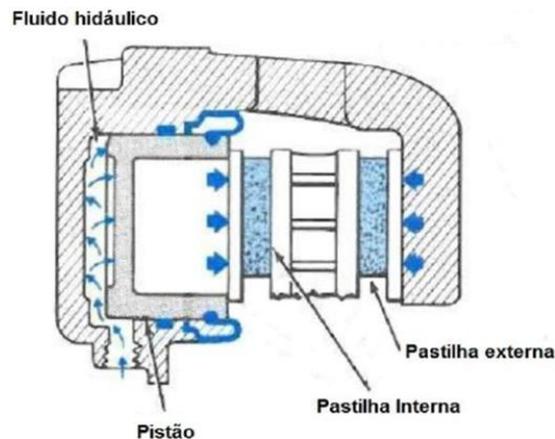


Figura 8 - Pinça flutuante. Fonte: Rehkopf; Halderman *apud* Pittel (2011).

2.5.4 Pastilhas de freio

Para facilitar a manutenção, o material de atrito deve localizar-se nas pastilhas, e não nos discos. As pastilhas (Figura 9) são compostos químicos constituídos de vários elementos, estes elementos, são formados por fibras e material de atrito na forma de pó. As empresas especializadas realizam diversos

testes em laboratório, para constituir a pastilha de maior resistência, durabilidade, e de menor custo, apresentam um coeficiente de atrito entre 0,35 a 0,45 (LIMPERT, 1999).



Figura 9 - Pastilha de freio. Fonte: Limpert (1999).

2.5.5 Disco de freio

Os discos de freio sofrem com um elevado torque, normalmente até duas ou três vezes maior do que o do motor, acarretando um aumento da temperatura dos discos, necessitando de uma grande área de resfriamento. Entretanto parte de sua superfície é utilizada como superfície de atrito a cada instante (JUNIOR, 2012).

O sucesso do freio a disco se deve a sua pouca sensibilidade ao *fading* (quando ocorre pouca dissipação de calor no disco as pastilhas reduzem seu coeficiente de atrito e o piloto deverá acionar mais vezes o sistema de freio) . Este sistema possui uma excelente refrigeração, já que a sua forma construtiva expõe diretamente a região de atrito do disco com o ar. Devido à sua forma de manufatura, é possível projetar com uma espessura elevada e agregar desta forma canais internos radiais para ventilação. Este tipo de construção, denominada de disco ventilado, permite que o disco trabalhe como um ventilador centrífugo, aumentando significativamente a eficiência da refrigeração. Nos discos, o efeito das deformações térmicas, que também são causadoras de *fading* em freios a tambor, não tem influência na forma da região de contato pastilha/disco, já que o disco é plano (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

Normalmente o disco de freio é manufaturado em ferro fundido, pois apresenta baixo coeficiente de dilatação térmica, além de apresentar alto coeficiente de atrito. Ele apresenta basicamente duas formas construtivas: sólido e ventilado. O disco sólido, normalmente é utilizado em menores potências. Para o disco ventilado, a otimização dos canais de ventilação confere a cada disco uma forma diferenciada.

Variações de formato nos canais de ventilação permitem a otimização do fluxo de ar e, por conseguinte, a refrigeração do disco e estes canais realizam a remoção de impurezas provenientes do material das pastilhas. Isto aumenta o rendimento de frenagem e evita a redução de atrito por aquecimento (GONÇALVES, 2004).

2.6 SISTEMA DE FREIO A TAMBOR

São caracterizados pelo uso de sapatas de freio constituídas de material de atrito, que são pressionados radicalmente contra o tambor. É utilizado nos EUA e no Brasil devido ao alto fator de frenagem e a fácil incorporação de freio de estacionamento (GILLESPIE, 1992).

O freio a tambor (Figura 10) consiste em duas sapatas pivotadas em dois pinos. A aplicação de uma força de atuação (P_a) empurra a lona contra o tambor, gerando uma força de atrito cuja magnitude é uma a carga normal (N_A ou N_B) ao coeficiente de atrito (μ) da lona de freio contra o tambor. A energia do movimento que deve ser absorvida no atrito, deve também ser dissipada pelo tambor de freio na forma de calor (BONIATTI, 2003).

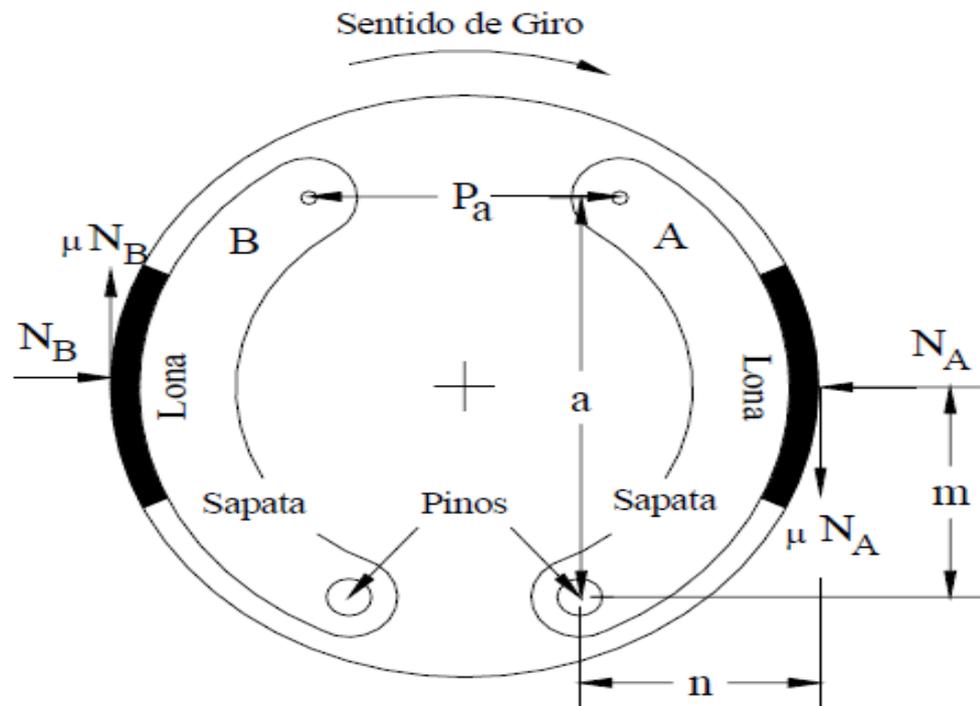


Figura 10 - Freio a tambor. Fonte: Boniatti (2003).

Este sistema (Figura 11) por se tratar de uma estrutura fechada possui dificuldade de dissipar o calor, que resulta em aumento de temperatura atingindo o

fading. Com este aumento da temperatura o tambor se dilata afastando as lonas, conseqüentemente ele requer um maior curso do pedal para aplicar o torque de frenagem equivalente (HALDERMAN apud INFANTINI, 2008).

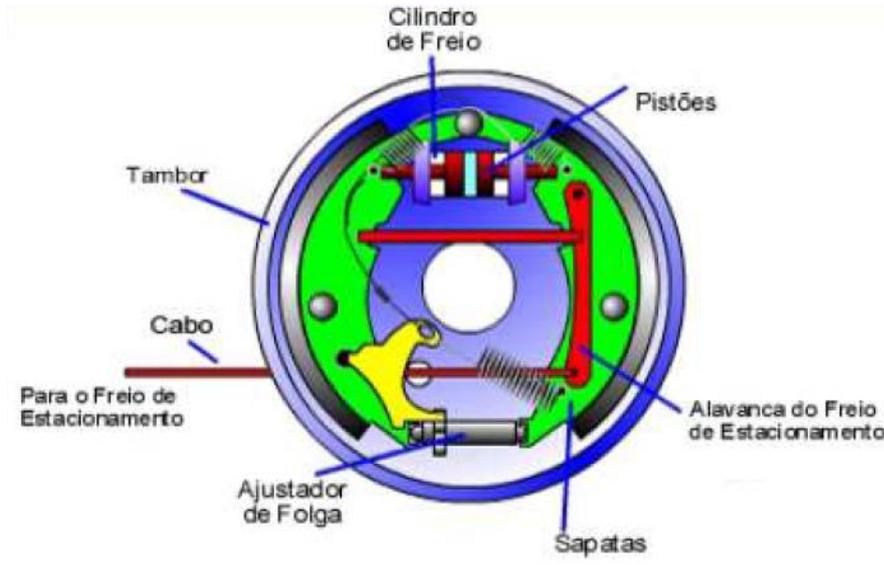


Figura 11 - Freio a tambor. Fonte: Limpert (1999).

2.7 FLUÍDO DE FREIO

O fluído consiste num líquido sintético que não ataca a borracha e, não danifica os vedadores dos freios. Tem por função transmitir a pressão no sistema, acionando os cilindros de roda, para assim efetuar a frenagem do veículo. O fluído é armazenado em um reservatório situado em local de boa visibilidade e fácil acesso. A necessidade de completar o nível do reservatório indica que existe algum ponto de vazamento, necessitando revisão geral do sistema (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

O mesmo autor relata que o emprego de pastilhas de metal sinterizado e conseqüente com alta condutividade térmica (baixo isolamento térmico), aquece o fluido de freio ocasionando a sua vaporização. A presença deste vapor no sistema de acionamento hidráulico pode causar o travamento dos freios e a perda da ação, levando os fabricantes de fluidos de freio a desenvolver em novos produtos com grande resistência a vaporização. Outro aspecto importante deste aquecimento é que a temperatura também causa a deterioração dos selos de borracha dos cilindros hidráulicos das rodas, podendo levar ao travamento dos pistões dos cilindros hidráulicos das pinças, pelo acúmulo de poeira e pó de pastilha.

2.8 ATRITO DO SOLO COM O PNEU

O atrito é ocasionado pela transmissão de esforços entre o pneu e a pista, esforços que ocorrem durante os processos de frenagem e aceleração ou quando da absorção de forças laterais, como a força centrípeta em curvas. Depende do atrito disponível no contato, também chamado aderência entre pneu e pista. Quanto maior for o coeficiente de atrito (μ) da pista de rolagem (Tabela 1), maior será a capacidade de frenagem do veículo em uma menor distância, contrapondo quanto menor o coeficiente de atrito maior será a derrapagem maior equivalerá a distância a ser percorrida pelo veículo (ROSA; LEAL; NICOLAZZI, 2008).

A aderência pode ser atribuída, principalmente, a duas diferentes formas de interação entre a borracha e o piso: adesão molecular, que depende dos materiais em contato, e deformação da borracha em contato com as irregularidades do solo, que propicia uma interpenetração entre ambas. A umidade da pista também altera a aderência e quanto maior for a umidade da pista, menor será sua aderência (ROSA; LEAL e NICOLAZZI, 2008).

Tabela 1 - Coeficiente de atrito das pistas de rolagem.

Tipo de Pista	μ
Asfalto	0,60 a 0,95
Pedra britada	0,50 a 0,65
Terra seca	0,50 a 0,70
Terra úmida	0,50 a 0,60
Areia	0,20 a 0,30
Neve	0,30 a 0,35

Fonte: Rosa; Leal; Nicolazzi (2008).

2.9 SISTEMA ANTIBLOQUEIO (Antilock braking systems - ABS)

São dispositivos de controle do sistema de freio (Figura 12), que evitam o bloqueio das rodas na frenagem, mantendo a dirigibilidade e a estabilidade do veículo em uma desaceleração, reduzindo as distâncias de frenagem (BOSCH, 2005).

São instalados sensores nas rodas que comandam válvulas magnéticas que são instaladas entre o cilindro mestre e o cilindro da roda. Caso ocorra uma desaceleração abrupta da roda (risco de bloqueio), a pressão na roda não poderá

subir. O sensor irá ativar o comando de válvulas de entrada e saída e as deixará fechadas, mantendo a pressão constante (COSTA, 2002).

Mantendo a desaceleração, a válvula de saída deverá ser aberta, para reduzir a pressão. O fluido é bombeado de volta ao cilindro mestre pela bomba de retorno. A pressão no cilindro diminui e é aplicada uma menor força na pastilha, deixando a roda exercer seu movimento, este processo aumenta a estabilidade do veículo, deixando o sobre controle do motorista/piloto (COSTA, 2002.).

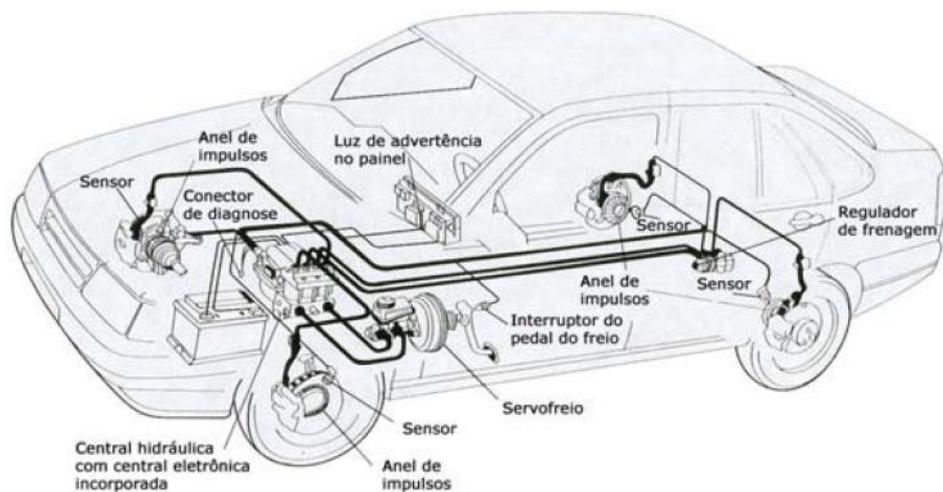


Figura 12 - Componentes do sistema ABS. Fonte: Costa (2002).

2.10 NORMAS DE SEGURANÇA SAE BRASIL

O carro deve ser equipado com um sistema de freio hidráulico que atua sobre todas as rodas e é operado por apenas um pé. Não são permitidos cabos entre o pedal e o cilindro mestre de freio. O sistema de freio deve ser capaz de travar as 4 rodas quando o carro estiver parado ou andando. Qualquer tipo de acionador de freio é permitido (SAE BRASIL, 2009).

O veículo deve ter pelo menos 2 sistemas hidráulicos independentes para o caso de um sinistro ou uma falha em qualquer ponto do sistema. Pois o freio deve ser mantido em pelo menos 2 rodas. Cada sistema hidráulico deve ter seu próprio reservatório separado, ou usar um represado. Linhas de freio de plástico não são permitidas (SAE BRASIL, 2009).

Conforme SAE Brasil (2009) o veículo deve estar equipado com luz de freio, de preferência uma marcada com SAE "S" ou "U" ou se não for certificada, como SAE J759, ela deve ser igual ou exceder esse padrão. Os times devem providenciar

documentação que certifique que a luz atende os requisitos padrões. Luzes originais automotivas podem ser usadas. Os juízes avaliarão se a luz atende ou não os requisitos. A luz de freio deve ser independente das chaves corta corrente e permanece funcionando o tempo todo.

O veículo será submetido à demonstração da capacidade de frenagem, antes de realizar as provas práticas. Neste caso, um piloto da equipe deve operá-lo, acelerando-o no espaço demarcado até velocidade alta o suficiente e aplicando o freio, de modo à travar as 4 rodas. Será aprovado, o veículo que reconhecidamente travar todas as rodas. Não obtendo sucesso, poderão ser executadas quantas tentativas forem necessárias. Até a aprovação, o veículo só pode ter o motor operado na área de teste (SAE BRASIL, 2009).

O funcionamento efetivo de todo o sistema de freio será verificado durante todo o evento. Se forem detectadas falhas o veículo será removido da competição até o problema for resolvido (SAE BRASIL 2009).

2.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FREIO

No dimensionamento do sistema de freio foi adotada a metodologia de Gillespie (1999). Nela é determinado realizar a coleta de informações estáticas Figura 13 e dinâmicas. Dentre as estáticas são destacadas a massa do veículo com o piloto, dimensões entre eixo e posição do centro de gravidade (CG) e a distância de frenagem. Nas informações dinâmicas é necessário determinar a velocidade inicial do veículo, neste sentido foi realizado testes com o mesmo conforme quadro 1, resultando em uma velocidade inicial de 9,5 m/s.

Distancia	Velocidade (m/s)
30m	9,7
	9,4
	9,4
	9,6
	9,3
MEDIAS	9,5

Quadro 1 – Velocidade inicial do veículo (2012).

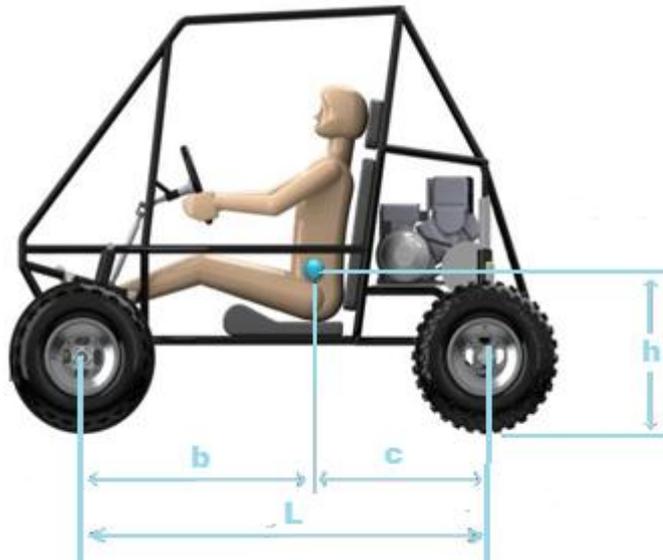


Figura 13- Dimensões básicas do veículo (2012).

Realizada está coleta de informações, parte-se para os cálculos estáticos e dinâmicos do sistema. Primeiro calcula-se o peso máximo do veículo, equação 1, e o estático sobre cada eixo, equação 2 e 3, levando em consideração a massa do piloto. Após é calculado a desaceleração máxima do veículo, equação 4. No terceiro passo é calculado a transferência de cargas dinâmicas entre os eixos dianteiro, equações 5.1 e 5.2, e traseiro, equação 6.1 e 6.2, para cada sistema é adotado a equação cuja representa a maior resultante.

$$W = m \cdot g \quad (1)$$

Onde:

W = Peso do veículo (N);

m = Massa total do veículo (kg);

g = Aceleração da gravidade (m/s^2).

$$W_{fs} = m \cdot (1 - x) \cdot g \quad (2)$$

Onde:

W_{fs} = Peso estático sobre o eixo dianteiro (N);

x = Razão entre a carga normal do eixo traseiro e o peso total do veículo.

$$W_{rs} = W - W_{fs} \quad (3)$$

Onde:

W_{rs} = Peso estático sobre o eixo traseiro (N).

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a_c \cdot \Delta S \quad (4)$$

Onde:

V^2 = Velocidade final (m/s);

V_0^2 = Velocidade inicial (m/s);

a_c = Desaceleração (m/s²);

ΔS = Distância percorrida (m).

$$W_f = W \cdot \left(\frac{c}{L} - \frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (5.1)$$

$$W_f = W_{fs} - W \cdot \left(\frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (5.2)$$

Onde:

W_f = Peso dinâmico no eixo dianteiro do veículo na frenagem (N);

c = Distância do CG ao eixo traseiro (m);

L = Distância entre eixos (m);

h = Altura do CG (m).

$$W_r = W \cdot \left(\frac{b}{L} + \frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (6.1)$$

$$W_r = W_{rs} + W \cdot \left(\frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right) \quad (6.2)$$

Onde:

W_r = Peso dinâmico no eixo traseiro do veículo na frenagem (N);

b = Distância do CG ao eixo dianteiro (m).

Definidos estes dados parte-se para determinar o momento torçor entre a roda e o disco de freio dianteiro e traseiro, para assim determinar a força máxima que deverá ser exercida pela pinça, equações 7 a 10, observando que para calcular a força transversal na roda mais carregada deverá ser utilizada para a dianteira e para a traseira a equação 7. Seguindo o principio da disciplina Mecânica dos Sólidos sobre o esforço que uma alavanca produz, onde maior o braço da alavanca menor será seu esforço, definiu-se o maior diâmetro do disco possível para montar no veículo, também observou-se a máxima espessura possível para alojar na pinça, desta forma diminuindo o curso de deslocamento do êmbolo.

$$F_p = W_f \cdot \mu \quad (7)$$

Onde:

F_p = Força transversal na roda mais carregada (N);

μ = Coeficiente de atrito pneu/solo.

$$M_{fp} = F_p \cdot R_p \quad (8)$$

Onde:

M_{fp} = Momento aplicado no disco nas rodas dianteiras (N.m);

F_p = Força (N);

R_p = Raio do pneu (m).

$$F_D = \frac{M_{fp}}{R_D} \quad (9)$$

Onde:

F_D = Força aplicada no disco (N);

R_D = Raio do disco (m).

$$F = F_D \cdot \mu \quad (10)$$

Onde:

F = Força aplicada nas pastilhas da pinça (N);

μ = Coeficiente de atrito nas pastilhas da pinça.

Para definir o sistema de freio (pinça e cilindro mestre) buscou-se adotar peças comerciais desta forma facilitando eventuais reposições. Para a dianteira foi optado pela aquisição de duas pinças do modelo da Motocicleta Honda Modelo CG 150, já para a traseira foi optado pela utilização de uma pinça travando assim as duas rodas, reduzindo assim peso caso fosse utilizado duas, neste sentido optou-se pelo modelo da Motocicleta Honda Falcon Modelo NX 400, devido que a mesma possui dois êmbolos aumentando assim a área de contato, reduzindo o esforço de acionamento do freio. Já para o cilindro optou-se pela utilização de duas unidades do modelo da Motocicleta Honda Falcon Modelo NX 400, uma para o acionamento na dianteira e o outro na traseira, para assim aumentar a confiabilidade do sistema.

Para comprovar que o mesmo terá o desempenho esperado foi calculado através da relação de áreas entre o êmbolo da pinça e o cilindro mestre a partir das equações 11 e 12. Para o dimensionamento do pedal, equação 13 observou-se aspectos de ergonomia, como a força máxima exercida no pedal.

$$P = \frac{F}{A \cdot n^{\circ}} \quad (11)$$

Onde:

P = Pressão (Pa);

A = Área do êmbolo da pinça (m²);

n^o = Número de êmbolos.

$$F_c = P \cdot A \quad (12)$$

Onde:

F_c = Força no cilindro mestre (N);

A = Área do cilindro mestre (m²).

$$F_p = \frac{F_c}{2} \quad (13)$$

Onde:

F_p = Relação de esforço do pedal;

F_c = Força no cilindro mestre (N);

F_a = Força de acionamento (N).

3. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O trabalho desenvolvido qualifica-se quanto a natureza, como do tipo pesquisa aplicada e como motivação, a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados, com o objetivo de construir para fins práticos, visando à solução mais ou menos imediata do problema encontrado na realidade (BARROS; LEHFELD, 1989).

Esta forma de pesquisa depende de dados que podem ser coletados de formas diferenciadas, tais como pesquisas de laboratórios, pesquisa de campo, entrevistas, gravações em áudio e/ou vídeo, diários, questionários, formulários, análise de documentos, etc (MICHEL, 2005).

Como procedimento de execução de pesquisa aplicada, definiu-se para o presente estudo o seguinte:

- Coletar informações sobre novos conceitos de sistema de freio, através de uma pesquisa bibliográfica, realizando um comparativo dentre os sistemas existentes e o que melhor se adapta ao veículo *offroad* Baja e que atende a norma da SAE Brasil, além de possuir um custo de fabricação baixo;
- Realizar o levantamento de dados relacionados ao veículo como: o peso; velocidade máxima; dimensões como altura, largura, comprimento e posição do centro de gravidade; coeficientes de atrito dos pneus com os diferentes tipos de solo. Posteriormente realizar os cálculos do dimensionamento do sistema de freio, analisando a desaceleração da frenagem, o esforço requerido no pedal, a durabilidade das pastilhas ou lonas de freio, considerando todos os parâmetros necessários para uma eventual fabricação;
- Comparar os desempenhos de frenagem em diferentes velocidades, com o dimensionamento de freio do Baja anterior para assim validar o dimensionamento do atual.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para realizar o dimensionamento utilizou-se um notebook modelo HP, processador Intel (R) Core (TM) i5-2410M CPU 2.30 GHz, memória instalada (RAM) 6 GB.

Para auxiliar nas análises de resistência do material do disco de freio, além de realizar os desenhos detalhados do projeto foram utilizadas técnicas de projeto assistido por computador que incluem análise estrutural através do software Ansys.

Utilizou-se um GPS para realizar os testes práticos do veículo, verificando deslocamento e velocidade máxima.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 MEMORIAL DE CÁLCULO

Neste capítulo serão apresentados os cálculos para o dimensionamento do sistema de freio, e consiste na aplicação das equações do capítulo 2.10. Dentre os sistemas de freio adotou-se o de freio a disco, pois se adapta melhor ao veículo *offroad*, além de possuir peças de reposição acessíveis para a equipe.

Peso máximo do veículo Equação 1:

$$\begin{aligned}W &= m \cdot g \\W &= 314,40 \cdot 9,80 \\W &= 3081,12 \text{ N}\end{aligned}$$

Peso sobre o eixo dianteiro Equação 2:

$$\begin{aligned}W_{fs} &= m \cdot (1 - x) \cdot g \\W_{fs} &= 314,40 \cdot (1 - 0,60) \cdot 9,80 \\W_{fs} &= 1232,45 \text{ N}\end{aligned}$$

Peso sobre o eixo traseiro Equação 3:

$$\begin{aligned}W_{rs} &= W - W_{fs} \\W_{rs} &= 3081,12 - 1232,45 \\W_{rs} &= 1848,67 \text{ N}\end{aligned}$$

Aceleração máxima em uma eventual freada, onde as rodas serão travadas em uma distância de 8 metros, não levando em consideração para este cálculo o tempo de reação do piloto para acionar o pedal até executar o travamento do disco de freio no disco, Equação 4:

$$\begin{aligned}V^2 &= V_0^2 + 2 \cdot a_c \cdot \Delta S \\(0)^2 &= (9,5)^2 + 2 \cdot a_c \cdot 8,00 \\a_c &= - 5,64 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Transferência de carga dinâmica para o eixo dianteiro Equações 5.1 e 5.2, respectivamente:

$$W_f = W \left(\frac{c}{L} - \frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right)$$

$$W_f = 3081,12 \cdot \left(\frac{0,61}{1,52} - \left(\frac{-5,64}{9,8} \cdot \frac{0,54}{1,52} \right) \right)$$

$$W_f = 1876,46 \text{ N}$$

$$W_f = W_{fs} - W \cdot \left(\frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right)$$

$$W_f = 1232,45 - 3081,12 \cdot \left(\frac{-5,64}{9,80} \cdot \frac{0,54}{1,52} \right)$$

$$W_f = 1866,90 \text{ N}$$

Transferência de carga dinâmica resultante no eixo traseiro Equações 6.1 e 6.2, respectivamente:

$$W_r = W \left(\frac{b}{L} + \frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right)$$

$$W_r = 3081,12 \cdot \left(\frac{0,90}{1,52} + \left(\frac{-5,64}{9,8} \cdot \frac{0,54}{1,52} \right) \right)$$

$$W_r = 1204,66 \text{ N}$$

$$W_r = W_{rs} + W \left(\frac{a_x}{g} \cdot \frac{h}{L} \right)$$

$$W_r = 1848,67 + 3081,12 \cdot \left(\frac{-5,64}{9,80} \cdot \frac{0,54}{1,52} \right)$$

$$W_r = 1214,22 \text{ N}$$

4.1.1 Dimensionamento do sistema de freio na dianteira

Força aplicada na roda mais carregada Equação 7:

$$F_p = W_f \cdot \mu$$

$$F_p = \frac{W_f 1876,46}{0,95}$$

$$F_p = 1782,63 \text{ N}$$

Momento aplicado no eixo na roda dianteira Equação 8:

$$M_{fP} = F_P \cdot R_p$$

$$M_{fP} = 1782,63 \cdot 0,28$$

$$M_{fP} = 490,22 \text{ N.m}$$

Força aplicada no disco Equação 9:

$$F_D = \frac{M_{fP}}{R_D}$$

$$F_D = \frac{490,22}{0,09}$$

$$F_D = 5602,56 \text{ N}$$

Força aplicada na pastilha da pinça Equação 10:

$$F = F_D \cdot \mu$$

$$F = 5602,56 \cdot 0,4$$

$$F = 2241,02 \text{ N}$$

Pressão no sistema Equação 11:

$$P = \frac{F}{A \cdot n^{\circ}}$$

$$P = \frac{2241,02}{0,001 \cdot 1}$$

$$P = 2241023,58 \text{ Pa}$$

Força aplicada no cilindro mestre Equação 12:

$$F_c = P \cdot A$$

$$F_c = 2241023,58 \cdot 0,001$$

$$F_c = 1120,51 \text{ N}$$

Relação de esforço no pedal de acionamento do sistema Equação 13:

$$F_p = \frac{F_c}{F_a}$$
$$F_p = \frac{\left(\frac{1120,51}{2}\right)}{250}$$
$$F_p = 2,24$$

4.1.2 Dimensionamento do sistema de freio na traseira

Força aplicada na roda mais carregada Equação 7:

$$F_p = W_r \cdot \mu$$
$$F_p = 1204,66 \cdot 0,95$$
$$F_p = 1144,43 \text{ N}$$

Momento aplicado no disco na roda dianteira Equação 8:

$$M_{fp} = F_p \cdot R_p$$
$$M_{fp} = 1144,43 \cdot 0,28$$
$$M_{fp} = 314,72 \text{ N.m}$$

Força aplicada no disco Equação 9:

$$F_D = \frac{M_{fp}}{R_D}$$
$$F_D = \frac{314,72}{0,12}$$
$$F_D = 2538,05 \text{ N}$$

Força aplicada na pastilha da pinça Equação 10:

$$F = F_D \cdot \mu$$
$$F = 2538,05 \cdot 0,4$$
$$F = 1015,22 \text{ N}$$

Pressão no sistema Equação 11:

$$P = \frac{F}{A \cdot n^{\circ}}$$
$$P = \frac{1015,22}{0,001 \cdot 2}$$
$$P = 564011,99 \text{ Pa}$$

Força aplicada no cilindro mestre Equação 12:

$$F_c = P \cdot A$$
$$F_c = 564011,99 \cdot 0,001$$
$$F_c = 564,01 \text{ N}$$

Relação de esforço no pedal de acionamento do sistema:

$$F_p = \frac{F_c}{F_a}$$
$$F_p = \frac{\left(\frac{564,01}{2}\right)}{250}$$
$$F_p = 1,13$$

Através dos resultados foi possível realizar o dimensionamento do sistema, sendo o diâmetro do disco de freio dianteiro 175 milímetros (mm), e do disco de freio traseiro 248 mm. Os cilindros deverão ser montados de maneira que apenas um pedal realize o seu acionamento, como os mesmos possuem regulagem, não constitui problema a diferença de pressão existente entre o sistema de freio na dianteira e na traseira. A relação de esforço deverá corresponder ao maior valor encontrado entre os dois sistemas (2,24 mm).

4.2 ANÁLISE DO MATERIAL DO DISCO

Após realizado o dimensionamento do disco de freio, partiu-se para uma análise estática do mesmo, empregando a força de aperto das pastilhas (resultado da Equação 10) empregada na frenagem e uma força contrária, sendo o momento torçor que ocorre no disco (resultado da Equação 8).

A partir das análises do disco de freio dianteiro, Figura 14, e do disco de freio traseiro, Figura 15, a tensão máxima atuante será de 40 e 31,7 MPa, respectivamente. Desta forma pode-se confirmar que o ferro fundido cinzento irá suportar o esforço solicitado pelo sistema de freio, considerando-se que seu limite ao escoamento é de 250 MPa e os resultados apresentados foram inferiores.

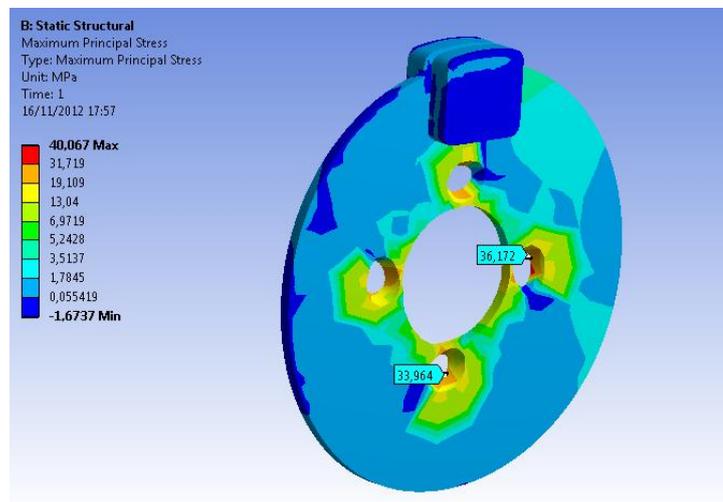


Figura 14 - Análise do disco de freio dianteiro (2012)

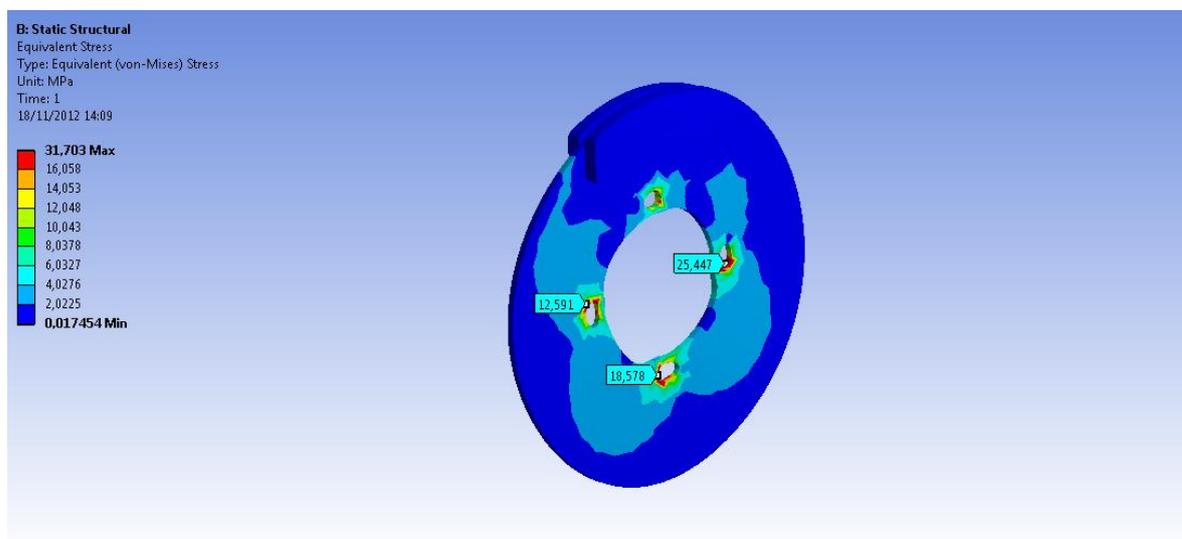


Figura 15 - Análise do disco de freio traseiro (2012).

4.3 COMPONENTES DO SISTEMA DE FREIO

As mangueiras, Figura 16 para transportar o fluido de freio serão do modelo Aeroquip, por possuírem baixa deformação quando submetidas à pressão interna do fluido de freio, uma vez que são fabricadas em politetrafluretileno com revestimento em malha de aço inoxidável, seu diâmetro interno será de 6,4mm ele é desconsiderado no dimensionamento do sistema de freio, onde terá a função de transportar o fluido.



Figura 16 - Mangueira Aeroquip (2012).

As pinças de freio na dianteira, Figura 17, serão do modelo da Motocicleta Honda Modelo CG 150, já para a traseira, Figura 18, será uma pinça do modelo da Motocicleta Honda Falcon Modelo NX 400.



Figura 17 - Pinça de freio dianteiro (2012).



Figura 18 - Pinça de freio traseiro (2012).

O cilindro de freio, Figura 19, será do modelo da Motocicleta Honda Falcon Modelo NX 400.



Figura 19 – Cilindro de freio (2012).

4.4 DETALHAMENTO DO SISTEMA DE FREIO

A seguir, está apresentado o dimensionamento dos discos de freio dianteiro e traseiro e as unidades são em milímetros (mm), Figuras 20 e 2.

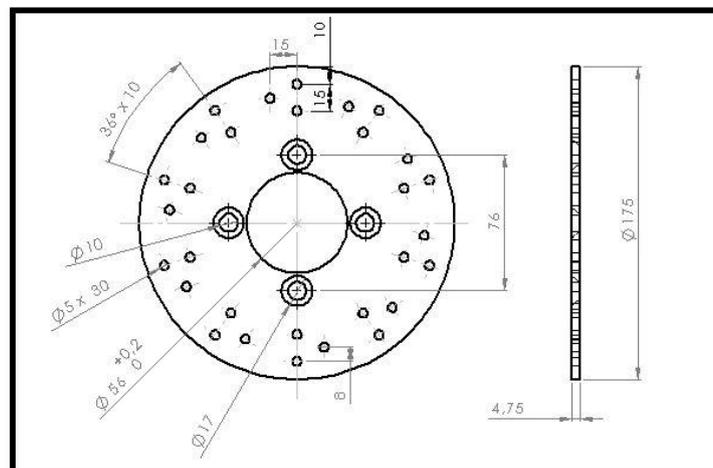


Figura 20 - Disco de freio dianteiro (2012).

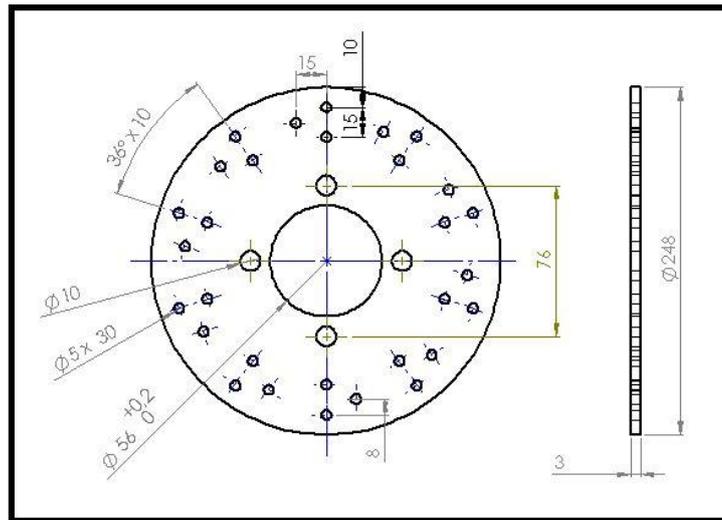


Figura 21 - Disco de freio traseiro (2012).

A Figura 22 representa o pedal, onde L_1 representa 33,3 milímetros e L_2 representa 150 milímetros.

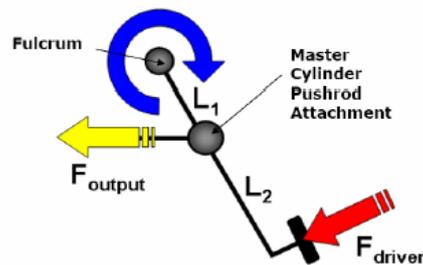


Figura 22 - Dimensionamento do pedal. Adaptado de Halderman (2012).

4.5 TESTES COM O VEÍCULO

Para executar os testes, buscou-se realizar um comparativo entre o sistema de freio anterior e o atual. Realizou-se em piso de rodagem de asfalto, sendo que o veículo percorria uma distância de 100 metros empregando sua máxima aceleração e após, uma frenagem brusca, verificando assim a máxima distância percorrida com as 4 rodas do veículo travadas. Estes dados foram coletados através de um GPS.

A figura a seguir mostra este comparativo, sendo que as marcações em vermelho no gráfico representam o sistema de freio anterior com os discos de aço inoxidável martensítico AISI 420 e as marcações em azul representam o sistema de freio dimensionado neste trabalho, com os discos de ferro fundido cinzento. Conclui-se que o sistema atual possui uma eficiência de cerca de 25% maior do que o anterior, Figura 23.

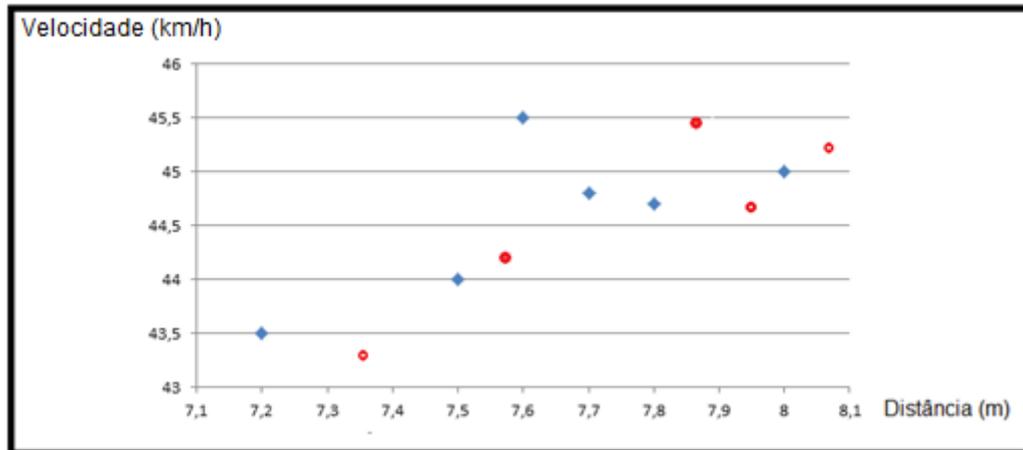


Figura 23 - Gráfico de desempenho de frenagem (2012).

Foi realizado outro teste, verificando o desgaste das pastilhas. O veículo rodou em uma pista durante quatro horas, sendo duas com o sistema de freio anterior e duas com o desenvolvido neste trabalho, com pastilhas do mesmo material.

As pastilhas do sistema de freio dimensionado neste trabalho tiveram um desgaste 25% menor do que as pastilhas do sistema anterior.

5. CONCLUSÃO

O trabalho que aqui finaliza, teve como propósito fundamental, dimensionar um sistema de freio para um veículo *offroad* Baja construído pela Equipe Sinuelo FAHOR de Baja, atendendo os requisitos que a norma da competição Baja SAE impõe aos veículos, visando maior segurança tanto para o piloto do veículo como para os indivíduos que possam estar nas proximidades deste.

Por meio da coleta de informações sobre os diversos sistemas de freio, realizou-se foi realizados comparativos para definir o que melhor se adaptaria ao veículo em questão, também buscou-se maximizar o potencial do sistema de freio escolhido.

Com as análises através do software e testes práticos, comprovou-se um aumento na confiabilidade do sistema em 25%, proporcionando maior durabilidade do equipamento.

Como principais resultados, pode-se apontar que os de frenagem cumprem os requisitos que as normas da competição impõem aos participantes, sendo que o sistema de freio adotado no trabalho executa o travamento das quatro rodas em uma resposta rápida em relação ao seu acionamento.

Por meio de cálculo da transferência de carga dinâmica entre os eixos possibilitou-se dimensionar o disco de freio ideal para executar a frenagem com um menor esforço de acionamento do pedal. Adotou-se uma redução em 55% do esforço de acionamento do pedal recomendado por Limper (1999), desta forma aumentando a ergonomia do piloto. Com o novo material do disco de freio e sua geometria as pastilhas de freio apresentarem um desgaste inferior as antigas em 25%, aumentando assim a confiabilidade do equipamento.

Através de análise realizada no software Ansys possibilitou-se confirmar as expectativas quanto a aplicação do material ferro fundido cinzento no disco de freio.

Por fim, os resultados abonam o sistema de freio desenvolvido no trabalho como confiável e seguro para o piloto e os indivíduos que estiverem ao seu redor, assim como ganho em conhecimento para a Equipe Sinuelo FAHOR de Baja.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Para estudos futuros, sugere-se pesquisas sobre a transferência de calor que ocorre entre a pastilha e o disco durante uma frenagem, buscando adequação a um modelo ideal de pastilha, bem como estudos abordando questão ergométrica do piloto quando do acionamento dos pedais, dimensionando o conjunto banco, pedal para que o mesmo tenha ergonomia satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, A.; LEHFELD, N. **Fundamentos de metodologia**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

BONIATTI, D. L. **Análise do comportamento de fadiga para estruturas submetidas a temperaturas elevadas aliadas a esforços cíclicos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2003.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. Trad. de H. Madjderey, G. W. Prokesch, E. de J. Zerbini, S. Pfeferman-São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

COSTA, P. G. **A Bíblia do Carro**. [S.l.]: [s.n.], 2002.

CROLLA, D. A. **Automotive Engineering**. United States of America: Elsevier Inc., 2009.

Equipe Sinuelo. **O QUE É A EQUIPE SINUELO FAHOR DE BAJA?** (2006). Disponível em: < http://baja.fahor.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=8&Itemid=23/>. Acesso em: Março 2012.

FERREIRA, A. B. de H. **Mini Aurélio**, 7.^a ed., Curitiba: Positivo, 2008.

GILLESPIE, T. D. **Fundamentals of vehicle dynamics**. Warrendale - EUA: SAE International, 1999.

GONÇALVES, J. **Otimização de parâmetros de materiais de atrito de sistemas de freio usando algoritmos genéticos**. 2004. Tese (Doutor em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2004.

HALDERMAN, J. D. **Automotive Technology**. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2012.

INFANTINI, M. B. **Variáveis de desempenho dos sistemas de freio**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2008.

JUNIOR, A. A. dos S. **Freios e embreagens por atrito** (2012). Disponível em: < www.fem.unicamp.br/~lafer/em718/arquivos/FreiosEmbreagens.doc>. Acesso em: Março 2012.

LIMPERT, R. **Brake design and safety**. 2. Ed. Warrendale - EUA: SAE International, 1999.

LUCIANO, M. A. **Reutilização de informações e conhecimentos para apoio ao projeto de material de atrito**. 2005. Pós-Graduação (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2005.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. São Paulo Atlas, 2005.

PITTEL, F. M. M. **A influência dos resíduos e do tempo de resfriamento do disco de freio sobre o comportamento do atrito em frenagens**. 2011. Monografia (Engenheiro Mecânico)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2011.

ROSA, da E.; LEAL, L. da C. M.; NICOLAZZI, L. C. **Uma introdução à modelagem quase estática de veículos automotores de rodas** (2008). Disponível em: < <http://www.grante.ufsc.br>>. Acesso em: Março 2012.

SAE BRASIL. **O que é o Baja?** (1994). Disponível em: < <http://www.saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/>>. Acesso em: Março 2012.

SAE BRASIL. **Regras e relatórios** (2009). Disponível em: < <http://www.saebrasil.org.br/eventos/ProgramasEstudantis/site/baja2012/index.html>>. Acesso em: Março 2012.

SILVA, P. C. M da. **Elementos dos sistemas de tráfego** (2001). Disponível em: < <http://vsites.unb.br/ft/enc/pagdisc/engtraf/apostilas/APOSTILA1.pdf>>. Acesso em: Março 2012.