



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA - CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Kelysson Gurgel Sales

**Avaliação de detecção de falhas e propostas de melhorias para sistema de freios de um
baja**

CARAÚBAS-RN

2023

Kelysson Gurgel Sales

**Avaliação de detecção de falhas e propostas de melhorias para sistema de freios de um
baja**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido – UFERSA,
Campus Caraúbas, para a obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

Orientador: Diego David Silva Diniz, Prof. Dr.

CARAÚBAS-RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS163 Sales, Kelysson Gurgel Sales.
a Avaliação de detecção de falhas e propostas de
melhorias para sistema de freios de um baja /
Kelysson Gurgel Sales Sales. - 2023.
70 f. : il.

Orientadora: David Silva Diniz Diniz.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2023.

1. sistema de freios. 2. tratamentos
termoquímicos. 3. discos de freio. 4. diagrama de
Ishikawa. I. Diniz, David Silva Diniz, orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Kelysson Gurgel Sales

**Avaliação de detecção de falhas e propostas de melhorias para sistema de freios de um
baja**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semiárido – UFERSA,
Campus Caraúbas, para a obtenção do título de
Engenheiro Mecânico.

APROVADA EM: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Diego David Silva Diniz, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Jackson De Brito Simões, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Wendell Albano, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

*Dedico este trabalho a minha Mãe Adriana
Patrícia Gurgel Sales*

E ao meu pai Carlos Ferreira de Sales.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Deus, por ter iluminado meu caminho, me guiando nos momentos difíceis, concedido discernimento durante todo o tempo da graduação.

Agradeço a minha família, pelo incentivo e empenho na formação da minha educação. Aos meus pais Carlos e Patricia, minha irmã Kaylhanne, por sempre me apoiarem nas minhas decisões e entenderem pelas vezes que abdiquei de estar com elas.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Diego David Silva Diniz por todo apoio e dedicação para a realização do trabalho e pela sua paciência não só durante a confecção deste trabalho como também todo tempo que estive na equipe Caraubaja SAE.

Agradeço a minha noiva Janylle Ketelly, por estar presente em minha vida todos os momentos, me apoiando e incentivando em minhas decisões, sempre me ajudando a alcançar meus objetivos.

À equipe Caraubaja, pela disponibilidade do protótipo estudado, bem como o apoio de todos que fazem o projeto para a realização deste trabalho.

Aos amigos Tulio Emmanul, Cassio Alencar, Cleito Ferreira que me ajudaram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Agradeço à todos os amigos que ganhei na UFERSA, Abraão José, Carlos Henrique, Luan Mendes, Marcos Felipe, Gustavo e Antônio Paulo, que durante esse tempo de graduação conviveram comigo, sorriram comigo, choraram comigo, aguentaram os meus estresses e se tornaram minha família.

À todos um muito obrigado!

RESUMO

O aprimoramento do projeto dos sistemas de freios contribui para maximizar sua eficiência, promovendo maior competitividade ao protótipo. Sendo este sistema o principal responsável pela segurança do veículo e das pessoas ao seu redor, é de suma importância antecipar suas possíveis falhas, bem como explorar condições de maior desempenho, tendo em vista as dificuldades que o sistema vem passando nas últimas competições. O objetivo deste trabalho é levantar os principais pontos de falha do sistema de freio do protótipo XSI (Veículo off road com Salto Inesperado), da equipe Caraubaja SAE, promovendo e/ou sugerindo planos de ações, com o intuito de melhorar sua confiabilidade e desempenho. Para tal foram utilizadas ferramentas qualitativas e quantitativas, como gráfico de Pareto e diagrama de Ishikawa, que contribuíram no diagnóstico eficaz, e a determinar as possíveis causas raízes. A partir desse ponto foram criados planos de ação, visando solucionar as problemáticas identificadas, como por exemplo modelagens e simulações, tratamentos termoquímicos para os discos de freio aumentando significativamente sua dureza superficial, o suporte para as mangueiras e o mecanismo de ajuste da altura do pedal de freio proporcionando maior conforto para o condutor. Os novos componentes foram testados em laboratório e/ou em campo, onde suportaram de forma adequada todos os esforços impostos a eles, os habilitando a ser usados durante as competições baja SAE Brasil, demonstrando que este trabalho obteve resultados satisfatórios solucionando as problemáticas encontradas.

Palavras-chave: sistema de freios, tratamentos termoquímicos, discos de freio, diagrama de Ishikawa.

ABSTRACT

Improving the design of braking systems helps to maximize their efficiency, promoting greater competitiveness to the prototype. As this system is primarily responsible for the safety of the vehicle and the people around it, it is extremely important to anticipate its possible failures, as well as explore conditions for greater performance, taking into account the difficulties the system has experienced in recent competitions. The objective of this work is to identify the main points of failure in the brake system of the XSI prototype (off road vehicle with Unexpected Jump), from the Caraubaja SAE team, promoting and/or suggesting action plans, with the aim of improving its reliability and performance. . To this end, qualitative and quantitative tools were used, such as Pareto chart and Ishikawa diagram, which contributed to effective diagnosis and determining possible root causes. From this point onwards, action plans were created, aiming to solve the problems identified, such as modeling and simulations, thermochemical treatments for the brake discs, significantly increasing their surface hardness, support for the hoses and the pedal height adjustment mechanism. brake providing greater comfort for the driver. The new components were tested in the laboratory and/or in the field, where they adequately withstood all the efforts imposed on them, enabling them to be used during the Baja SAE Brasil competitions, demonstrating that this work obtained satisfactory results by solving the problems encountered.

Keywords: brake system, thermochemical treatments, brake discs, Ishikawa Diagram.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tipos básicos de atuação em freios a tambor hidráulicos: (a) Sistema de sapatas primária e secundária; (b) Sistemas de duas sapatas primárias; (c) Sistema duplo-servo.....	20
Figura 2: Sistema de freio a disco.	21
Figura 3: Pedal de freio, A vista isométrica, B vista lateral.	22
Figura 4: Representação do posicionamento da haste.	23
Figura 5: Cilindro mestre.....	24
Figura 6: Vedação do pistão com o freio em repouso (a), e com o freio acionado (b).	26
Figura 7: disco flutuante.....	27
Figura 8: Discos de freio ventilados.	28
Figura 9: Diagrama de Pareto da produção no período	30
Figura 10: Diagrama causa e efeito.	31
Figura 11: Fluxograma.	32
Figura 12: Modelagem do XSI.	34
Figura 13: Problemas com os freios.	37
Figura 14: Diagrama de Ishikawa empeno e desgaste dos discos.	38
Figura 15: Diagrama de Ishikawa altura inadequada do pedal.....	39
Figura 16: Diagrama de Ishikawa diminuir massa do sistema.	40
Figura 17: Diagrama de Ishikawa rompimento das mangueiras flexíveis.....	40
Figura 18: Diagrama de Ishikawa torção do tubo de suporte do cilindro mestre.....	41
Figura 19: Modelagens do disco de freio A) antiga B) nova.....	42
Figura 20: Discos de freio.	44
Figura 21: Caixa de cementação.....	44
Figura 22: discos de freio pós cementação.	45
Figura 23: Gráfico de dureza HRC.....	46
Figura 24: Processo de trainee 2023.....	47
Figura 25: Formulário google.....	48
Figura 26: Interface do Trello equipe Caraubaja SAE.	49
Figura 27: Novo plano de patrocínio capa.....	50
Figura 28: POP de como fabricar o capo.....	51
Figura 29: Novo formato da pista de treino.....	51
Figura 30: Simulação da haste de acionamento.....	52
Figura 31: cilindro mestre de alumínio.....	54

Figura 32: mine curso de Inventor.....	54
Figura 33: Suporte da mangueira.	56
Figura 34: Treino com o novo componente.	56
Figura 35: perfis e suporte do cilindro mestre.....	59
Figura 36: Simulação de tensão nos perfis.....	60
Figura 37: Fator de segurança.	61
Figura 38: Perfil novo já posicionado no veículo.....	62
Figura 39: Fluxograma da distribuição das funções.....	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Plano de ação para empeno e desgaste dos discos.	42
Quadro 2: Plano de ação inadequada do pedal	49
Quadro 3: Plano de ação para diminuir massa do sistema	53
Quadro 4: Plano de ação rompimento das mangueiras flexíveis.....	55
Quadro 5: Plano de ação torção do tubo de suporte do cilindro mestre.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do protótipo.	35
Tabela 2: Dificuldades dos freios.	36
Tabela 3: Dureza HRT15 e HC.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DIN	Deutsches Institut für Normung
EPI	Equipamento de Proteção Individual
HRC	Escala de dureza Rockwell C
HRT15	Dureza superficial na escala T
MASP	Métodos de Análise e Resolução de Problemas
POP	Procedimento Operacional Padrão
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
SAE	Society of Automotive Engineers - Sociedade dos Engenheiros da Mobilidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 TIPOS DE FREIO	19
2.1.1 Sistema de freio a tambor	20
2.1.2 Sistema de freio a disco	21
2.1.2.1 Pedal de freio	22
2.1.2.2 Haste de acionamento	22
2.1.2.4 Tubo hidráulico e mangueiras flexível	25
2.1.2.6 Discos de freio	27
2.2 MATERIAL PARA O DISCO	28
2.3 FERMENTAS DE QUALIDADE	29
2.3.1 Diagrama de pareto	29
2.3.2 Diagrama de Ishikawa	31
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 OBJETIVO DO ESTUDO	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PONTOS A SEREM TRATADOS	36
4.1.1 Diagrama de Pareto.....	36
4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS	38
4.2.1 Diagrama de Ishikawa	38
4.3 PLANOS DE AÇÃO	41
4.3.1 Plano de ação para empeno e desgaste dos discos	41

4.3.1.1 Nova geometria para os discos de freio.....	42
4.3.1.3 Novo processo seletivo.....	46
4.3.1.4 Procurar parceria com empresas de usinagem.....	47
4.3.1.5 Traçar metas e definir prazos.....	48
4.3.2 Altura inadequada do pedal	49
4.3.2.1 Busca novos patrocinadores	50
4.3.2.2 Uso do POP	50
4.3.2.3 Elaborar pista de treino similar a competição	51
4.3.2.3 Nova peça que possibilite o ajuste.....	52
4.3.3 Diminuir massa do sistema de freio	53
4.3.3.1 Busca por materiais alternativos.....	53
4.3.3.2 Minicursos	54
4.3.4 Rompimento das mangueiras flexíveis	55
4.3.4.1 Suporte da mangueira	55
4.3.4.2 Benchmarking.....	56
4.3.4.3 Palestra sobre a importância de um projeto adequado	57
4.3.4.4 Treinamentos	57
4.3.5 Torção do tubo de suporte do cilindro mestre	57
4.3.5.1 Escolha de novo perfil	58
4.3.5.2 Testes em campo	61
4.3.5.3 Rearranjo das funções.....	62
5 CONCLUSÃO.....	63
6 REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Os primeiros sistemas de freio surgiram com intuito de parar ou desacelerar carroças, carruagens e pequenos meios de transporte no decorrer de declives. Funcionava aplicando pressão em blocos de madeira sobre as rodas. Daí em diante, os freios vêm evoluindo constantemente, usando tecnologias avançadas, ficando cada vez mais eficientes. O francês Louis Renault desenvolveu o primeiro sistema de freios automotivo (Nicolazzi, Leal e Rosa, 2012).

O sistema de freio a disco como o é conhecido hoje começou a ser utilizado em 1951 na clássica corrida das 500 milhas de Indianápolis, nos Estados Unidos, pelos irmãos Conze, sendo um dos mais utilizados na atualidade, em diversos tipos de veículos automotores, tanto nos de carga como nos de competição, (Macnaughton, 1998).

Um exemplo de automóvel esportivo que usa freio a disco é o automotor utilizado nas competições baja SAE, que teve início nos Estados Unidos e se disseminou por vários países inclusive o Brasil onde tem-se competições a nível regional, nacional e internacional, proporcionando aos estudantes de engenharia projetar e construir veículos tipo baja (Caraubaja, 2019). As competições têm como principal objetivo avaliar os protótipos construídos, os quais seguem as normas da SAE. Adicionalmente são avaliados a parte teórica com relatórios e apresentações, a prática com provas dinâmicas e de resistência testando os limites ao qual o veículo suporta, (SAE Brasil, 2023). O protótipo baja é um veículo automotor com 4 rodas, fabricado para superar os mais difíceis obstáculos, podendo trafegar em diversos tipos de terreno, sendo um veículo off road para competições esportivas que são organizadas pela SAE Brasil. Tais competições proporciona aos estudantes pôr em prática os conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de graduação.

Com as altas exigências sofridas pelo sistema de freios durante as competições SAE, faz-se necessária a busca por melhorias constantes, para que aja o seu aprimoramento, podendo ser usadas algumas ferramentas como os digramas de Pareto e o de Ishikawa, para determinar os pontos que necessitam de maior atenção. Após as competições, o sistema de freios passa por uma manutenção, com a finalidade de verificar falhas durante a competição.

O sistema de freios atual do protótipo Caraubaja SAE, está com um volumoso número de adversidades, serão selecionados os que tem maior urgência a ser resolvidas, pois a equipe detém de recursos limitados assim como o tempo de entrega para este trabalho, no entanto será feito o levantamento de como solucionar o maior número possível de problemas.

Um dos métodos para melhorar as propriedades do material são os processamentos térmicos e termoquímicos, com estes procedimentos pode-se adequar os materiais para produzir os componentes, com a resistência suficiente para condições que eles serão submetidos. Sendo assim possível utilizar um material mais barato, porém com suas propriedades melhoradas, como resistência ao desgaste e dureza superficial aumentada, ao ponto de se igualar ou até superar materiais de alto custo, que em teoria são caracterizados como melhores, segundo (Norton, 2013).

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Levantar principais pontos de falha do sistema de freio da equipe Caraubaja SAE, promovendo e/ou sugerindo planos de ações, com o intuito de melhorar sua confiabilidade e desempenho.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo sobre o sistema de freios de veículos;
- Indicar ferramentas da qualidade para análise de falhas;
- Identificar as principais causas raízes;
- Realizar modelagens e simulações em projeto CAD, caso necessite;
- Realizar testes práticos para averiguar se os componentes suportaram os esforços de forma adequada;
- Fazer análise dos resultados obtidos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No decorrer do tempo, a evolução dos transportes automotores, advindo às decorrências de altas velocidades e grande capacidade de transportar cargas, cada vez mais se faz necessária à implementação de um bom projeto de freio para os veículos. Precisando ter um conjunto de freios com capacidade de parar o veículo em um local específico e/ou em um tempo adequado, necessitando de uma atuação eficiente do sistema no momento em que for solicitado, mantendo as questões de manutenção mínima sem perda de eficiência de frenagem, (Nicolazzi, Leal e Rosa, 2012).

O sistema de freios funciona essencialmente convertendo energia cinética (sendo está a de movimento do veículo em questão), em energia térmica, ocasionando a geração de uma grande quantidade de calor durante sua operação. Assim, eles devem ser projetados para absorver e transferir esse calor sem causar danos a se mesmos ou a seu entorno, (Norton, 2013).

2.1 TIPOS DE FREIO

Os autores Juvinall e Marshek (1991) exemplificam que comumente as peças da máquina operam em superfícies deslizantes, como engrenagens, rolamentos e cames. Nesses dispositivos destinados à transmissão de movimento, os esforços de engenharia têm se concentrado em reduzir o atrito entre as superfícies para minimizar a perda de energia devido ao mesmo. Em contraste, os freios de fricção são componentes que dependem da perda de energia das superfícies de atrito para desempenhar sua função. Neste caso, os componentes são projetados para aumentar o coeficiente de atrito, com o menor desgaste possível dos componentes.

Existem diversos métodos que podem ser utilizados para efetuar a frenagem, dentre eles, será focado em freios por atrito, pois são os mais utilizados em automóveis tanto de passeio e carga como de competição, sendo utilizados principalmente os freios a tambor e a disco.

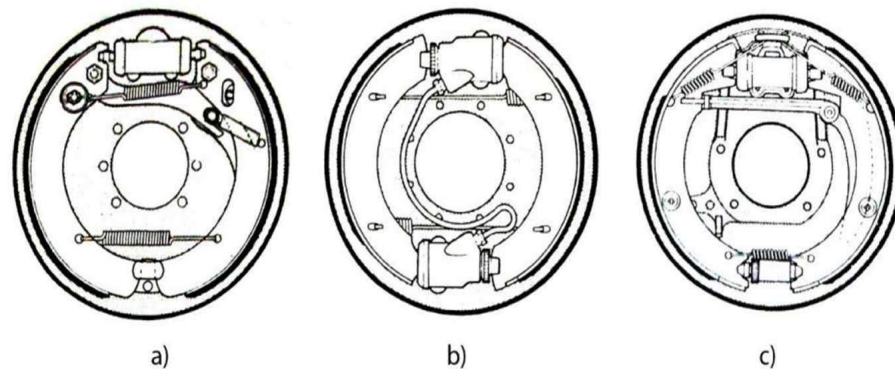
2.1.1 Sistema de freio a tambor

Os freios a tambor consistem em um tambor de ferro fundido e um par de sapatas de freio semicirculares. Normalmente, o tambor está preso à roda e gira com ela, ambos com a mesma velocidade angular. O atrito necessário para desacelerar os rolos vem da força de frenagem do sistema hidráulico, aplicada internamente nas sapatas da esteira, que não giram, mas são montadas em placas metálicas fixas. Cada sapata de freio consiste em uma peça dobrada de aço ou liga de metal leve coberta com um revestimento resistente ao desgaste ou forro (lona), preso à sapata por rebites, parafusos ou adesivo (Yoshida, 2013).

Devido à sua facilidade de fabricação, os freios a tambor estão em uso desde o surgimento do automóvel. Durante anos, eles foram usados nas quatro rodas em carros e caminhões, mas isso mudou devido aos avanços nos projetos de carros e caminhões pequenos, exigindo freios a disco, (Ribeiro, 2015).

Os freios a tambor que utilizam expansão interna das sapatas são divididos em: sistema de primários e secundários; duas sapatas primárias e duplo servo. Estes sistemas são exemplificados na Figura 1. A forma como cada sistema de fixação da sapata também é diferente, pode ser um estilo deslizante ou uma fixação em um ponto. Por fim, o acionamento dos freios a tambor pode ser dividido em sistemas de alavancas hidráulica, pneumática e mecânica (Limpert, 1999).

Figura 1: Tipos básicos de atuação em freios a tambor hidráulicos: (a) Sistema de sapatas primária e secundária; (b) Sistemas de duas sapatas primárias; (c) Sistema duplo-servo



Fonte: (adaptado de Limpert, 1999).

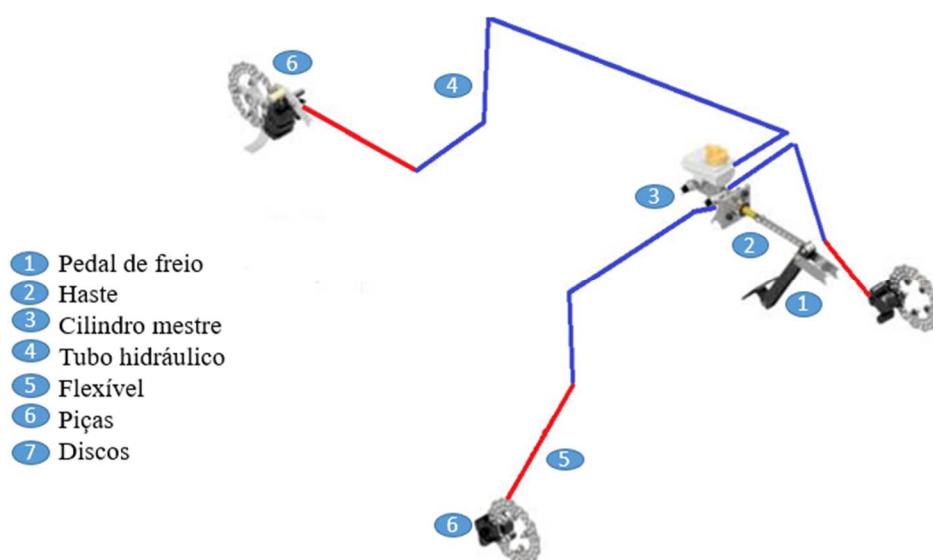
2.1.2 Sistema de freio a disco

Quando comparado aos outros sistemas, os freios a disco são os mais desenvolvidos atualmente, tanto em termos de confiabilidade quanto de eficácia. É usado em muitos tipos de veículos, desde carros de passeio a carros de competição, de locomotivas ferroviárias a aeronaves de tamanho normal, (*The family car*, 2014).

Quando o motorista percebe que precisa reduzir a velocidade do veículo que dirige, ele usa o pedal do freio. Ao apertá-lo, o motorista aplica uma força que cria uma pressão hidráulica no fluido do sistema, que é transmitida a um pistão localizado na pinça. Esses pistões forçam as pastilhas contra as laterais do disco ao entrarem em contato, cria-se um atrito entre o disco e a pastilha, convertendo a energia cinética rotacional em energia térmica que deve ser dissipada para o ambiente, (Alves, 2015).

Os freios a disco têm várias vantagens sobre os freios a tambor, como menor custo e massa, manutenção mais simples, ventilação mais fácil, temperatura operacional mais alta e requerem menos espaço sua instalação, além de permitir inúmeras modificações em sua geometria, oferece ao projetista maior liberdade no projeto, a Figura 2 mostra um esquema do sistema de freio da equipe Caraubaja SAE.

Figura 2: Sistema de freio a disco.

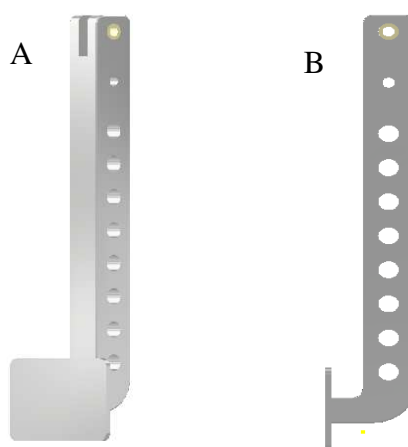


Fonte: Autoria própria

2.1.2.1 Pedal de freio

No pedal é onde começa todo o processo de frenagem, esta é a única parte do sistema que deve ter contato direto com o piloto. ao exercer força no pedal, o pistão do cilindro mestre é acionado, pressurizando todo o sistema com fluido para acionar os cilindros das rodas gerando força de frenagem, Nicolazzi, Leal, & Rosa, (2012), na Figura 3 é mostrada a imagem do pedal de freio da equipe Caraubaja SAE.

Figura 3: Pedal de freio, A vista isométrica, B vista lateral.



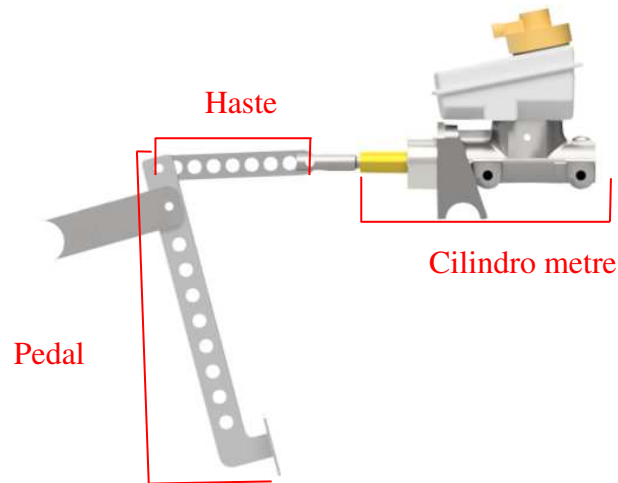
Fonte: Autoria própria

De acordo com as literaturas, a força aplicada nos pedais é limitada pelas considerações ergonômicas que limitam a força e o curso do pedal aplicados pelos motoristas do sexo feminino, estabelecida ao longo dos anos. A força e o deslocamento do pedal são parâmetros importantes para o operador controlar com segurança a eficácia dos freios. Um sistema de travagem com curso insuficiente do pedal em superfícies escorregadias pode fazer com que se haja prejuízo no controle do veículo devido ao travamento involuntário do freio Limpert (1999).

2.1.2.2 Haste de acionamento

Esta peça é o elemento que transmite os esforços empregados no pedal de freio até o cilindro mestre. Necessita ser projetada para receber grandes esforços compressivos sem sofrer flambagem, sua montagem é ilustrada na Figura 4.

Figura 4: Representação do posicionamento da haste.



Fonte: Autoria própria

Segundo Limpert (1999), a força máxima exercida pelo pé direito do percentil feminino é de aproximadamente 445 N (100 lb), e para os homens aproximadamente 823 N (185 lb). O esforço do pedal e o curso do pedal são parâmetros importantes para o operador ajustar a eficácia dos freios. Um sistema de frenagem que não fornece conceito adequado sobre o curso do pedal, especialmente em estradas escorregadias, pode causar perda de controle do veículo devido ao acionamento inadequado do freio.

Para calcular o esforço sofrido pela haste, é necessário multiplicar a força exercida pelo motorista versos a relação do pedal, encontrando assim o esforço total de compressão sofrido pela haste. Na Equação 1, pode-se ver a fórmula para este cálculo.

$$F_t = F * P \quad (01)$$

Onde:

F_t : força total

P : relação da multiplicação de força do pedal;

F : força aplicada no pedal

4.1.2.3 Cilindro mestre

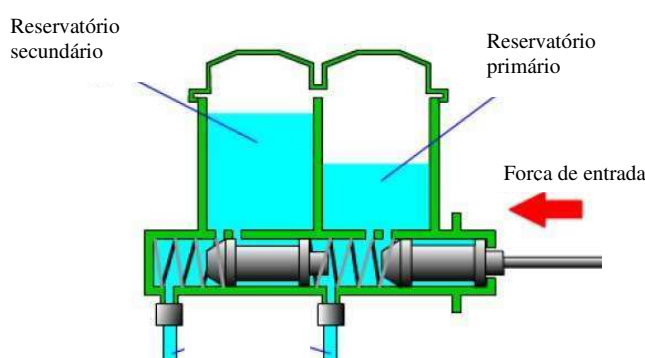
Cilindros mestres, bombas de freio, até burros de freio e afins, conhecido como o componente de acionamento do sistema hidráulico do freio, tem como finalidade converter a força mecânica exercida pelo motorista no pedal em pressão hidráulica que será transmitida e distribuída para todas as pinças ou cilindros de roda (Reif, 2014).

Esse componente é muito utilizado em veículos leves, de competição e até mesmo em alguns veículos pesados, como ônibus e caminhões. Seu uso é fundamental para o sistema de frenagem que o utilizam, sendo o principal responsável por bombear e pressurizar todo o sistema (Limpert, 1999).

Ainda seguindo o mesmo, após o acionamento do pedal e a vantagem mecânica a ele conferida, a força do piloto é direcionada para acionar o cilindro mestre, forçando o fluido a se comprimir, de forma que a pressão do cilindro mestre seja distribuída através das linhas de freio para atuar nos cilindros de roda e posteriormente convertida em força axial.

Os cilindros mestres duplos foram desenvolvidos para resolver o problema de ter que utilizar um cilindro mestre para cada eixos, um no dianteiro e outro traseiro. Neste modelo, dois pistões são colocados em série para que a câmara do cilindro mestre possa ser dividida em duas câmaras separadas, cada uma atuando como um cilindro mestre simples, conforme mostra a Figura 5. Dessa forma, se um dos circuitos da câmara falhar, o outro circuito continua a funcionar, garantindo uma frenagem parcial, suficiente para parar completamente o veículo.

Figura 5: Cilindro mestre.



Fonte: adaptado de Halderman (2012).

Se houver um vazamento dentro do circuito primário, o sistema entra em ação e o pistão primário empurra seu curso completo contra o pistão secundário. A força da haste é transmitida diretamente ao pistão secundário através do contato do pistão, permitindo que o pistão secundário pressurize o circuito secundário. Por outro lado, se o circuito secundário

falhar, o pistão se moverá sem muita resistência. Caso continue sendo pressionado o pedal irá superar a força da mola do segundo cilindro até que todo o conjunto de pistões toque a parte inferior do cilindro mestre, assim, o curso do primeiro cilindro permanece constante e a pressão no circuito primário se estabiliza normalmente (Halderman, 2012).

2.1.2.4 Tubo hidráulico e mangueiras flexível

O tubo hidráulico é um dos principais componentes para efetuar a transferência de energia do cilindro mestre (dispositivo de comando) para os cilindros de roda, onde ocorrerá a frenagem (Crolla, 2009).

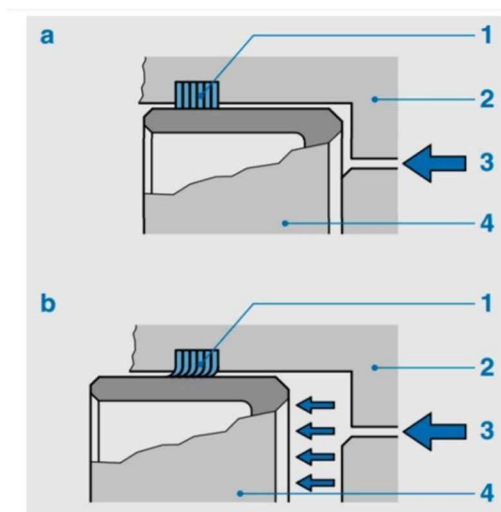
Segundo Dantas (2017), os tubos responsáveis pelo transporte do fluido de freio apresentam-se em duas formas: tubos rígidos ou tubos flexíveis, linhas rígidas são usadas para conectar componentes hidráulicos a componentes estacionários. As mangueiras de freio podem transferir fluido sob pressão sem qualquer tipo de obstrução, mesmo quando operando em condições extremas. Por exemplo, uma mangueira em uma seção flexível de distribuição de fluido, tem uma trança metálica do lado externo para ajudar a suportar a pressão, e outra de borracha na parcela interna para proteger o fluido.

Segundo Reif (2014), a mangueira flexível do sistema de frenagem estabelece a ligação entre o tubo do freio, que está rigidamente ligado à carroceria, e os componentes móveis do freio (por exemplo, suspensão, cubo e rodas). Outro requisito importante é que as mangueiras tenham a movimentação livre, ou seja, sem atrito com outros componentes, o que poderia ocasionar desgaste, ou até tencionar levando-a a ruptura.

5.1.2.5 Caliper

O caliper (pinça) é uma das peças finais de um sistema de freio a disco hidráulico, sendo seu funcionamento semelhante ou de um pistão pneumático, o seu suporte a mantém próxima ao disco para que, quando seu pistão for acionado, pressione as pastilhas de freio contra o disco. Esse tipo de pinça pode ser usado em diversos tipos de veículos como ferroviários, caminhões, carros de passeio e de competição, (Júnior, 2012).

Figura 6: Vedação do pistão com o freio em repouso (a), e com o freio acionado (b).



Fonte: Reif (2014).

As pinças de freio, operam de forma semelhante aos cilindros de roda. Possui uma câmara preenchida com fluido de freio que, quando pressurizado, move um ou mais pistões, pressionando as pastilhas contra os discos. A parte interna de uma pinça de freio pode ser visualizado na da Figura 6, onde: (1) Vedação do pistão; (2) corpo da pinça de freio; (3) orifício de entrada do fluido; (4) pistão, (Reif 2014).

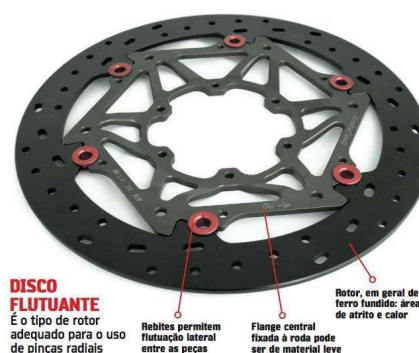
Ainda segundo o mesmo autor, as vedações de borracha possuem seção transversal retangular e estão localizadas em ranhuras ao redor do cilindro, formando uma vedação ao redor do pistão, além disso, ajustando automaticamente a folga entre as pastilhas e o disco de freio. O diâmetro interno da vedação é ligeiramente menor que o diâmetro do pistão, de modo que a vedação alivia a pressão e prende o pistão. Quando os freios são acionados, o pistão se move em direção ao disco, o que deforma o retentor, que é projetado para que seu atrito impeça o vazamento do fluido. Como a vedação é elástica, ela armazena energia para retornar à sua forma e posição originais, puxando o pistão para trás quando o freio é liberado (ou seja, quando a pressão hidráulica é removida).

Existem diversos modelos de pinças com diferentes métodos de acionamento, sejam eles acionados por pressão ou acionados mecanicamente. Esses modelos podem ser pinças fixas ou flutuantes, ambos os tipos efetuam a frenagem por compressão axial no disco para desacelerar o veículo, (Junior,2012).

2.1.2.6 Discos de freio

Os discos de freio ainda podem ser divididos em dois tipos básicos, que são utilizados na indústria automotiva. O tipo mais comum é fixado no cubo, sendo usado na maioria dos carros e motocicletas convencionais. O segundo tipo é um disco flutuante, que geralmente é usado em motocicletas com maior potência. O disco flutuante é fixado ao cubo de forma semelhante ao disco fixo, porém possui uma estrutura bipartida presa por rebites, permitindo a ondulação lateral entre as partes, conforme Figura 8. Essa flutuação tem a capacidade de compensar pequenas torções no disco, sem introduzir vibrações no sistema (Santos, 2014).

Figura 7: disco flutuante.



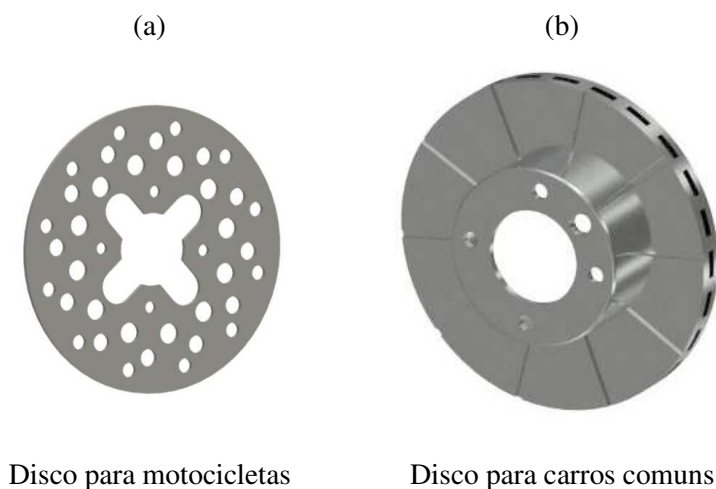
Fonte: SANTOS (2014).

Os discos de freio são submetidos a altos torques, normalmente até duas a três vezes o torque do motor, resultando em temperaturas elevadas do disco que exigem grandes superfícies de resfriamento. No entanto, parte de sua superfície é utilizada como superfície de atrito a cada instante, (Junior, 2012).

Os discos de freio podem ser peças sólidas ou peças ventiladas com canais internos para permitir o fluxo de ar. Um método amplamente utilizado em motocicletas é perfurar os discos por três motivos: um é melhorar as propriedades de autolimpeza dos discos, a segunda é reduzir a massa e a inércia do rotor; finalmente, fazer furos no disco pode melhorar a dissipação de calor (Santos, 2014).

Discos sólidos são mais usados em veículos menores que requerem menos poder de parada. Os discos ventilados, demonstrados na Figura 8, são geralmente construídos com maior largura, com folgas ou canais radiais internos, semelhantes a um ventilador centrífugo, o que melhora significativamente a eficiência do resfriamento e torna a frenagem mais eficiente devido à maior capacidade de resfriamento, (Nicolazzi, Leal e Rosa, 2012).

Figura 8: Discos de freio ventilados.



Fonte: CARVALHO (2019).

2.2 MATERIAL PARA O DISCO

Os discos de freio podem ser confeccionados de metais, como ferro fundido, liga de aço, ou também de materiais cerâmicos e compósitos. A escolha deste material deve levar em conta diversos fatores, como peso, dissipação de calor, custo, resistência ao efeito de fadiga, etc. Um dos fatores mais importante é o atrito, que no sistema de freio a disco transforma energia cinética do veículo em energia térmica através do contato entre as superfícies das pastilhas e do disco de freio, essa energia é dissipada para o ambiente em forma de calor, (Peter, 2008).

Outro fator importante a ser considerado para selecionar efetivamente do material utilizado na fabricação do disco de freio é o desgaste. Para que um material se desgaste menos que outro, sua resistência ao desgaste deve ser maior que a do outro material, para tal alguns fatores são de grande relevância pois alteram diretamente as propriedades do material, como atrito, condutividade térmica e dureza, (Alves 2015).

De acordo com a norma DIN 50320 (2001), o desgaste é a perda progressiva do material da superfície de um corpo sólido devido à ação mecânica, ou seja, o contato e movimento relativo de um corpo sólido contra outro corpo sólido, líquido ou gasoso. Ainda segundo a norma há quatro mecanismos de desgaste básicos: adesão, abrasão, reação tribo-química, e fadiga superficial.

A adesão ocorre devido a junção localizada entre superfícies sólidas em contato, levando a transferência de material entre as duas superfícies ou perda de uma delas. O

desgaste por abrasão com altas tensões caracteriza-se pelo arranhamento, deformação plástica e crateras (buracos ou “pits”) marcados na superfície. A reação triboquímica é a formação de produtos das reações químicas que podem ocorrer entre os elementos de um tribossistema, que tem início por uma ação tribológica. Já a fadiga superficial ocorre devido a esforços repetitivos por deslizamento ou rolamento causando trincas subsuperficiais que crescem em direção a superfície, produzindo fraturas que se localizam na superfície (Chiaverini, 1986).

Umas das soluções para tal problema é o tratamento termoquímico de cementação, que consiste na introdução de átomos de elemento de liga (espécime difusível) em um material metálico sólido (material hospedeiro). O processo de difusão é ativado de forma exponencial pela agitação térmica dos átomos em função da temperatura, Baumgarten (2003). Ainda segundo este autor, a força motriz para causar a difusão é o gradiente de concentração, onde o transporte de massa se procede da região de alta para outra com baixa concentração, com a deposição do material a um aumentando na dureza superficial da peça.

Os tratamentos termoquímicos são responsáveis por promover o endurecimento superficial dos aços por meio da utilização de altas temperaturas e elementos químicos para modificar a estrutura do material. Assim, a dureza e a resistência ao desgaste na superfície do aço são ampliadas, enquanto seu núcleo permanece dúctil e tenaz, capaz de resistir aos impactos, (Chiaverini, 1986).

2.3 FERMENTAS DA QUALIDADE

Com o propósito de promover a melhoria da qualidade, foram desenvolvidas ferramentas de qualidade para facilitar a aplicação de conceitos, coleta e apresentação de dados. Para Sakamoto, (2006) o objetivo das ferramentas da qualidade, é eliminar e conter problemas (efeito) abordando a causa (processo). Desta forma, as ferramentas fundamentais da qualidade servem ao propósito de apoiar a gestão, na resolução de problemas.

2.3.1 Diagrama de Pareto

Com o diagrama de Pareto pode se visualizar, as causas dos problemas de maior para a menor frequência/gravidade, identificando claramente onde estão as causas mais importantes dos problemas. Este usado para estabelecer uma ordem ou prioridade para as causas dos problemas de diversas naturezas, (Oliveira, 2005).

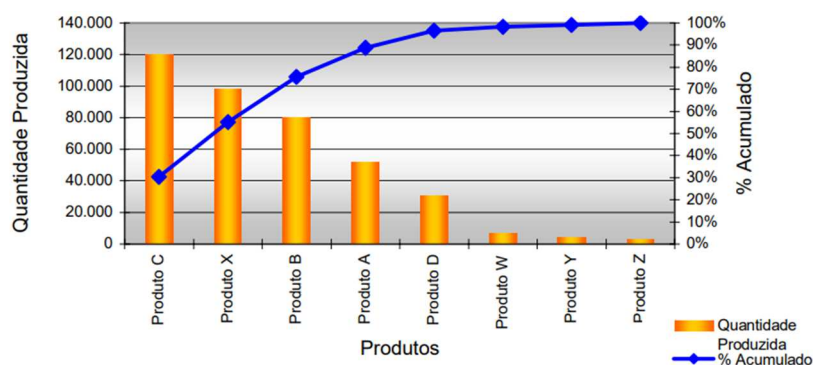
Essa ferramenta também é conhecida como 80/20, onde 80% dos efeitos são resultados de 20% das causas. Isso significa que, às vezes, o maior número de problemas aparece em pequenos prejuízos porque são irrelevantes, triviais; e um número menor de problemas acumulados pode causar mais prejuízos. Mas nem sempre esta porcentagem é exata, as vezes pode ocorrer 70/30 ou 80/40, os números variam de acordo com problemas analisados, (Santos et al., 2020).

Seu escopo de aplicação se estende a:

- Identificar, detalhar e analisar problemas (falhas, custos, retrabalho, etc.) e suas causas, os respectivos motivos (operadores, equipamentos, matérias-primas, etc.).
- Visualização e priorização de ações com foco nos melhores resultados.
- Confirmação dos resultados das ações de melhoria.
- Verificar a situação atual com gráficos históricos e análise de impacto das mudanças feitas no processo.
- Detalha a causa principal do problema e os itens de maior impacto para eliminar a causa.
- Definir a melhoria do projeto detectando as principais fontes de custo, não conformidades, atividades que não agregam valor, etc.

O diagrama de Pareto consiste em um gráfico de barras que permitem classificar os eventos que acontecem em uma empresa de forma organizada, sendo possível identificar os principais problemas, possibilitando evitar perdas futuras, um exemplo desse gráfico pode ser visto na Figura 9.

Figura 9: Diagrama de Pareto da produção no período



Fonte: Oliveira, (2005)

As equipes que aplicam a ferramenta diagrama de Pareto, para otimizar os processos, não precisam necessariamente estar passando por algum momento difícil dentro da organização. Muitas empresas bem estruturadas utilizam essa ferramenta, para aumentar ainda

mais a produtividade, sendo necessário identificar os processos que causam atrasos na produção, (Santos et al., 2020).

2.3.2 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa-Efeito, é uma ferramenta da qualidade que auxilia na identificação da causa raiz de um problema, analisando todos os fatores envolvidos na execução do processo. Essa ferramenta, proposta por Kaoru Ishikawa na década de 60, está inserida no MASP e permite organizar as informações para que sejam identificadas as possíveis causas dos problemas, (Costa, Silva, Mendes, Alves, 2018).

O Diagrama de Ishikawa é composto por 6 temas que, quando analisados, tendem a encontrar a causa da maioria dos problemas em uma empresa. Esses 6 tópicos são conhecidos como os 6Ms do Diagrama Espinha de Peixe, são itens relacionados a processos dentro de uma organização, desta forma, sempre que se utiliza esta ferramenta, é analisado cada um dos 6M, para determinar a causa, Prática, (2022). Os 6Ms são: Método, Máquina, Medida, Meio Ambiente, Material, Mão de Obra, exemplo do diagrama é demonstrado na Figura 10.

Figura 10: Diagrama causa e efeito.



Fonte: NA PRÁTICA, (2022)

Um diagrama de causa-efeito pode ser desenhado nas seguintes etapas: - Identificar o problema a ser estudado (identificação do efeito); - Relatar as possíveis causas e registrá-las em um diagrama; - Construir um diagrama, dividindo as causas em "6M"- Analisar o diagrama para determinar a causa real; - Corrigir o problema. Basicamente, o resultado do gráfico é fruto de *brainstorming*, ou seja, discutir opiniões e ideias irrestritas e democraticamente abertas a cada membro do grupo.

3 METODOLOGIA

O aprimoramento do projeto do sistema de freios contribui para maximizar sua disponibilidade, promovendo maior competitividade ao protótipo. A contextualização apresentada reforça a importância de antecipar possíveis falhas no sistema de freios, bem como explorar condições de maior desempenho, com o intuito de se obter projetos com maior eficiência, em relação aos complexos acoplamentos de fenômenos observados em diversas situações de frenagem, proporcionando uma maior segurança veicular. Para cumprir com este objetivo a metodologia adotada é composta por etapas apresentadas na Figura 11.

Figura 11: Fluxograma.



Fonte: Autoria própria

Inicialmente será realizar a coleta de dados sobre sistemas de freio utilizados em veículos off-road através de *benchmarking*, ou em pesquisas em monografias, livros, trabalhos de conclusão de curso, sites da internet, bem como, suas formas de dimensionamento, fabricação e material utilizado, para selecionar os modelos e processo de fabricação, que melhor se adeque aos requisitos de projeto.

Em seguida, serão empregadas ferramentas de qualidade que serão usadas para identificar possíveis pontos de melhoria e encontrar falhas no sistema de freio, buscando

aumentar a confiabilidade. As ferramentas a serem consideradas: Pareto e o diagrama de Ishikawa, por serem métodos amplamente utilizados em grandes empresas, onde os critérios de avaliação da ordem de causa são respeitados e apresentam resultados satisfatórios, (Santos et al., 2020). Através dessas ferramentas será possível identificar os pontos, de maior necessidade os quais serão abordados neste trabalho, e suas possíveis causas.

Com os pontos de melhoria identificados, será realizado os planos de ações, como por exemplo, a modelagem das novas peças utilizando o software Autodesk Inventor visando novas geometrias que melhor se adaptaram ao protótipo atual, ou remodelando geometrias já existentes, visando alcançar os objetivos supracitados.

Logo após será realizado, em algumas ações, simulações pelo método de elementos finitos que nos fornece os resultados de tensões, deformações e deslocamentos da estrutura, dispositivo ou produto analisado. visando a verificação da integridade dos componentes e validando a geometria para posteriormente ser fabricado. Ou seja, nos fornece resultados que permitem identificar a durabilidade da peça, identificar pontos de concentração de tensões, entender o comportamento da estrutura frente ao carregamento e nos permite otimizar as peças antes de serem fabricadas. Assim, será possível analisar se as peças em questão vão suportar os esforços impostos a elas de forma adequada.

Para a fabricar os componentes, será utilizada a impressora 3D, o torno mecânico, furadeira de bancada, fresadora, etc. Serão fabricados os componentes que apresentarem maior necessidade dentro do projeto, também será imposto outros métodos para otimizar os componentes, como por exemplos tratamentos termoquímicos, visando melhorar as propriedades do material de acordo com a peça que se deseja produzir, casos seja necessário.

Logo após sua fabricação os novos componentes serão impostos a testes em laboratório e em campo. No laboratório poderá ser realizado testes de dureza e ensaios de tração para a auxiliar no desenvolvimento dos planos de ações e para avaliação dos novos componentes e em campo as novas peças serão colocadas no protótipo da equipe Caraubaja SAE que será levado para testes na pista de treino da equipe, onde poderá ser averiguado a resistência e funcionamento dos componentes.

Ao final do estudo realizado sobre o subsistema de freios, será analisado os parâmetros obtidos, para verificar se os mesmos estão de acordo com os requisitos das competições Baja SAE Brasil e aos objetivos previamente definidos, e então são concluídos os planos de melhorias do sistema de freio, que é apresentado nesse trabalho.

Este trabalho proporcionara a geração de um registro do de todos os procedimentos supracitados, incluindo método de identificação dos principais pontos de falha, criação de

planos de ação e validação com testes. influenciando a criação de outros trabalhos para os subsistemas da equipe que ainda não possui como transmissão, elétrica, cardagem e estrutura.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

A equipe Caraubaja SAE foi fundada em 2015 e vem se destacando nas competições que tem participado, mesmo estando localizada em uma cidade pequena onde é difícil arrecadar fundos para construir os protótipos que são utilizados na participação das competições regionais e nacionais.

Durante as últimas competições, o sistema de freios vem apresentando defeitos durante as provas, buscando conter estas problemáticas, foram identificados os principais pontos de falha do sistema de freio. Através do diagrama de Ishikawa foi possível apontar as possíveis causas raízes, então foi criado um plano de ação para cada causa identificada, buscando solucionar as problemáticas do sistema de freio do protótipo XSI. Na Figura 12 é possível visualizar a modelagem do XSI realizada no Inventor Autodesk.

Figura 12: Modelagem do XSI.



Fonte: Autoria própria

O protótipo XSI tem uma suspensão dianteira tipo duplo A de comprimento desigual e traseira duplo A de comprimento desigual, com barra tirante, já a direção é do tipo pinhão

cremalheira. A transmissão conta com um motor de torque máximo $\approx 18,7$ N.m Rotação = 2600rpm, outras características do veículo são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do protótipo.

Dados primários	Valor	Unidade
Peso total (veículo com piloto)	269,8	kg
Peso estático no eixo dianteiro	103,5	kg
Peso estático no eixo traseiro	166,3	kg
Altura do centro de gravidade (CG)	521,51	mm
Distância entre eixos (L)	1450,0	mm
Raio dinâmico do pneu	200,0	mm
Diâmetro do disco dianteiro	160,0	mm
Diâmetro do disco traseiro	180,0	mm
Diâmetro do cilindro mestre	19,0	mm
Diâmetro do pistão da pinça dianteira	31,9	mm
Diâmetro do pistão da pinça traseira	25,0	mm
Número de pinças Traseiro	01,0	-
Número de pinças Dianteiro	02,0	-
Número de cilindros na pinça Traseira	02,0	-
Número de cilindros na pinça Dianteira	01,0	-
Coeficiente de atrito (pastilha/disco)	0,4	-
Maior braço de alavanca do pedal	200,0	mm
Menor braço de alavanca do pedal	30,0	mm
Aceleração da gravidade	9,8	m/s ²
Velocidade máxima do veículo	12,78	m/s
Força de acionamento do pedal	450,0	N
Eficiência do pedal	0,9	(%)
Distância de frenagem máxima	4,3	m

Fonte: (Carvalho, 2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DOS PRINCIPAIS PONTOS A SEREM TRATADOS

Utilizando metodologia citada anteriormente, buscou-se avaliar o atual subsistema do protótipo XSI do Caraubaja SAE, através do diagrama de Pareto, será possível identificar os possíveis pontos de falha. Para detectar estes principais problemas no sistema de freios foi realizado uma busca por informações sobre defeitos no veículo nos últimos 2 anos, para tal feito se fez necessário discutir com membros do sistema, obter dados de literaturas importantes, fazer uma análise do veículo antes e depois de cada competição.

4.1.1 Diagrama de Pareto

Inicialmente foi necessário definir o objetivo da utilização do diagrama, nesse caso é estabelecer quais problemas necessitam de uma abordagem mais urgente. Então foi realizado um levantamento dos dados no período de 2 anos e com isso efetuou-se a transformação dos dados em uma tabela, onde é possível visualizar as informações de forma organizada, como é mostrado na Tabela 2.

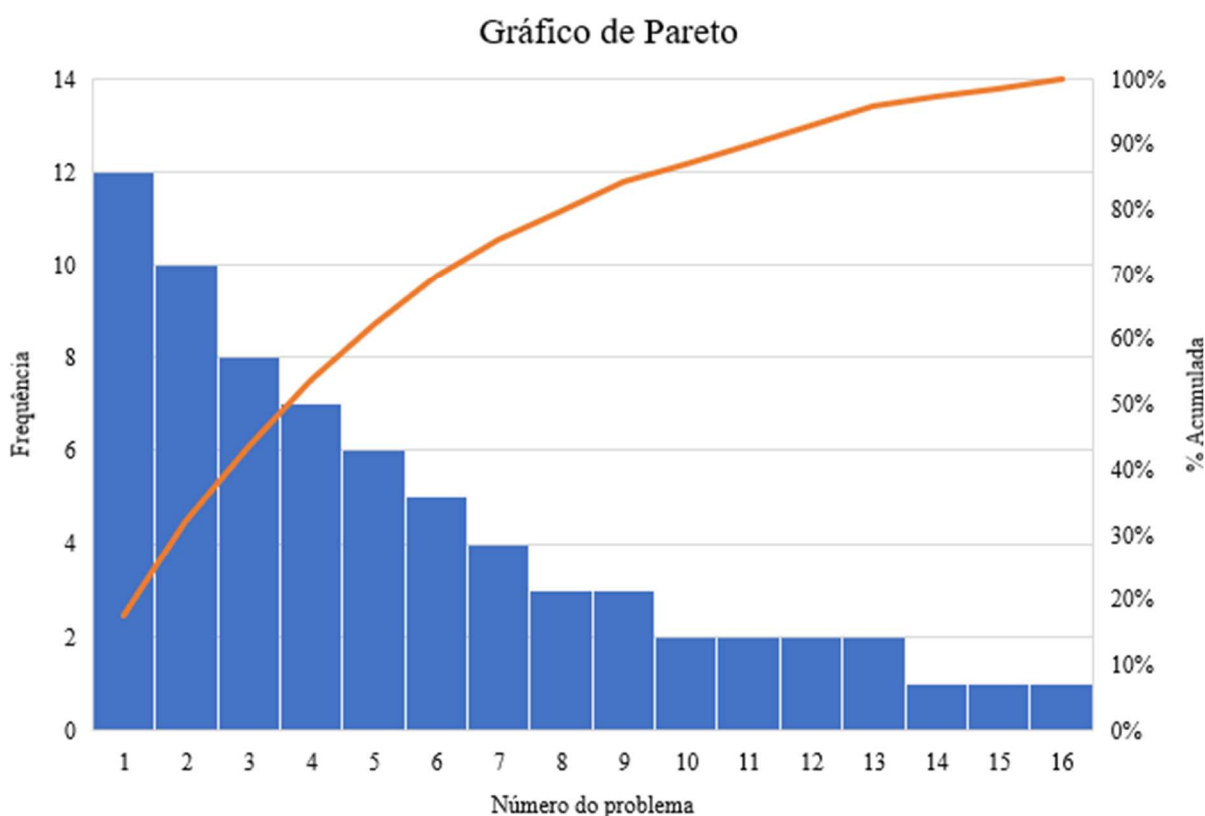
Tabela 2: Dificuldades dos freios.

Numero	Problemas com os freios	Frequência	% Unitaria	% Acumulada
1	Empenamento dos discos	12	17%	17%
2	Desgaste nos discos	10	14%	32%
3	Altura inadequada do pedal	8	12%	43%
4	Diminuir massa do sistema	7	10%	54%
5	Rompimento das mangueiras flexíveis	6	9%	62%
6	Torção do tubo de suporte do cilindro mestre	5	7%	70%
7	Vazamento nas linhas de freio	4	6%	75%
8	Rosca espanada	3	4%	80%
9	Dificuldade no posicionamento das linhas de freio rígidas	3	4%	84%
10	Dificuldade no posicionamento da pinça traseira	2	3%	87%
11	Rompimento do pedal	2	3%	90%
12	Quebra do arame de freio	2	3%	93%
13	Espano da parte superior do parafuso	2	3%	96%
14	Folga dos parafusos	1	1%	97%
15	Desgaste exagerado das pastilhas	1	1%	99%
16	Quebra da pinça	1	1%	100%

Fonte: Autoria própria

O objetivo de um gráfico de Pareto é classificar a frequência das atividades que ocorreram em ordem decrescente, para que os principais problemas possam ser facilmente identificados e visualizados, sendo possível priorizá-los e, em seguida, propor soluções. Na Figura 13 é possível visualizar a frequência de dificuldades do sistema de freio, nos últimos 2 anos.

Figura 13: Problemas com os freios.



Fonte: Autoria própria

No gráfico da Figura 13 as numerações na parte inferior correspondem ao número do problema apresentado na Tabela 1, com análise do gráfico pode-se aplicar o teorema de Pareto, onde uma pequena quantidade de problemas é responsável pela maioria das causas. Com este método foi possível identificar os principais pontos a serem tratados, sendo; Empenamento e desgaste nos discos; altura inadequada do pedal; diminuir massa do sistema; rompimento das mangueiras flexíveis e torção do tubo de suporte do cilindro mestre, os quais correspondem a 70% das dificuldades encontradas.

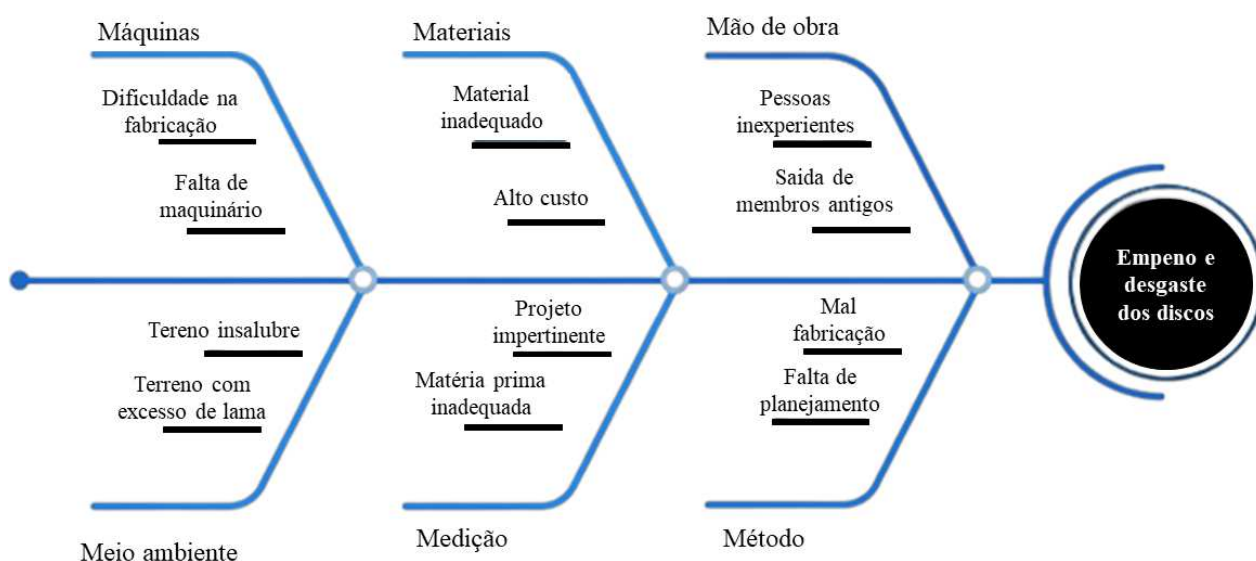
4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS POSSÍVEIS CAUSAS

4.2.1 Diagrama de Ishikawa

Com as principais problemáticas estabelecidas, pode utilizar o diagrama de Ishikawa para identificar as suas causas raízes. Além dos métodos de pesquisa supracitados para a confecção do diagrama foi realizado brainstorming com os membros da equipe Caraubaja SAE, os problemas abordados foram: empeno e desgaste dos discos que serão abordados no mesmo diagrama já que suas causas são semelhantes, já para altura inadequada do pedal, sistema com excesso de massa, rompimento das mangueiras flexíveis e torção do tubo de suporte do cilindro mestre, serão feitos diagramas distintos. Todos os diagramas foram elaborados com a primeira linha sendo a possível causa e a segunda o poque dela está acontecendo.

Na figura 14, é apresentada o diagrama de Ishikawa para a problemática do desgaste de discos, a partir desses dados e de estudos mais detalhados sobre o material do disco de freio, pode-se identificar que as principais causas raiz são, falta de maquinário aduado, alto de custo das matérias-primas, saída dos membros antigos, terreno com excesso de lama, falta de planejamento e matéria-prima inadequada.

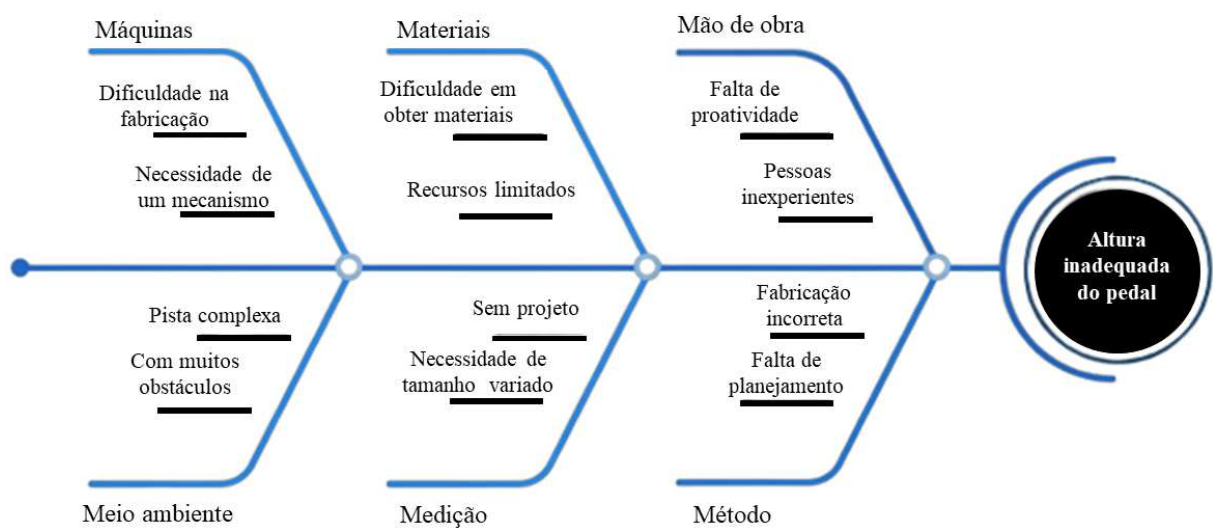
Figura 14: Diagrama de Ishikawa empeno e desgaste dos discos.



Fonte: Autoria própria

Já na Figura 15 é possível visualizar as prováveis causas raízes da problemática relacionado a altura inadequada do pedal de freio, as causas raízes identificados foram: recursos limitados, pessoas inexperientes, pista com muitos obstáculos, necessidade de tamanho variado, falta de planejamento e necessidade de elaboração de um mecanismo para realizar o ajuste da altura do pedal de acordo com a necessidade do piloto.

Figura 15: Diagrama de Ishikawa altura inadequada do pedal.



Fonte: Autoria própria

Na Figura 16 é ilustrado o diagrama de Ishikawa com relação a diminuir massa do sistema, nele pode-se averiguar as possíveis causas, que dificultam a redução de massa do sistema de freios, sendo elas falta de maquinário adequados, recursos limitados, falta de treinamento, pista com muitos obstáculos, dificuldade em substituir componentes e falta de experiência.

Figura 16: Diagrama de Ishikawa diminuir massa do sistema.



Fonte: Autoria própria

Através da Figura 17 é possível visualizar diagrama de Ishikawa referente ao rompimento das mangueiras flexíveis. Através dele pode-se verificar algumas das prováveis causas raízes, que normalmente ocorre durante a competição, fazendo com que o veículo perca a capacidade de frenagem, pois ocorre um vazamento do fluido de freio, trazendo risco não só para o piloto como também a público ali presente. Algumas das possíveis causas são: pouco acesso às máquinas, o material das mangueiras de freio tem que ser flexível e resistente, atrito com muitas peças, falta de treinamento, necessidade de maior utilização dos softwares e falta de experiência.

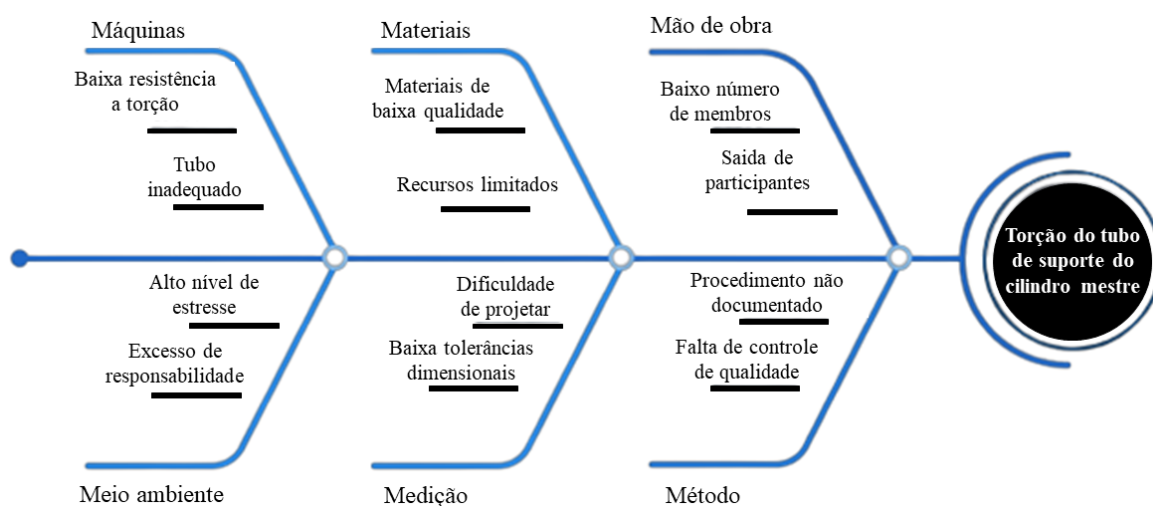
Figura 17: Diagrama de Ishikawa rompimento das mangueiras flexíveis.



Fonte: Autoria própria

Com o diagrama de Ishikawa ilustrado na Figura 18 é possível evidenciar as prováveis causas da torção do tubo, que suporta o cilindro mestre de freio, cifrando-se em tubo inadequado, recursos limitados, saída de participantes, excesso de responsabilidade, baixa tolerância dimensional, falta de controle de qualidade.

Figura 18: Diagrama de Ishikawa torção do tubo de suporte do cilindro mestre.



Fonte: Autoria própria

4.3 PLANOS DE AÇÃO

Depois de identificação das principais causas raiz, foram analisados os problemas que tiveram maior impacto negativo no projeto. Fazendo-se necessário um plano de ação para cada problemática, visando demonstrar medidas para minimizar ou até mesmo eliminar as causas.

4.3.1 Plano de ação para empeno e desgaste dos discos

Diante das informações observadas na Figura 13, onde foram selecionadas as principais causas raízes, que serão abordadas no Quadro 1, neste será indicado um plano de ação visando minimizar ou até mesmo solucionar as problemáticas predeterminadas no diagrama de Ishikawa.

Quadro 1: Plano de ação para empeno e desgaste dos discos.

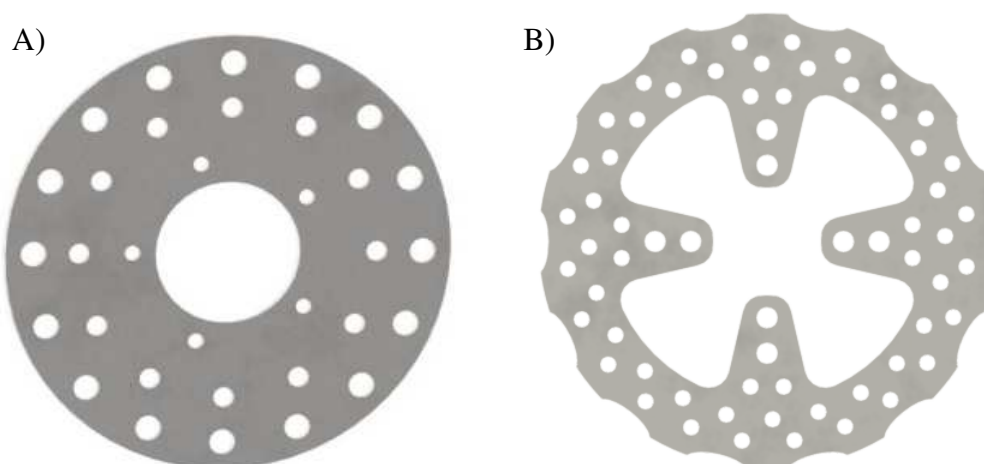
Causa raiz	Plano de ação
Terreno com excesso de lama	Geometria que promova a autolimpeza
Alto de custo das matérias-primas	Usar material alternativo
Matéria-prima inadequada	Realizar tratamentos termoquímicos
Saída dos membros antigos	Novo processo seletivo
Falta de maquinário adequado	Procurar parceria com empresas de usinagem
Falta de planejamento	Traçar metas e definir prazos

Fonte: Autoria própria

4.3.1.1 Nova geometria para os discos de freio

Para modelagem do disco freio foi utilizado o software Autodesk Inventor. A nova geometria tem padrão que facilita não só a autolimpeza como também ajuda no resfriamento do componente, sem do de suma importância, tendo em vista que a peça trabalha em temperaturas elevadas, já a mesma recebe o calor que é gerado, quando a energia cinética é transformada em energia térmica, (Junior, 2004). O maior resfriamento é promovido por conta que quando o ar passa através dos furos gera uma turbulência, possibilitando uma troca de calor com maior eficiência.

Na Figura 19 são demonstradas a geometria antiga A e a nova na B, na ilustração é possível visualizar que a nova modelagem possui um maior número de furos, espaço sem material e vazios na periferia. promovendo a dispersão da lama e outras impurezas ao qual a peça possa ser submetida durante o uso do veículo.

Figura 19: Modelagens do disco de freio A) antiga B) nova

Fonte: Autoria própria

4.3.1.2 Uso de material alternativo e tratamentos termoquímicos.

Nas quatro últimas competições, os discos de freio apresentaram um alto desgaste e problemas com deformação, devido ao alto requerimento durante as provas práticas como as de frenagem, suspensão e enduro, fazendo-se necessário a fabricação de novos discos a cada competição, gerando custos e demanda de mão de obra especializada. Como indicado no plano de ação, duas das principais causas são o alto custo das matérias-primas e matéria-prima inadequada, estas duas causas estão interligadas já que devido ao custo elevado de metais com melhores propriedades a equipe vem utilizando o aço SAE 1020 sendo este de baixo custo e com melhor usinabilidade.

Um dos propósitos da competição é que as equipes trabalhem como empresas, ou seja tente reduzir ao máximo os custos de produção dos protótipos. Devido a isso, a equipe optou por utilizar o aço SAE 1020 e outro ponto importante é a sua usinabilidade, fazendo com que o processo de produção seja melhor aplicado, se o material tivesse uma dureza elevada impossibilitaria a produção, nesse formato mais artesanal.

Com a finalidade de melhorar as propriedades do material foram realizados tratamentos termoquímicos, inicialmente foi realizado uma cementação, depositando carbono na superfície dos discos, com intuito de melhorar a resistência ao desgaste e aumentar a dureza superficial da peça. Logo após foi realizada uma tempera para elevar a dureza das peças como um todo e por fim um recozimento visando aliviar tensões internas.

Para realizar os tratamentos foram produzidos dois discos de freio, do aço SAE 1020 já com a nova modelagem, demonstrados na Figura 20, para realização dessa nova modelagem foram analisados discos de freio utilizados em veículos *off round* e carros de rally. Foi realizado uma micrografia mostrada no (Apêndice A), e um teste de dureza HRT15 nas peças, para identificar suas condições iniciais. Sua dureza média inicial foi de 20,5 HC para o disco 1 e 23,3 para o disco 2, a diferença se dá pela modelo de fabricação manual.

Figura 20: Discos de freio.



Fonte: Autoria própria

Em relação á cementação, o procedimento se deu em colocar os dois discos em uma caixa preenchida com carvão, mostrada na Figura 21. Em seguida a caixa foi colocada no forno mufla, preaquecido a 900 °C onde ficou por 10 horas na mesma temperatura, os horários de cementação e tempera foram definidos com base em (Carvalho 2013), após as amostras resfriarem foi repetido o teste de dureza, (Apêndice B).

Figura 21: Caixa de cementação.



Fonte: Autoria própria

Já no procedimento de tempera, as peças foram levadas para o forno aquecido a 850 °C onde permaneceram por 30 minutos, tempo suficiente para uniformizar a temperatura nos dois discos, em seguida as peças foram colocadas rapidamente em um recipiente com água, com intuito de gerar um resfriamento quase instantâneo dos componentes, na Figura 22 é possível visualizar as peças após o processo.

Figura 22: discos de freio pós-cementação.

Fonte: Autoria própria

Por fim foi realizado um processo de recozimento, o mesmo teve os objetivos de remover tensões internas, melhorar a ductilidade e ajustar o tamanho dos grãos. Para tal as peças foram colocadas no forno mufla a 550 °C e retirada após duas horas, então o forno foi delgado e as peças deixadas resfriar de dentro do forno, em seguida também foram para o teste de dureza superficial os valores obtidos em todos os testes podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3: Dureza HRT15 e HC.

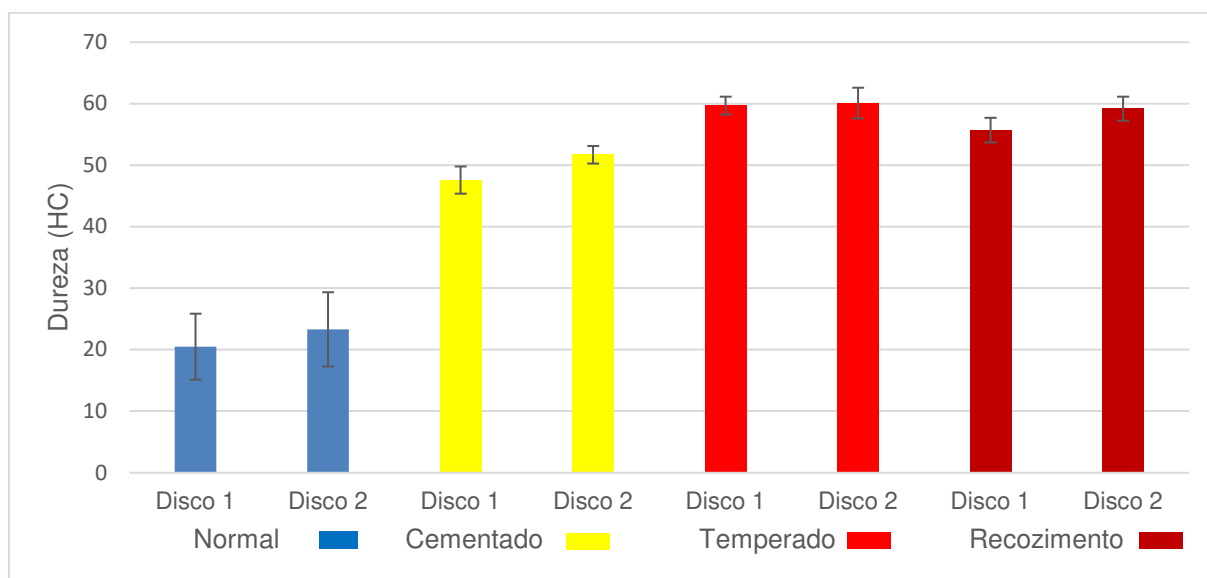
Dureza (HRT15)	Ensaio de dureza pré cementação		Ensaio de dureza após cementação		Ensaio de dureza após tempera		Ensaio de dureza após recozimento	
	Disco 1	Disco 2	Disco 1	Disco 2	Disco 1	Disco 2	Disco 1	Disco 2
1 (HRT)	61,5	60,6	85,9	83,8	89,3	92,2	88,6	91,1
2 (HRT)	72	72,8	82,9	86,7	90,7	92,9	89,5	91,6
3 (HRT)	75	74,1	87,1	87	90	87,6	89,8	87,2
4 (HRT)	73	72,7	84,6	86,8	88,2	87,7	84,8	88,3
5 (HRT)	73	75,7	81,6	87,4	92,1	91,2	88,2	90,9
Média HRT	70,9	71,18	84,42	86,34	90,1	90,32	88,2	89,82
Média HRC	20,5	23,3	47,6	51,7	59,7	60,1	55,7	59,2
Desvio padrão	5,36656315	6,03796323	2,21743095	1,44499135	1,46731046	2,51137413	1,99799900	1,94602158

Fonte: Autoria própria

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos, foi feita uma conversão dos valores de HRT15 para HRC sendo está uma escala de dureza mais utilizada. O gráfico demonstrado na Figura 23 foi colorido para ajudar na identificação da dureza de cada procedimento,

também foi colocado o desvio padrão de cada ensaio. Pode-se visualizar que houve um ganho considerável de dureza das peças.

Figura 23: Gráfico de dureza HRC.



Fonte: Autoria própria

Para validação dos resultados foram realizados testes em campo, onde os discos foram colocados no protótipo e levado a campo para ser testado num período de 30 horas. Após os testes, os mesmos foram levados para 28ª competição baja SAE Brasil, onde suportaram todos os esforços de forma adequada, com intuito de verificar se os discos realmente não sofreram empeno, os menos foram colocados sobre uma pedra de mármore onde foi realizada uma análise visual, constatando que não ocorreu nem empeno nas peças, demonstrando que os tratamentos foram bem-sucedidos conseguindo solucionar as problemáticas propostas.

4.3.1.3 Novo processo seletivo

O pouco número de membros ocasiona a sobrecarga da equipe, proporcionando a fabricação de componentes de forma incorreta, sem os devidos cuidados. as equipes de baja tem que trabalhar com um rodízio de pessoas, pois os alunos quando se formam nos determinados cursos, não pode mais participar das competições como integrante da equipe, por isto é sempre necessário a busca por novos participantes. No entanto, conseguir pessoas capacitadas para participar está cada dia mais difícil. Para o preenchimento das vagas ociosas,

foi proposto uma abordagem diferente no processo seletivo, com menor número de etapas e com uma maior divulgação.

No novo formato, o processo deverá se resumir a três etapas, prova teórica, entrevistas e processo de trainee, visando aumentar a divulgação do processo seletivo, os membros deveram fazer divulgação nas salas, aumentar o número de postagens sobre o processo seletivo e tentar expor o veículo junto com equipe o máximo possível em eventos dentro da instituição. A figura 24 demonstra a entrevista dos candidatos a trainee do processo 2023.

Figura 24: Processo de trainee 2023.



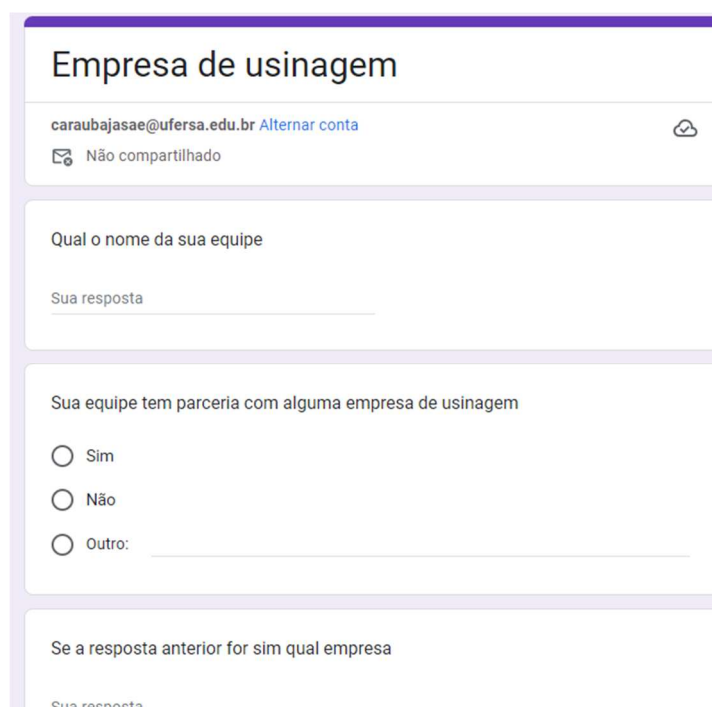
Fonte: Autoria própria

4.3.1.4 Procurar parceria com empresas de usinagem

A instituição de ensino o qual a equipe faz parte é desprovida de equipamentos de grande porte, como torno CNC e máquinas de corte a *laser* ou plasma, dificultando bastante a fabricação dos discos, até deixando com imperfeições que podem levar a falhas durante a sua utilização, trazendo risco para as pessoas ali presentes.

Tendo em vista os poucos recursos financeiros dispostos pela equipe, a proposta seria que a equipe fizesse uma parceria com uma empresa de grande porte, para que fosse possível a produção de peças de maior complexidade, em troca a equipe poderia fazer divulgação da empresa nas suas redes sociais.

Para auxiliar na busca por empresas com disponibilidade de patrocinar a equipe, foi criado um formulário no Google Forms link(<https://forms.gle/fsU28ANfyPsChizBA>). O link poderá ser disponibilizado em redes sociais, ou em grupos com participantes das competições baja SAE, na Figura 25 é possível visualizar o formulário.

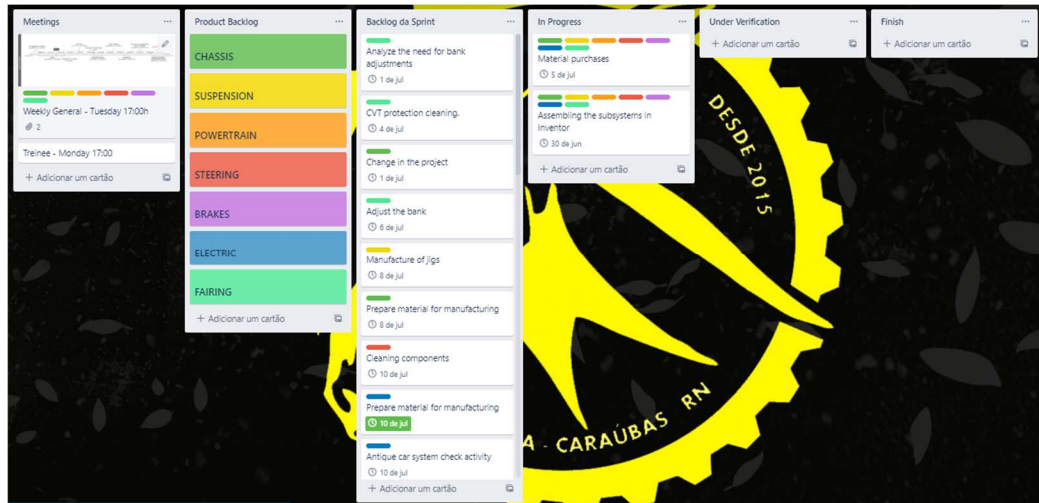
Figura 25: Formulário Google.


The image shows a Google Form titled "Empresa de usinagem". At the top, it displays the user's email "caraubajasae@ufersa.edu.br" with a link to "Alternar conta" and a status "Não compartilhado". The first question is "Qual o nome da sua equipe" with a text input field labeled "Sua resposta". The second question is "Sua equipe tem parceria com alguma empresa de usinagem" with three radio button options: "Sim", "Não", and "Outro:" followed by a text input field. The third question is "Se a resposta anterior for sim qual empresa" with a text input field labeled "Sua resposta".

Fonte: Autoria própria

4.3.1.5 Traçar metas e definir prazos

Para alcançar os objetivos, é necessário traçar as metas e definir prazos, pois sem organização nem uma empresa ou equipe conseguiria obter sucesso. Buscando uma nova forma de gerenciamento das atividades, foi encontrada a plataforma do Trello, que é uma ferramenta extremamente versátil e pode ser utilizada tanto para acompanhamento de tarefas pessoais, quanto para organização de projetos envolvendo empresas e grandes equipes. A Figura 24 mostra a interface do Trello, a mesma é de fácil visualização já que tem um esquema de cores simples e de fácil entendimento. Sem esse planejamento adequado muitas vezes fica impossibilitado, o aprimorado do veículo tendo em vista a dificuldade do cumprimento dos objetivos.

Figura 26: Interface do Trello equipe Caraubaja SAE.

Fonte: Autoria própria

4.3.2 Altura inadequada do pedal

Segundo o regulamento da baja SAE Brasil o veículo dever ter a capacidade de transportar pessoas de diferentes tamanhos e pesos “B1.3.2 O veículo deve ser capaz de acomodar um condutor desde 1,90 m de altura, com peso de 109 kg até um condutor de 1,45m de altura, com peso de 42 kg”, (SAE Brasil, 2023). Sendo assim necessário o ajuste da altura do pedal de freio, no Quadro 2 pode ser observado um plano de ação para tal.

Quadro 2: Plano de ação inadequada do pedal

Causa raiz	Plano de ação
Recursos limitados	Busca novos patrocinadores
Pessoas inexperientes	Uso dos POPS
Pista com muitos obstáculos	Elaborar pista de treino similar a competição
Necessidade de tamanho variado	Nova peça que possibilite o ajuste
Novo mecanismo	Nova peça que possibilite o ajuste
Falta de planejamento	Traçar metas e definir prazos

Fonte: Autoria própria

4.3.2.1 Busca novos patrocinadores

A equipe é sem fins lucrativos, mas necessita de recursos para comprar materiais e peças para construir os protótipos, visando arrecadar estes recursos é necessário a busca por novos patrocínios, foi elaborado um novo plano de patrocínio Figura 27, sendo dividido por classes de acordo com o valor de cada patrocínio começando de apoio, bronze, prata, ouro até diamante, cada tipo de patrocínio tem direito a uma classe de benefícios por determinado período de tempo, com divulgação do novo plano de patrocínio esperasse atrair um maior número de pessoas dispostas a colaborar com projeto.

Figura 27: Novo plano de patrocínio capa.

BENEFÍCIOS					
	 DIAMANTE	 OURO	 PRATA	 BRONZE	 APOIO
MÍDIA SOCIAL	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
EXIBIÇÃO DO PROTÓTIPO NA EMPRESA	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho
LOGO EM KITS DE DIVULGAÇÃO	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho
LOGO NO VEÍCULO	Verde	Verde	Verde	Vermelho	Vermelho
LOGO NO UNIFORME	Verde	Verde	Verde	Verde	Vermelho
CORES DA EMPRESA NO PROTÓTIPO	Verde	Vermelho	Vermelho	Vermelho	Vermelho

Fonte: Autoria própria

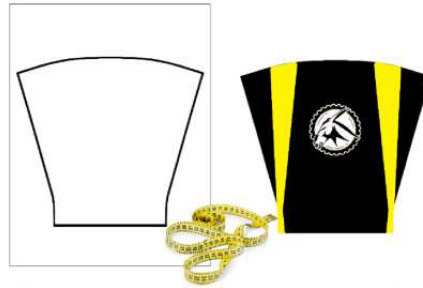
4.3.2.2 Uso do POP

O repasse de conhecimento entre os membros novatos e os mais antigos é de suma importância no desenvolvimento da equipe. Buscando facilitar este repasse de conhecimento, foram feitos vários POPs que são documentos organizacionais que traduz um plano para o trabalho a ser executado. Ele detalha e descreve todas as medidas importantes para realizar um determinado tipo de tarefa, exemplo é o POP de como fabricar o capô do protótipo, demonstrado na Figura 28.

Figura 28: POP de como fabricar o capô.

2.2. PROCEDIMENTO DE FABRICAÇÃO DETALHADO:

i. Verifique as medidas do capô pelo projeto e também pela estrutura do chassi, certificando-se de que estarão corretas para posteriormente marcar na folha de polipropileno;



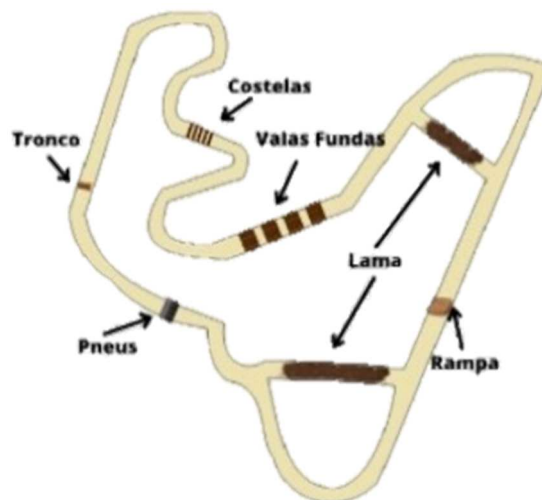
ii. Após desenhar as medidas na folha, recorte as partes maiores com a tesoura de chapa, podendo realizar os recortes finos com a retífica. É importante frisar a necessidade dos EPI's deste caso, os óculos de segurança.

Fonte: Autoria própria

4.3.2.3 Elaborar pista de treino similar a competição

Durante a competição, o protótipo é imposto a diversos obstáculos de grande dificuldade, o que leva a falha de vários componentes do veículo durante as provas. Uma das maneiras de minimizar ou até mesmo solucionar, seria construindo uma nova pista de treino similar a da competição e testando o carro por vários dias, assim seria possível descobrir os pontos falhos e melhorara-los antes da competição. Na Figura 29 pode-se visualizar como será a nova pista de treino da equipe Caraubaja SAE. projetada para simular a prova do enduro.

Figura 29: Novo formato da pista de treino.



Fonte: Autoria própria

4.3.2.3 Nova peça que possibilite o ajuste

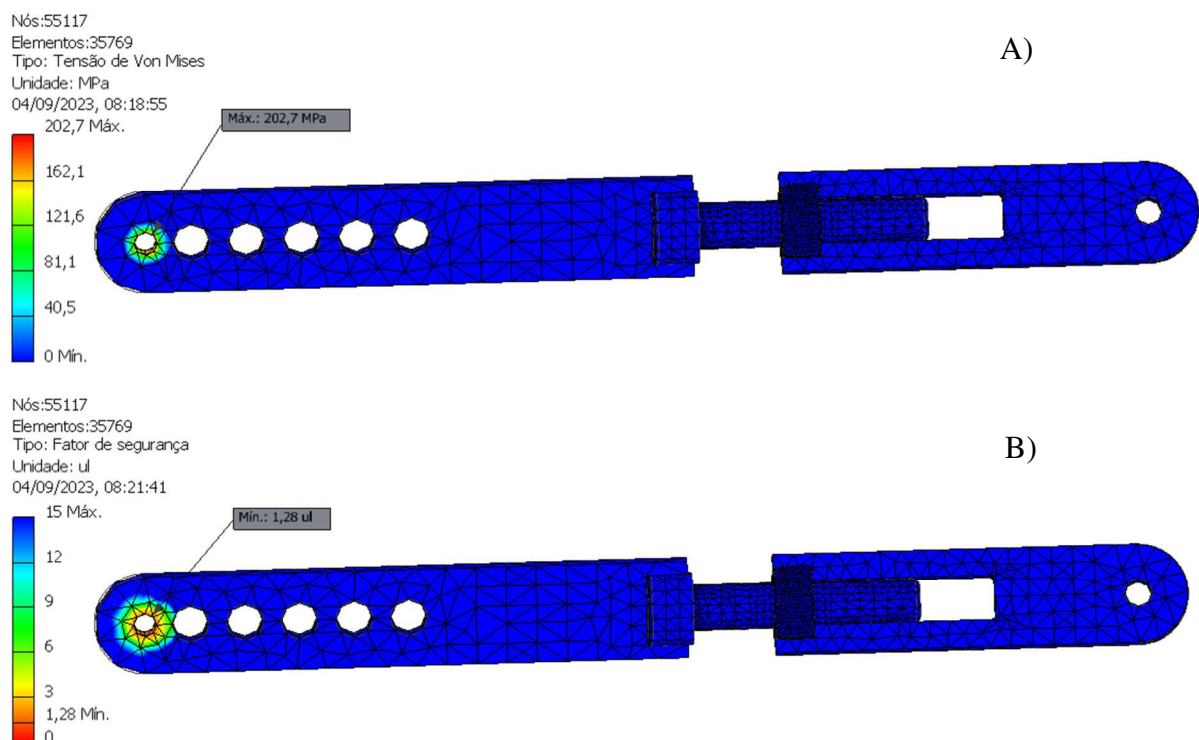
O ajuste será feito com o novo mecanismo que liga o pedal de freio ao cilindro mestre, mostrado no Apêndice C. De acordo com tamanho do piloto, o pedal poderá ter sua altura em relação ao piso aumentada ou diminuída. Possibilitando uma frenagem mais confortável para diversos tipos de pessoas. A força exercida na haste de acionamento do cilindro mestre pode ser calculada pela Equação 1, para averiguar se a peça suportaria os esforços foi realizado uma simulação no software Autodesk Inventor mostrada na Figura 30.

$$Ft = F * P \quad (01)$$

$$Ft = 823 * 6,5$$

$$Ft = 5349,5 \text{ N}$$

Figura 30: Simulação da haste de acionamento.



Fonte: Autoria própria

A simulação de tensão vista na Figura 30 A utilizou o critério de von Mises, demonstra que a peça obteve uma tensão máxima de 202,7 MPa, localizada no ponto de aplicação da força. Já a B demonstra o coeficiente de segurança de 1,28 demonstrando que a peça está validada para ser construída, o material escolhido foi o aço ABNT 1020. Para a validação do

componente, o mesmo foi colocado no carro e testada na pista durante 20 horas, onde teve seu funcionamento de forma ideal e sem sofrer nem uma deformação.

4.3.3 Diminuir massa do sistema de freio

Um dos grandes problemas da indústria automotiva é reduzir peso dos componentes sem que estes tenham perda de eficiência. De forma semelhante, as equipes que participam das competições baja SAE são desafiadas a tentar reduzir a massa do protótipo de forma a ter uma relação peso/potência que garanta eficácia sem comprometer o conforto e a dirigibilidade, Carvalho (2019). Nas últimas competições a equipe Caraubaja da UFERSA participou, com um dos mais pesados protótipos presente da competição, pesando cerca de 203 kg. Dessa forma, buscar diminuir essa massa para que o carro possa alcançar uma melhor performance é um dos objetivos anuais do projeto.

Mesmos com a necessidade de diminuir o peso do veículo, é importante lembrar que os freios são um dos principais sistemas de segurança do veículo, por isto é de suma importância um estudo detalhado de onde reduzir a massa do sistema. No Quadro 3, é possível visualizar um plano de ação com meios para tentar alcançar este objetivo.

Quadro 3: Plano de ação para diminuir massa do sistema

Causa raiz	Plano de ação
Dificuldade em substituir componentes	Busca por materiais alternativos
Falta de treinamento	Minicursos
Falta de experiência	Uso dos POPS
Recursos limitados	Busca novos patrocinadores
Falta de maquinário adequado	Procurar parceria com empresas de usinagem
Pista com muitos obstáculos	Elaborar pista de treino similar a competição

Fonte: Autoria própria

4.3.3.1 Busca por materiais alternativos

O sistema ainda utiliza algumas peças de aço carbono como o cilindro mestre, a proposta seria trocar este cilindro por um de um material mais leve como o de alumínio mostrado na Figura 31. Outra medida que pode reduzir a massa do sistema é a fabricação dos

discos com a nova geometria mostrados na Figura 20, somado a redução dos dois discos dianteiros temos um valor de 170,22 g seca de 20,24% da massa total.

Figura 31: cilindro mestre de alumínio.

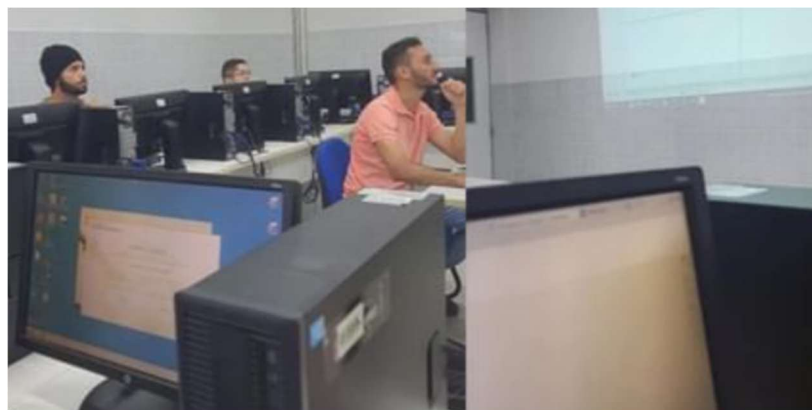


Fonte: Autoria própria

4.3.3.2 Minicursos

Fazem parte do projeto pessoas de diferentes períodos da universidade, as que estão no início do curso normalmente não tem muita experiência, principalmente em softwares de desenho, simulação e em projeto. Com intuito de repassar conhecimento para os membros, foi realizado uma série de minicursos como, por exemplo, o de modelagem no Inventor, o de simulação ansys e o de dinâmica veicular no PowerPoint, Figura 32. Fica a proposta de ser realizados outros minicursos como o de Excel, inglês básico e CorelDraw para o pessoal do marketing. Esses minicursos vão proporcionar fazer projetos de componentes, cada viés mais arrojado, aumento a eficiência de todos os subsistemas.

Figura 32: Minicurso de Inventor



Fonte: Autoria própria

4.3.4 Rompimento das mangueiras flexíveis

É possível visualizar no Quadro 4, o plano de ação com propostas para tentar solucionar ou pelo menos minimizar o problema com o rompimento das mangueiras flexíveis, que vem ocorrendo com uma maior frequência nos últimos anos.

Quadro 4: Plano de ação rompimento das mangueiras flexíveis

Causa raiz	Plano de ação
Atrito com muitas peças	Suporte da mangueira
Material necessita ser flexível e resistente	<i>Benchmarking</i>
Pouco acesso as máquinas	Treinamentos
Falta de treinamento	Minicursos
Necessidade de maior utilização dos softwares	Palestra sobre a importância de um projeto adequado
Falta de experiência	Uso dos POPS

Fonte: Autoria própria

4.3.4.1 Suporte da mangueira

As mangueiras flexíveis do veículo são localizadas entre as bandejas de suspensão fazendo com elas estejam em constante movimento, no entanto, as vezes as mangueiras se travam e acabam sendo prensadas pelas bandejas, visando melhorar a movimentação das mangueiras foi modelada e produzida uma nova peça, Figura 33. O novo componente será, fixado na bandeja de suspensão com a mangueira passando através dele, isto restringirá o deslocamento das mangueiras e reduzirá também o atrito entre elas e as bandejas.

Figura 33: Suporte da mangueira.



Fonte: Autoria própria

Com o intuito de validar o novo componente, foi colocado no veículo e testado na pista de treino da equipe durante 4 dias com uma média de 2,5 horas de teste por dia, onde suportou os esforços de forma adequada e inibiu o rompimento das mangueiras flexíveis. A Figura 34 foi tirada durante os testes.

Figura 34: Treino com o novo componente.



Fonte: Autoria própria

4.3.4.2 Benchmarking

Devido às mangueiras ficarem expostas a lama, pedras, plantas e outros diversos tipos de obstáculos durante a competição. É necessário que o componente tenha uma boa

resistência, além de ser flexível para acompanhar a movimentação dos componentes de suspensão. Encontrar componentes com essas qualificações no mercado está cada vez mais difícil, por isso foi proposto fazer um *benchmarking*, com outras equipes buscando novos fornecedores ou outras formas de solucionar tal incógnita.

4.3.4.3 Palestra sobre a importância de um projeto adequado

Quando se busca o crescimento de projeto ou empresa a gestão de projeto é de suma importância, pois a gestão de projetos visa reduzir o risco de fracasso e monitorar todas as etapas envolvidas, além de garantir os melhores resultados de projeto. A palestra em questão visa a reflexão da importância do uso de softwares para o aperfeiçoamento dos projetos, os programas podem ajudar tanto na parte teórica como com o Trello citado anteriormente como na parte de modelagem e simulação, com os softwares: Inventor, Ansys e Adams car. Essas palestras devem ser realizadas prioritariamente para os novos membros, logo no primeiro mês, gerando esse entendimento desde o início.

4.3.4.4 Treinamentos

Mesmo com a universidade pequena, algumas máquinas têm restrições de uso para os discentes, dificultando a produção de alguns componentes do veículo, alguns dos equipamentos com restrições para o uso são máquina de ensaio universal que poderia ser usada para realização de diversos testes, outra é a impressora 3D a qual poderia facilitar a produção de diferentes peças, como também o torno mecânico e fresadora. visando diminuir estas restrições foi proposto junto aos professores e técnicos a ideia da realização de treinamentos, para os membros da equipe nestes equipamentos de maior complexidade, enfatizando o modo de uso correto e os devidos métodos de segurança.

4.3.5 Torção do tubo de suporte do cilindro mestre

Devido a altos esforços no suporte do cilindro mestre, o tubo onde ele está localizado vem sofrendo torção, mudando o ângulo do cilindro mestre dificultando a frenagem e em casos extremos a inibindo totalmente, fazendo com o veículo tenha que ser removido da pista e reparado. O Quadro 5 contém propostas de possíveis soluções para este problema.

Quadro 5: Plano de ação torção do tubo de suporte do cilindro mestre.

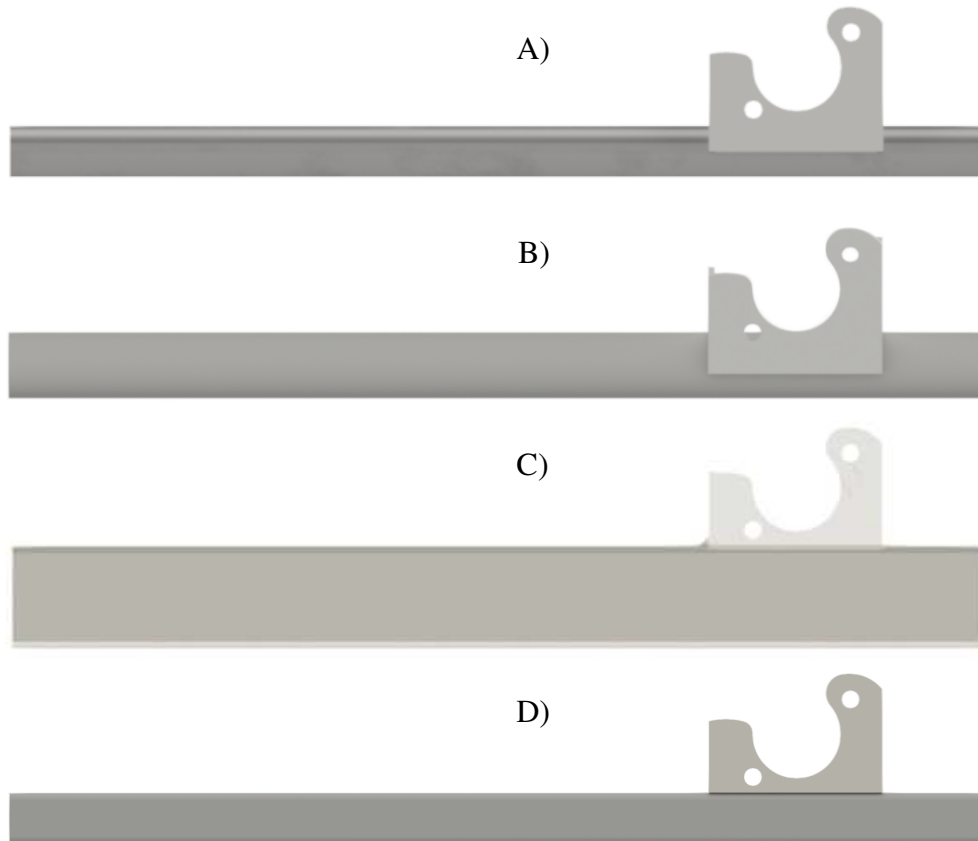
Causa raiz	Plano de ação
Tubo inadequado	Escolha de novo perfil
Baixa tolerância dimensional	Testes em campo
Saida de participantes	Novo processo seletivo
Excesso de responsabilidade	Rearranjo das funções
Recursos limitados	Busca novos patrocinadores
Falta de controle de qualidade	Uso do Trello e POPS

Fonte: Autoria própria

4.3.5.1 Escolha de novo perfil

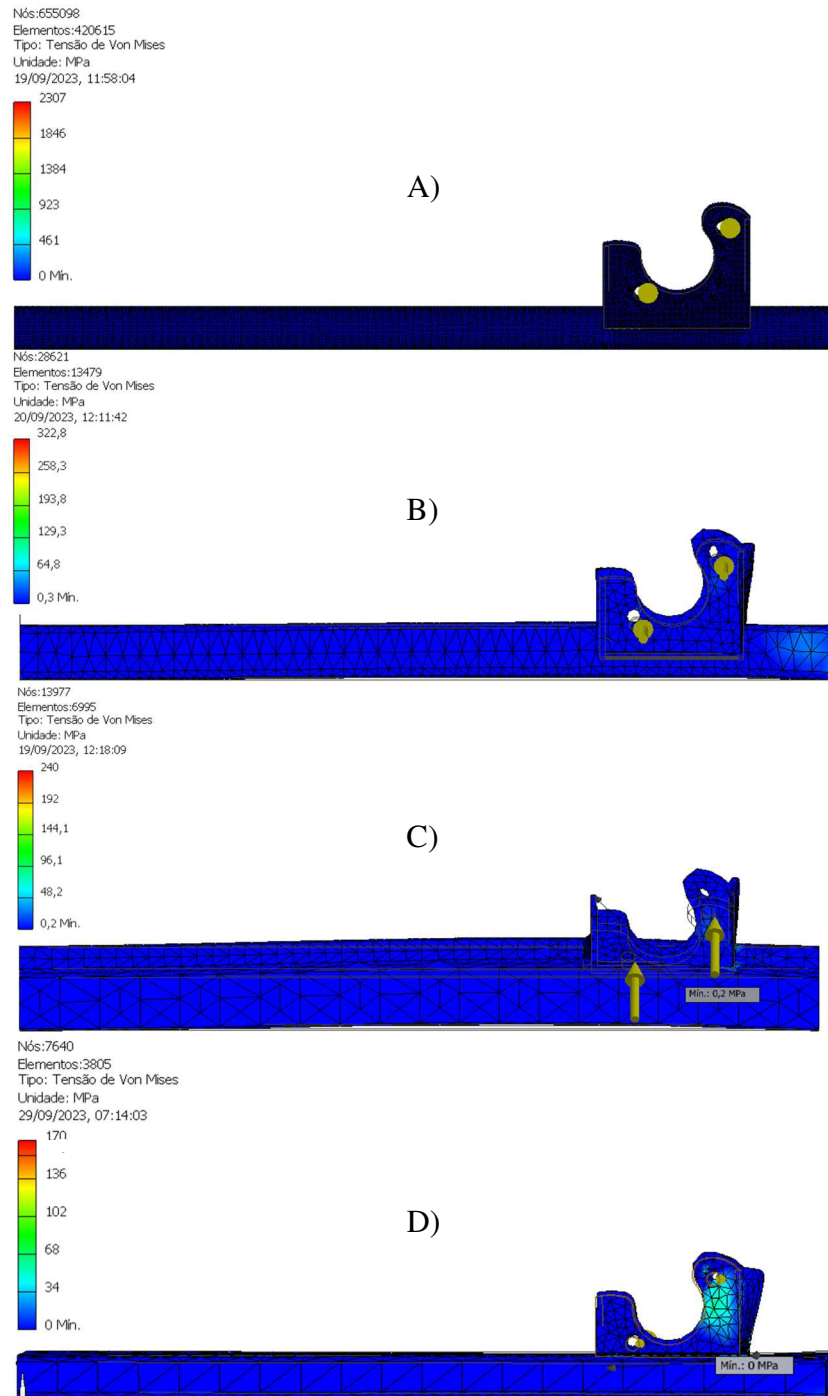
Para a escolha do novo perfil foram estabelecidos os seguintes parâmetros, material tem que ser de baixo custo, não acrescentar grande quantidade de massa, e suportar os esforços adequadamente. Dentro destes parâmetros, foram selecionados 3 perfis, que a equipe já detinha no estoque, portanto não sendo um custo adicional. A modelagem dos perfis foi realizada no Autodesk Inventor podendo ser visualizada na Figura 35 junto com o suporte do cilindro mestre. Os perfis têm 471,18mm de comprimento, o A tem diâmetro 25,4 mm e 0,9 de espessura, o B tem diâmetro de 31,8 mm, espessura de 1,6 mm, o C é um perfil retangular com designação 40x20x2, já o D tem as mesmas dimensões do C, mas foi colocado em uma posição horizontal, em relação ao chassi do protótipo.

Figura 35: perfis e suporte do cilindro mestre.

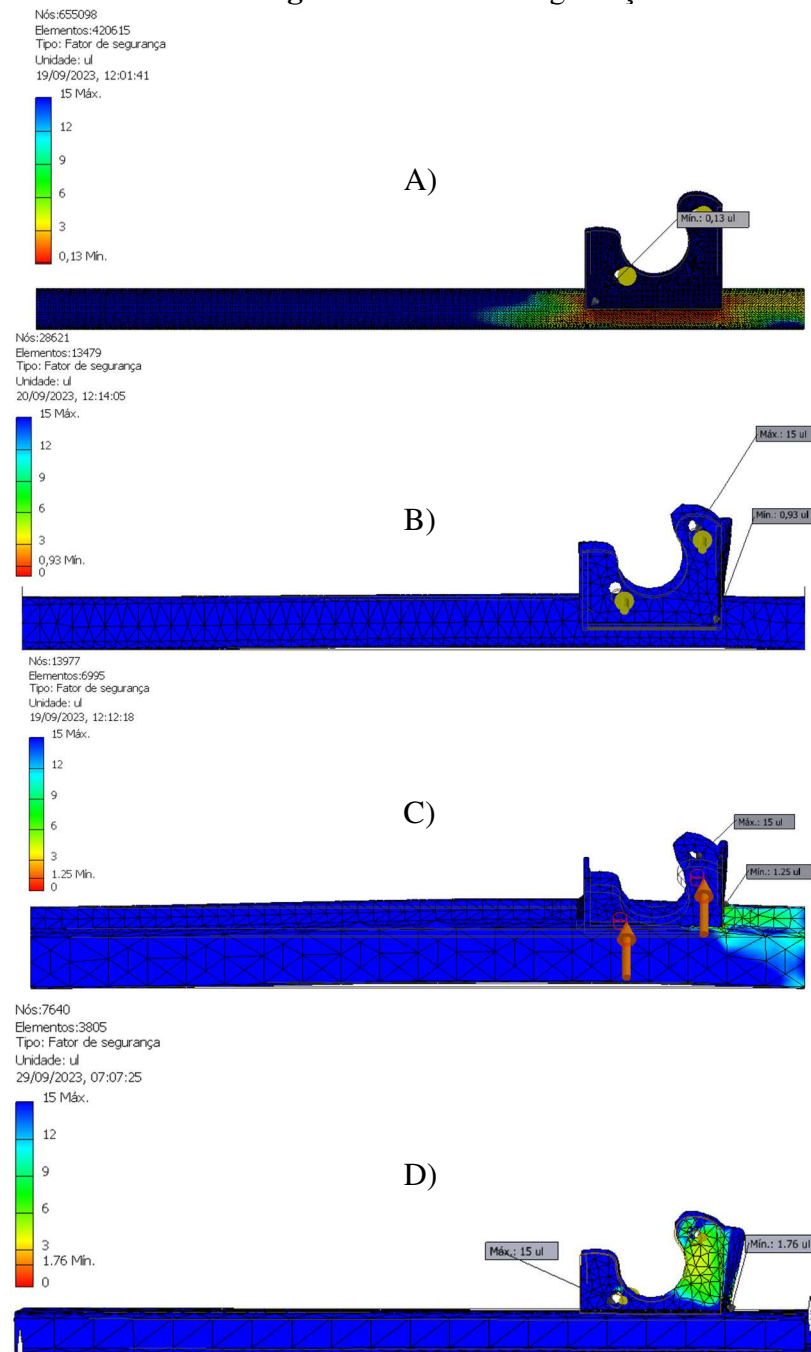


Fonte: Autoria própria

Foram realizadas simulações no software Autodesk Invento, para determinar qual perfil melhor se encaixa de acordo com a necessidades da equipe. Como condições contorno, tem-se as duas extremidades fixadas e uma força de 5349,5 N advinda da Equação (1). As simulações de tensão foram realizadas pelo método de elementos finitos e avaliada por de Von Misses mostradas na Figura 36, O perfil D obteve o menor valor de tensão máxima, entre os analisados sendo 170 MPA.

Figura 36: Simulação de tensão nos perfis.**Fonte:** Autoria própria

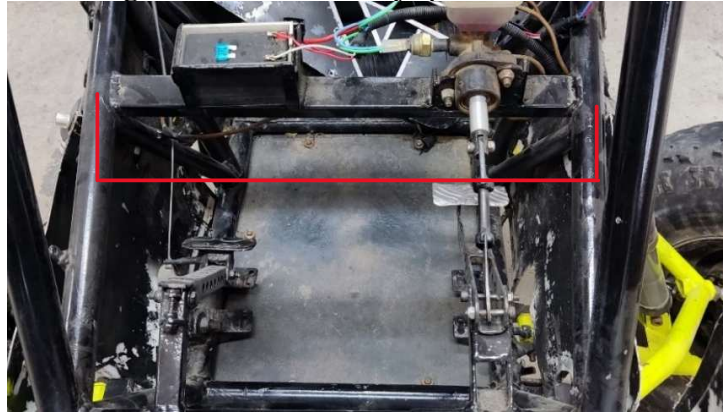
Já no Apêndice D, é demonstrado o deslocamento máximo de cada simulação, tendo o perfil C com o menor deslocamento, de aproximadamente 0,2141 mm. Na Figura 37 é tem-se o fator de segurança de cada montagem, sendo o perfil D o com maior fator de segurança cerca 1,76. Devido o seu bom fator de segurança comparado aos outros, o perfil D foi selecionado para ser colocado no veículo.

Figura 37: Fator de segurança.**Fonte:** Autoria própria

4.3.5.2 Testes em campo

O novo perfil onde é colocado o suporte do cilindro mestre, foi submetido a um esforço torcional, provocado pela força que aciona o cilindro mestre. O efeito de torção é complexo, tendo em vista a ocorrência de dois fenômenos: tensões tangenciais e deformações seccionais. Com o intuito de validar novo perfil, o mesmo foi colocado no protótipo, Figura 38. Quando levado a campo para testes de frenagem bruscas, o componente se mostrou hábil, pois suportou todos os esforços sem sofrer deformações, obtendo êxito nos testes.

Figura 38: Perfil novo já posicionado no veículo.

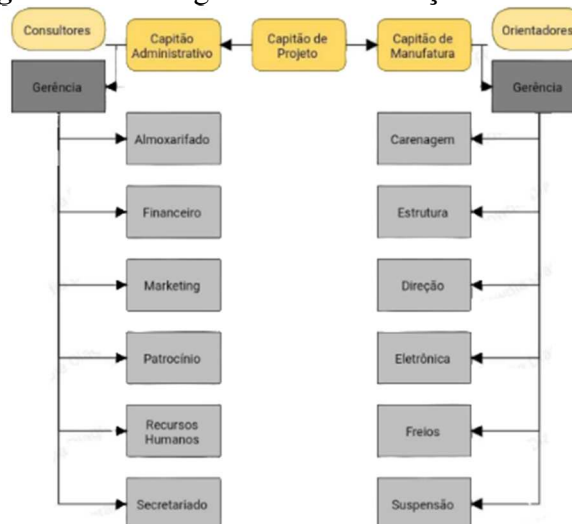


Fonte: Autoria própria

4.3.5.3 Rearranjo das funções

Quando os membros ficam sobrecarregados acabam fazendo suas devidas tarefas de forma apressada, sem tomar o cuidado necessário, podendo ocasionar em erros de projeto e fabricação, levando a ter peças defeituosas, muitas vezes tendo que ser descartadas gerando perda de material e mão de obra. Visando minimizar esta problemática, foi proposta uma reorganização das funções, como, por exemplo, a capitania da equipe era ocupada por uma única pessoa, no novo formato foi dividida em três, ficando um responsável pela parte de manufatura, outro pela parte administrativa e o terceiro como capitão geral, assim possibilitando uma divisão igualitária das funções entre os membros. Para a melhor visualização da nova forma de organização, foi confeccionado o fluxograma demonstrado na Figura 39. Possibilitando os membros da equipe projetar e confeccionar os componentes, com os devidos cuidados necessários.

Figura 39: Fluxograma da distribuição das funções.



Fonte: Autoria própria

5 CONCLUSÃO

A importância do estudo do sistema de freio proporciona novas descobertas, levando a mecanismos cada vez mais complexos, aplicações diferenciadas, custo-benefício, maior eficiência e, o mais importante, maior segurança para os usuários. Com base na análise qualitativa de informações, para fins desta investigação, pode-se concluir que a utilização de ferramentas da qualidade, como gráficos de Pareto e diagramas de Ishikawa, pode contribuir para um diagnóstico eficaz e a descobrir as possíveis causas raízes. Ajudando a projetar estratégias para solucionar as problemáticas.

- Os tratamentos termoquímicos aumentaram significativamente a dureza dos discos, diminuindo o desgaste e evitando o empeno dos discos;
- O novo suporte restringiu a movimentação das mangueiras, dificultando a sua quebra;
- O perfil selecionado para o suporte do cilindro mestre obteve êxito nas simulações numéricas e foi posto no veículo;
- Treinamentos e minicursos visando a transferência de conhecimentos para os novos membros foram realizados com sucesso;
- A nova pista de treino vem proporcionando testar o veículo com uma maior eficiência;
- O novo mecanismo promove o ajuste da altura do pedal de freio, tornando o protótipo mais confortável para um maior número de pessoas.

Os novos componentes foram testados em laboratório e/ou em campo, onde foi possível averiguar que todos suportaram de forma adequada os esforços impostos a eles. Assim demonstrando que este trabalho obteve resultados satisfatórios solucionando a maioria das problemáticas encontradas.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, Raphael Hayashi. **ANALISE DE DESGASTE EM MATERIAIS APLICADOS EM DISCOS DE FREIO**. 2015.

BAUMGARTEN, Júlio Frederico. **Cementação sólida empregando granulado elaborado a partir do carvão vegetal reciclado** Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2003.

CARVALHO, Paulo César Oliveira et al. **Otimização do processo de endurecimento superficial de aços de baixa liga**. 2013.

CARVALHO, Sammuel. D. C. P. **DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE FREIOS DA EQUIPE CARAUBAJA SAE**. Caraubas, 2019. 70 p.

CHIAVERINI, Vicente - Tecnologia Mecânica - **Processos de Fabricação e Tratamento**, Vol. II, Ed. Makron Books, 2a. Edição, 1986.

COSTA, Taiane Barbosa da Silva; MENDES, Meirivone Alves. **Análise da causa raiz: Utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura**. Anais do X SIMPROD, 2018.

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

JUNIOR, A. A. dos S. Freios e embreagens por atrito (2012). Disponível em: < www.fem.unicamp.br/~lafer/em718/arquivos/FreiosEmbreagens.doc>. Acesso em: 10 /07/ 2023.

JUNIOR, G. **Otimização de parâmetros de materiais de atrito de sistemas de freio usando algoritmos genéticos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

JUVINALL, Robert; MARSHEK, Kurt. **PROJETO DE COMPONENTES DE MÁQUINAS**. [S. l.], 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/44166208/PROJETO_DE_COMPONENTES_DE_M%C3%81QUINAS. Acesso em: 6 jul. 2023

LIMPERT, R. Brake design and safety. 02 Ed. ed. Warrendale: SAE Internacional, 1999.

NA PRATICA.ORG. **Diagrama de Ishikawa: o que é, para que serve e como usar.** [S. l.], 11 out. 2022. Disponível em: <https://www.napratica.org.br/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 26 jul. 2023.

MACNAUGHTON, M. Cast Iron and Brake Discs – a Brief History of their development and metallurgy. Foundryman, p.321-324, October, 1998.

NICOLAZZI, L. C.; LEAL, L. D. C. M.; ROSA, E. D. **Uma introdução à modelagem quaseestática de automóveis.** Santa Catarina: Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, 2012.

NORTON, R., Projeto de máquinas, Bookman, Porto Alegre, 2013.

OLIVEIRA, Simone Espíndola; ALLORA, Valerio; SAKAMOTO, Frederico TC. Utilização conjunta do método UP'–Unidade de Produção (UEP') com o Diagrama de Pareto para identificar as oportunidades de melhoria dos processos de fabricação-um estudo na agroindústria de abate de frango. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2005.

PETER, J.B. **Friction Science and Technology: From Concepts to Applications**, 2.ed. CRC Press, 2008.

REIF, K. Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems. Wiesbaden, Springer 2014.

RIBEIRO, G. S., **Análise do Comportamento Termoelástico de um Freio a Tambor Utilizando o Método dos Elementos Finitos.** Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2015.

SAE.BRASIL. Programas Estudantis - Baja SAE Brasil/Regras, 21 Novembro 2023. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/programas-estudantis/baja-sae-brasil/regras>>. Acesso em: 2 janeiro 2023.

SANTOS, Alexandre; POZZETTI, João; MORAES, Priscilla; AVELINO, Cleide Henrique. **Utilização da ferramenta Diagrama de Pareto para auxiliar na identificação dos principais problemas nas empresas.** [s. l.], 12 out. 2020.

SANTOS, G. C. M. D. **PROJETO E DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS APLICADOS A**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Rio de janeiro, p. 150. 2014. (UFRJ).

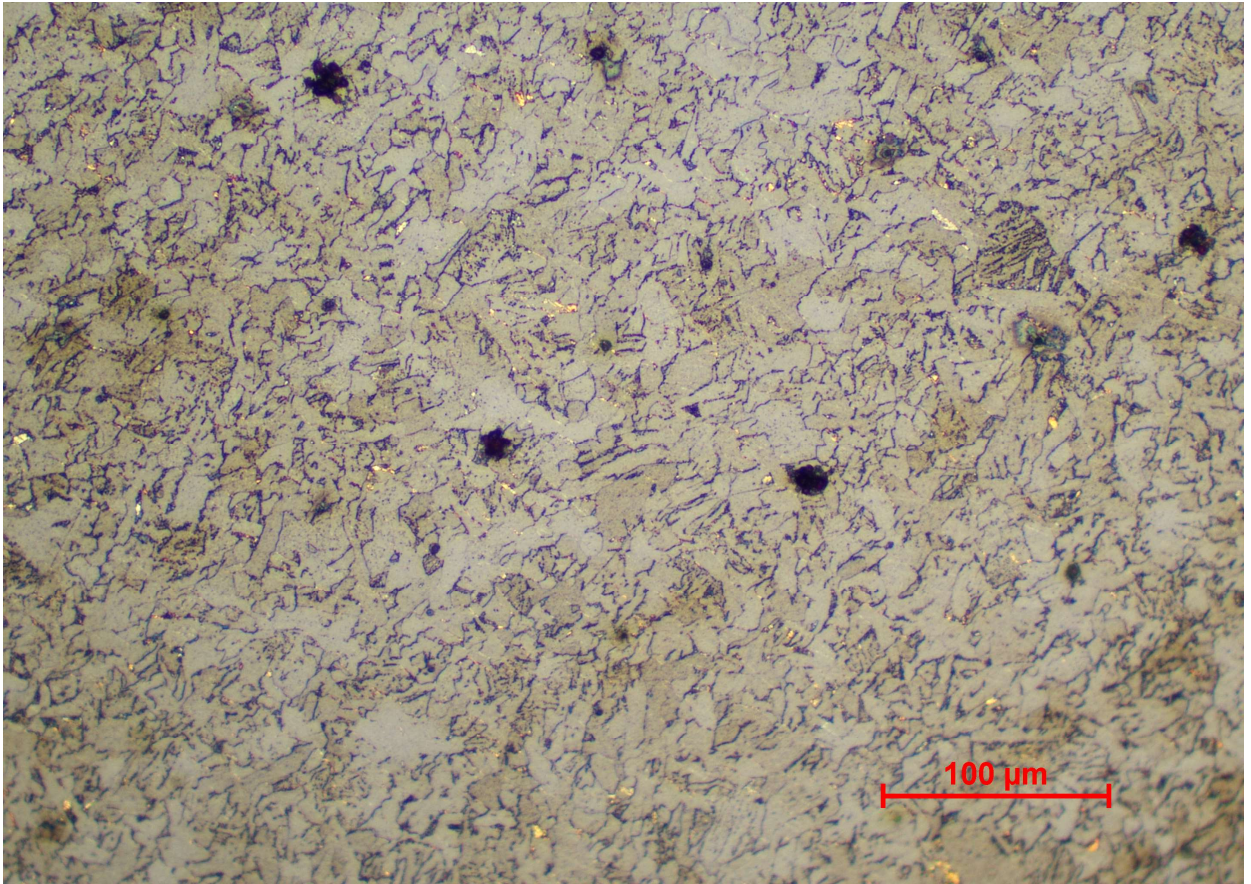
OLIVEIRA, S. E.; ALLORA, V.; SAKAMOTO, F. T. C. **Utilização conjunta do método UP' (Unidade de Produção -UEP') com o Diagrama de Pareto para identificar as oportunidades de melhoria dos processos de fabricação:** um estudo na agroindústria de abate de frango. 2006. Custos e Agronegócio, v. 2 - n.2 2006.

THE FAMILY CAR. Site especializado em automóveis. Disponível em: <https://www.thefamilycar.com/> . Acesso em 10 de junho de 2023.

UFERSA; CARAUBAJA. Equipe Caraubaja SAE lança primeiro protótipo veicular da Ufersa Caraúbas, 30 Outubro 2019. Disponível em: <https://engmecanicacaraubas.ufersa.edu.br/caraubaja/>. Acesso em: 5 jan. 223.

YOSHIDA, Lucas Silva et al. **Projeto adaptativo de um sistema de freios para utilização em carro de competição classe Fórmula SAE®**. 2013. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

APÊNDICE A: Micrografia aumento de 200 vezes.



Fonte: Autoria própria

APÊNDICE B: Teste de dureza superficial pós-cementação.



Fonte: Autoria própria

APÊNDICE C: Haste de acionamento (A) modelagem, (B) real.

A

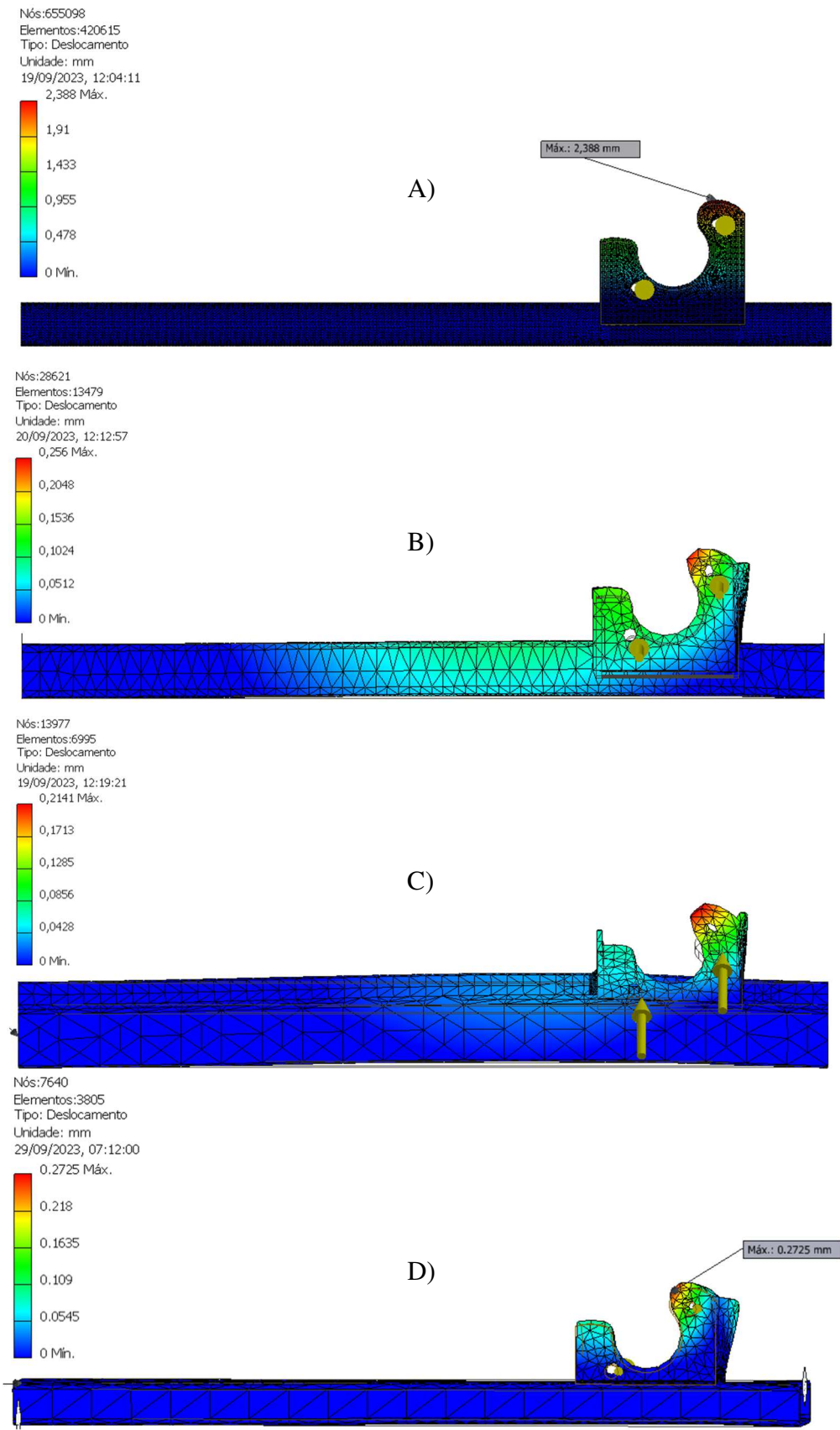


B



Fonte: Autoria própria

APÊNDICE D: Simulação de deslocamento perfis (A, B, C e D).



Fonte: Autoria própria