

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS**  
**Hércules dos Santos Martins Junior**

**PROJETO DE MELHORIA DA BALANÇA ASA DELTA**  
**Suspensão Carreta Semirreboque e Reboque**

**Belo Horizonte**  
**2023**

**Hércules dos Santos Martins Junior**

**Projeto de Melhoria da Balança Asa Delta  
Suspensão Carreta Semirreboque e  
Reboque**

Projeto de Pesquisa apresentado ao Prof.<sup>o</sup>  
Gabriela Parreiras como requisito parcial  
para aprovação na Disciplina Trabalho de  
Conclusão de Curso.

**Belo Horizonte**

**2023**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>4</b>
<b>3 PROBLEMA / SOLUÇÃO PROPOSTA PELO PROJETO .....</b>	<b>7</b>
<b>4 HIPÓTESES OU PRESSUPOSTOS.....</b>	<b>8</b>
<b>5 OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>5.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>13</b>
<b>5.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>6. METAS.....</b>	<b>18</b>
<b>7. PRODUÇÃO .....</b>	<b>24</b>
<b>8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início da mecanização dos processos produtivos, que se iniciaram de forma efetiva na primeira revolução industrial, no século XVIII, os desgastes de componentes metálicos são um inconveniente causados basicamente por atrito direto e é praticamente inevitável em máquinas e conjuntos mecânicos que geram ou transmitem movimentos,

Estes desgastes causados pelo atrito entre os componentes de um sistema como eixos, pinos, buchas dentre outros provocam prejuízos consideráveis, seja em manutenções, maquinário parado, e em algumas situações em que especiais para manutenção de equipamentos importados é inevitável a contratação de mão de obra especializada o que afeta diretamente o ciclo de produção do qual o equipamento faz parte.

Os componentes que sofrem desgaste podem ser de uma extensa gama de materiais, desde polímeros até itens cerâmicos. O aço ainda é o material de maior aplicação na indústria, seja pelo seu baixo custo, grande disponibilidade no mercado, facilidade de soldagem, usinagem e conformação mecânica e grande possibilidade de passar por tratamentos térmicos. Assim sendo, é natural que a maior parte dos itens e componentes desgastados sejam de aço em suas mais variadas especificações.

Consegue-se, entretanto, a redução dos efeitos dos desgastes realizando estudos, testes e melhorias nos maquinários que apresentam perda de produtividade considerável, pois sabe-se que eliminar totalmente o desgaste de componentes é algo impossível, devido a fatores limitantes dos próprios materiais como seu limite de escoamento, dureza, coeficiente de atrito e também seu processo de fabricação primário que pode variar mais comumente entre fundido, forjado, laminado, extrudado e também se seu processo de produção secundário que pode variar mais comumente entre usinado, trefilado, prensado. No entanto sabe-se também que na fabricação de peças e componentes de manutenção existe propositalmente a obsolescência induzida por parte de grandes fabricantes, que visa elaborar componentes com conceitos construtivos que tendem a ter uma vida útil reduzida

afim que seja feita a aquisição de novos componentes periodicamente, porem este aspecto pode ser atenuado ou até mesmo eliminada em alguns casos.

A manutenção preventiva também é um fator determinante na performance e vida dos componentes isolados e dos sistemas no qual estão inseridos, pois uma equipe de manutenção, além de monitorar a performance dos ciclos de trabalhos dos equipamentos através de inspeções de vibrações, temperatura, nível de ruído, alinhamento, níveis de lubrificação e refrigeração dentre outras variáveis de conjunto mecânico. Com base nestas análises são gerados dados e relatórios sobre os itens inspecionados para que sejam realizadas intervenções e manutenções que periódicas que podem evitar um dano maior futuramente.

O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento e o desgaste de balanças de suspensão (pinos, buchas e carcaça) e apresentar uma nova concepção de balança de suspensão para carretas de três eixos, de forma a minimizar a substituição deste item bem como aumentar sua vida útil. Estes componentes sofrem consideráveis desgastes afetando diretamente a viabilidade logística do transporte de cargas pesadas. As condições de operação e características construtivas serão apresentadas de forma a evidenciar uma concepção arcaica e simplista deste item que pode ser reprojeto aumentando assim, consideravelmente, sua vida útil, minimizando o tempo de parada do aparelho para manutenção dentre outras vantagens.

## **2. JUSTIFICATIVA**

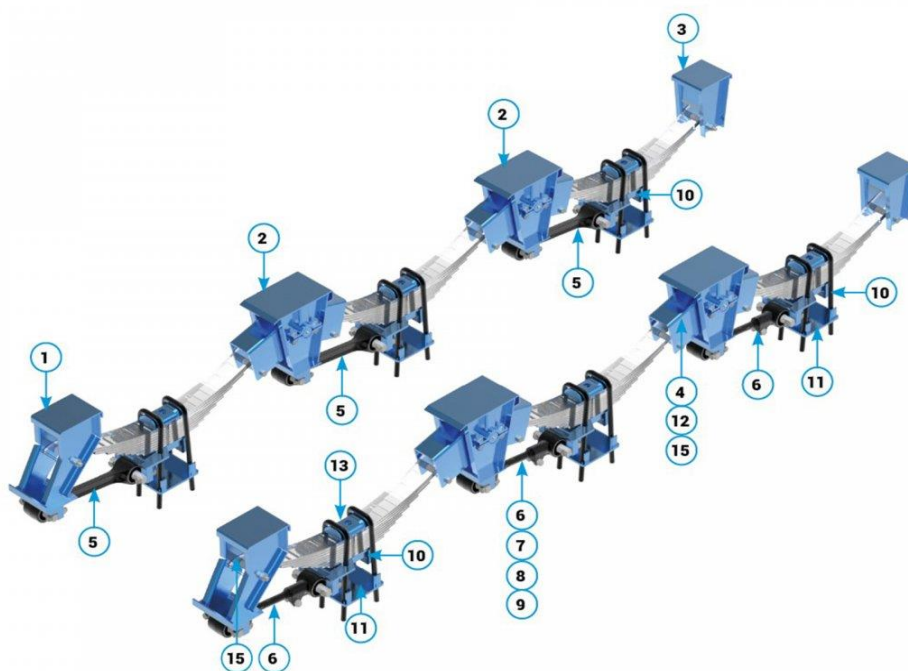
Este projeto foi elaborado a fim de aumentar a vida útil da balança, que se traduz na melhoria do sistema de substituição de seus componentes básicos como o pino e bucha. Estes componentes que trabalham em contato direto entre eles são também os que mais sofrem desgaste durante o trabalho de suportar as cargas dos feixes de molas do sistema de suspensão. Atualmente, é comum uma balança de suspensão ser substituída por completo devido a dificuldade de se monitorar os desgastes de seus componentes internos (pinos e buchas), o que gera o descarte de material no meio ambiente além de elevar os custos logísticos de operação e transporte rodoviário. Também elevam os custos de manutenção das frotas de grandes e pequenas empresas de transporte o que se traduz em um maior preço para o

consumidor final. No montante de custos e insumos para se produzir uma balança completa o tubo central e chaparia necessárias representam um total de 65% do custo total do produto, então criar um subterfúgio para atenuar estas perdas e aumentar a vida útil deste componente vital da suspensão de veículos pesados se torna para além de uma oportunidade de negocio uma necessidade para viabilizar ainda mais as operações logísticas de transporte de cargas pesadas uma vez que o modal de transporte rodoviário é o predominante no Brasil.

O impacto ambiental pode ser observado no descarte dos componentes sucateados, pois em geral os pontos de apoio e manutenção de veículos pesados são em sua maioria em locais ermos as margens de rodovias, o que dificulta a destinar o material para um comercio de reciclagem, também dificulta ou impossibilita que o descarte seja doado seja para coleta seletiva governamental ou privada. O acúmulo deste tipo de sucata é também um fator potencializador para proliferação de doenças como a dengue, pois sua geometria favorece o acúmulo de água da chuva.

Para citar o impacto financeiro tanto para empresas como para trabalhadores autônomos, deve-se levar em consideração o tempo de parada do veículo para manutenção e o valor da balança e mão de obra para sua substituição. Apenas a substituição do componente é um custo variável difícil de se prever pois a atual concepção das balanças disponíveis no mercado apenas apresenta sinais pane quando já estão no ponto de serem substituídas, isto pode levar ao comprometimento de componentes periféricos como o suporte central, o feixe de molas, o braço tensor e em casos mais extremos o chassi do veículo.

Assim sendo criar um projeto de balança de modo que o operador possa de modo intuitivo acompanhar a vida útil do item mensurar sua vida útil para possíveis manutenções e substituições pode reduzir consideravelmente os custos.



**Tabela de Ítems**

Item	Código	Descrição
1	OL0306A	Suporte dianteiro LD/LE
2	OL0307A	Suporte central LD/LE
3	OL0308A	Suporte traseiro LD/LE
4	OL0020SLOR	Balança
5	OL0501	Braço tensor fixo com bucha
	OL0501SB	Braço tensor fixo sem bucha
6	OL0502	Braço tensor com bucha e parafuso
	OL0502SB	Braço tensor sem bucha e parafuso
7	OL0506	Luva direita
	OL0507	Luva esquerda
8	OL0505	Varão do braço tensor
9	OLI3003	Bucha do braço tensor Ø71mm
10	OL1640F	Sapata superior para eixo retangular
11	OL1604	Sapata inferior para eixo retangular
12	OL1109	Pino da balança Ø50x230mm
13	OL6001	Separador de grampo
14	OL6010A	Cilindro batente de mola

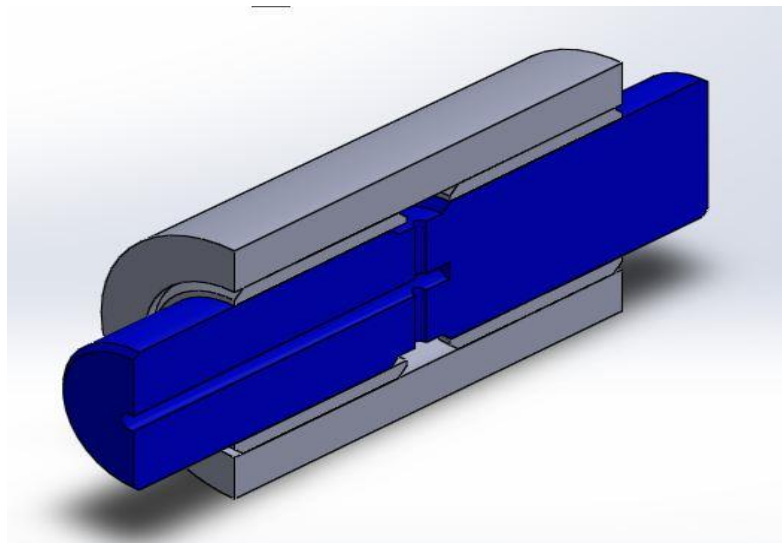
### 3. PROBLEMA / SOLUÇÃO PROPOSTA PELO PROJETO

A seguir está ilustrado a estrutura dos itens que compõe a balança asa delta para pino de diâmetro de 50 mm.



O tubo central abriga as buchas e o pino e é fixo juntamente com o restante da estrutura da balança o atrito e conseqüente desgaste ocorre nas buchas e no pino e quando não é feita a substituição de um desses componentes ou dos dois o desgaste é transferido para o restante da balança tubo central e carcaça ou estrutura, embora existe no pino um canal de lubrificação que pode ser único ou duplo muitas vezes esta lubrificação é negligenciada por usuários e mantenedores e uma vez que o desgaste atinge a estrutura da balança a mesma está condenada sendo inviável economicamente sua recuperação.





Balança condenada, o desgaste se alastrou para toda a estrutura da balança.

As balanças de suspensão possuem atualmente uma concepção muito arcaica quanto ao seu arranjo construtivo, pois é um item inteiriço ou monobloco aonde todos os itens do conjunto são unidos por uniões soldadas oque não possibilita a substituição dos itens conforme seu desgaste. Analisando este componente podemos propor uma melhoria em seu projeto construtivo de modo que seja possível substituir os componentes desgastados preservando sua estrutura ou carcaça.

#### **4. HIPÓTESE OU PRESSUPOSTO**

Quando uma balança de suspensão e substituída apenas quando chega ao ponto de estar condenada, ou seja, quando a balança perde a capacidade de absorver e apoiar os feixes de molas da suspensão deve-se considerar que o mal ou a

inoperâncias deste item irá afetar outros componentes do conjunto mecânico pertencentes a suspensão, isso irá impactar diretamente na produtividade e rentabilidade dos veículos e conseqüentemente da produção total da frota que opera com este tipo de suspensão.

As balanças de suspensão são classificadas como suspensão mecânica e é o modelo predominante no mercado sul americano, a algum tempo já existe no mercado as suspensões pneumáticas que são superiores as suspensões mecânicas em todos os aspectos pode-se citar; a estabilidade do veículo, a distribuição de carga mais uniforme, o menor nível de trepidação, proporciona maior dirigibilidade pois os pneus mantem uma área de contato com o solo maior e mais constante, estes são os principais vantagens competitivas do sistema pneumático. No mercado europeu as suspensões pneumáticas representem cerca de 80% da frota, no mercado norte americano as suspensões pneumáticas representam cerca de 50% da frota, porém no Brasil 85% da frota e composta por suspensão mecânica. Considerando a idade média da frota brasileira que gira em torno de 15,2 anos para carretas e caminhões e as péssimas condições da maioria das rodovias brasileiras podemos concluir que existe um grande mercado ainda a ser explorado, seja com projetos de melhorias e inovações para os veículos com esta característica construtiva.

Mitigar as desvantagens da suspensão mecânica face a suspensão pneumática é o intuito deste projeto, tornando sua aplicação menos onerosa e a manutenção dos conjuntos mais ágeis e economicamente mais produtivas.

A nova concepção de fabricação das balanças visa tornar o produto final mais flexível com a possibilidade de substituir as partes específicas da balança de suspensão preservando sua estrutura de base ou carcaça, o que se traduz em um setup menor para manutenções, e substituições.

## **5. OBJETIVOS**

O desgaste é uma condição que ocorre em peças em movimento, como por exemplo em eixos, pistões, válvulas, cilindros, engrenagens e peças semelhantes em máquinas, aparelhos mecânicos, maquinário de mineração, de construção,

britadores, escavadeiras, misturadores, e em muitos componentes de máquinas utilizadas na engenharia e na indústria.

Pode-se que o atrito é um fenômeno superficial, devido ao contato de superfícies dos itens, movimento e que resulta na erosão gradual das peças ou na danificação das suas dimensões, com lenta redução delas até um ponto que elas perdem sua geometria aceitável quando em serviço, ou apresentam muita alteração de seus ajustes, de forma que, deixam de exercer a função para a qual foram projetadas e ocasionando sua ruptura pela aplicação de uma pequena sobrecarga, ou por outro esforço pontual.

O desgaste ocorre pela perda de material ou pelo desprendimento de partículas metálicas de uma superfície interna ou externa. Esses efeitos são causados pelo contato de uma superfície metálica contra outra não metálica ou de uma superfície metálica contra líquidos ou gases em movimento. Assim sendo, podem ser considerados três tipos de desgaste:

- desgaste x contra metal (conhecido como desgaste metálico);
- desgaste de metal contra um material abrasivo (conhecido com abrasão);
- desgaste x vapores ou líquidos (conhecido como erosão).

O desgaste metálico, é identificado em desgaste por deslizamento, com lubrificação, como num pino em uma bucha, ou seco, sem lubrificação, como em tirantes, parafusos, porcas e desgaste por rolamento, com lubrificação, como em caixas de transmissão, engrenagens e sem lubrificação ou secos, como em rodas sobre trilhos.

O desgaste abrasivo – é identificado em desgaste por esmerilhamento ou lixamento, úmido, como em moinhos de martelo ou seco, como em alguns tipos de britadores cônicos; em desgaste por deslizamento, úmido, como transportadores de grãos úmida ou seca, como em rosca transportadora ou equipamentos de trabalhos com terra em solos áridos; em desgaste por impacto, úmido, como em carcaças de bombas de areia, ou seco, como em jatos de granalha de aço.

O desgaste erosivo – pode ser proveniente de gases e vapor, como por exemplo em rotores de bombas onde pode ocorrer o fenômeno de cavitação, por gases gerados pelo turbilhonamento do líquido bombeado, como em turbinas a gás e cabeçotes de biocombustíveis, e em dispositivos de fluxos turbulentos e alta velocidade de líquidos.

Os dois primeiros tipos de desgaste são os corriqueiros, sendo o desgaste metal x metal o referente a este estudo de caso

O desgaste metálico pode ser compreendido pela interferência mecânica de pequenas projeções ou asperezas das superfícies em contato e em movimento. Ao se deslocarem as duas superfícies uma em relação a outra, admite-se que as saliências de uma possam coincidir com as depressões da outra de modo a causar um aumento da resistência a movimento ulterior. Se a força causadora deste for suficiente para mantê-lo, as saliências das superfícies serão deformadas ou arrancadas, se o metal for pouco dúctil.

É de se supor, pois, que o desgaste metálico possa ser reduzido pela melhora do acabamento das superfícies em movimento e em contato, ou seja, tornando-as planas e macias de modo a diminuir o número de saliências que coincidem com as depressões.

Também mitiga o desgaste, a introdução entre as duas superfícies de uma película lubrificante a qual, sendo suficientemente espessa, poderá separar as superfícies de modo a eliminar o contato metálico.

Consegue-se mais facilmente a separação completa, se as superfícies adjacentes em contato forem macias, a não ser por asperezas microscópicas. Certos detritos de desgaste que se formam nas superfícies em atrito podem ser eliminados pela lubrificação, a qual ainda, mediante um sistema adequado de alimentação e fluxo do lubrificante, permite controlar melhor a elevação de temperatura provocada pelo atrito.

O desgaste metálico é igualmente explicado pelos efeitos que o calor produzido pelo atrito das superfícies em movimento pode causar: assim, o calor produzido causaria como que uma soldagem de partículas metálicas, as quais devido à pressão

exercida e ao movimento, são arrancadas deixando vazios na forma de depressões e produzindo saliências que mais contribuem para ulterior desgaste. Por outro lado, a temperatura desenvolvida pelo atrito pode reduzir a resistência e a dureza do metal e facilitar a oxidação ou outro ataque químico, tornando as superfícies mais suscetíveis ao desgaste.

Admite-se que o desgaste abrasivo seja causado pela penetração na superfície do metal de partículas não-metálicas de caráter abrasivo, ocasionando o arrancamento de partículas metálicas.

Quaisquer que sejam as explicações das causas que produzem o desgaste metálico ou o desgaste abrasivo, é certo que os mesmos são reduzidos pelo melhor acabamento das superfícies em contato e pelo aumento da dureza e da resistência mecânica do metal.

Em outras palavras, a resistência ao desgaste dos metais depende dos seguintes fatores:

- acabamento da superfície metálica, a qual deve se apresentar tão macia e plana quanto possível, de modo a eliminar depressões e projeções que ao coincidirem umas com as outras, produzem o arrancamento de partículas além de proporcionar, pela energia produzida, uma elevação de temperatura;
- dureza, a qual deve ser elevada, para que o metal resista à penetração inicial;
- resistência mecânica e tenacidade que, quanto mais altas, mais dificultarão o arrancamento das partículas metálicas, quaisquer que sejam as causas passíveis de produzir tal efeito.

A dureza é o fator mais relevante, pois dele depende o início do desgaste.

Outro fator também ponderável e que deve ser levado em devida conta é a estrutura metalográfica do material. De fato, num metal apresentando um sistema de duas fases, a presença de partículas relativamente grandes de um constituinte de baixa dureza e, portanto, vulnerável ao desgaste, numa matriz dura prejudica a sua resistência ao desgaste, ainda que o conjunto seja duro, ao passo que se a estrutura apresenta um constituinte possuindo partículas duras – carbonetos geralmente –

numa matriz mais mole, ela possuirá maior resistência ao desgaste, principalmente quando essas partículas duras não forem excessivamente frágeis e quando forem de pequenas dimensões e uniformemente distribuídas na matriz.

Os requisitos de alta dureza, elevados valores de resistência e tenacidade e estrutura adequada são conseguidos nos aços mediante os seguintes artifícios:

- composição química conveniente, pela introdução em altos teores de determinados elementos de liga;
- tratamentos térmicos ou termoquímicos de aços de composições apropriadas;

Assim sendo, a resistência ao desgaste dos metais pode ser obtida mediante os seguintes meios:

- mecânicos, pelo trabalho a frio ou encruamento proporcionados por laminação, estiramento ou deformação a frio; ou pela aplicação do processo de “jacto-percussão” ou “jacto-abrasivo” nas superfícies das peças;
- térmicos – pela têmpera total ou têmpera superficial (por chama ou por indução);
- termoquímicos, pelos tratamentos de cementação, nitretação etc.;
- revestimentos superficiais, pela aplicação de “cromo duro”, siliconização, eletrodeposição, metalização etc.

### **5.1. OBJETIVO GERAL**

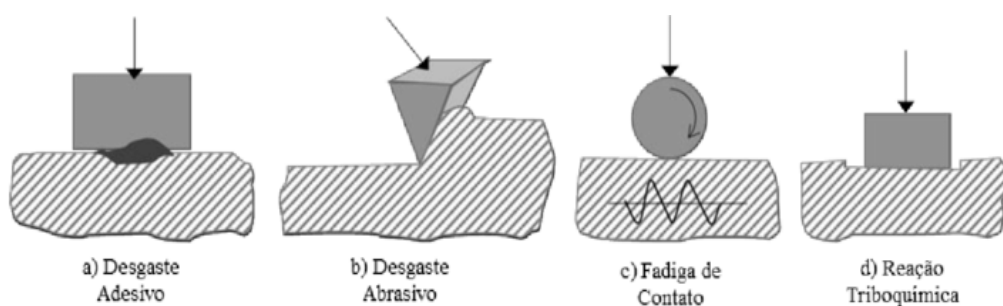
Com o passar dos anos e com inúmeros avanços tecnológicos nas ciências dos materiais os processos de fabricação industrial foram se aprimorando e com isso surgiram muitas opções de materiais para as mais variadas aplicações o que nos permite realizar especificações muito assertivas em projetos de mecânicos onde exista a interação em corpos metálicos nas suas mais variadas possibilidades.

A seguir podemos observar os quatro fenômenos ou mecanismos de desgaste por abrasão mais comumente encontrados conjuntos e sistemas mecânicos, estes

quatro tipos de desgaste podem se manifestar isoladamente ou em conjunto dentro de componentes mecânicos.

Os materiais aplicados exercem grande influência no desempenho na performance, vida útil, competitividade econômica, responsabilidade ambiental e na confiabilidade estrutural do projeto a ser desenvolvido, na análise de caso das balanças de suspensão a interação pino e bucha é um bom exemplo desta condição de operação.

Figura 1 - Mecanismos de abrasão de dois e três corpos



Quatro principais mecanismos de desgaste (Adaptado ref.: DIN 50320, 1979).

## 5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

O desgaste por adesão ocorre quando existe a fricção das superfícies planas e paralelas, esta fricção gera o aquecimento de ambas as superfícies, este atrito gera deformação plástica e permanente nos componentes, este desgaste se resume pelos diferentes coeficientes de atrito e rugosidade dos materiais que estão em contato.

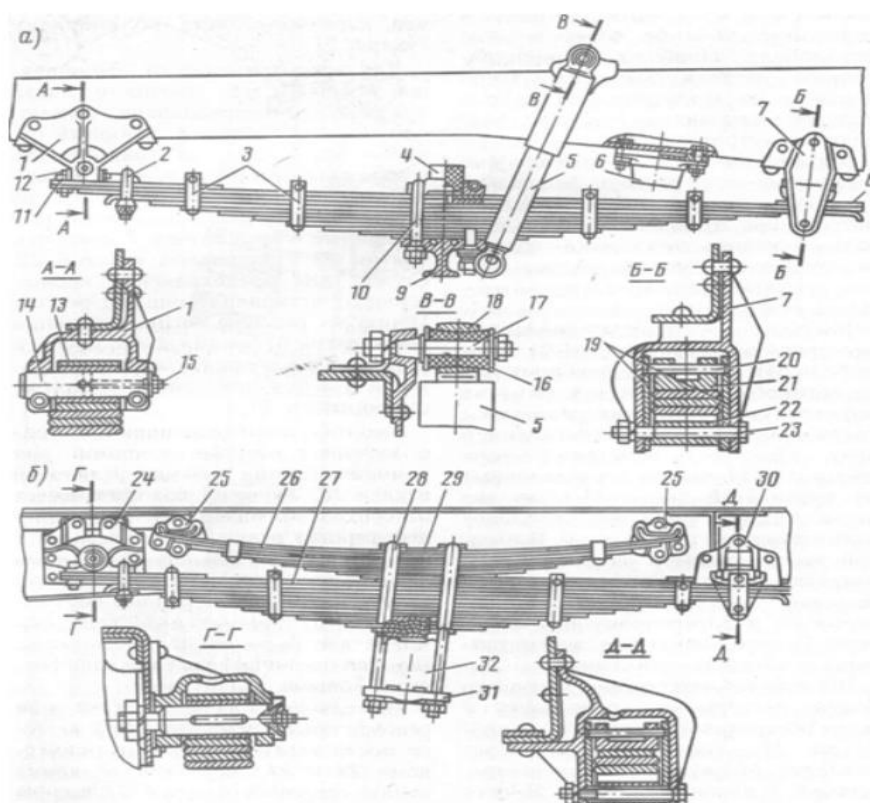
Na suspensão mecânica podemos observar os desgastes por adesão e abrasão na interação entre o feixe de molas e a chapa curva de apoio da balança de suspensão mais comumente conhecida como “peito de pombo”, quando a o feixe de molas se encontra em repouso (carreta vazia) o mesmo tende a ficar menos paralelo em relação à chapa de apoio gerando o desgaste por atrito, e quando a carreta se encontra carregada o feixe de molas tende a ficar mais paralelo com a chapa de apoio

devido a força de compressão exercida pela carga, gerando assim o atrito por adesão.

Os feixes de molas são comumente barras de aço forjadas em aços de dureza considerável como o aço mola SAE 1070 e SAE 5160 que inda passam por processos de tratamento térmico para endurecimento, já as chapas de apoio das balanças são comumente fabricadas em aço comuns de baixo carbono e baixa dureza SAE 1010 e SAE 1020, pois possuem um custo consideravelmente mais baratos.

Esta interação é bastante danosa para ambas as peças, pois elas interagem suportando elevadas cargas, vibrações e variações de temperaturas.

Figura 2 – Interação entre feixe de molas e balança de suspensão



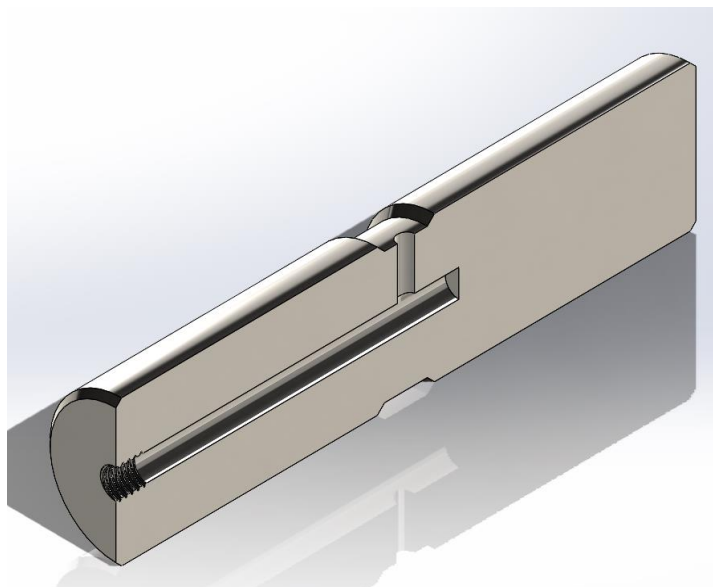
Suspensão dependente do caminhão: a - eixo dianteiro; b - eixo traseiro (Randon)



O desgaste por fadiga de contato ocorre devido ao atrito causado por esforços cíclicos, compressivos e concentrados, este desgaste gera cavidades e poros nas superfícies envolvidas o que pode ser traduzido como perda de material, este tipo de desgaste além de consumir o material dos componentes também pode gerar e propiciar a corrosão do sistema quando não existe uma lubrificação adequada ou mesmo quando a interação dos componentes é propositalmente projetada para trabalhar a seco ou sem lubrificação.

Na balança de suspensão podemos observar a ocorrência deste desgaste na interação pino e bucha.

Figura 3 – Pino  $\varnothing 50$  mm



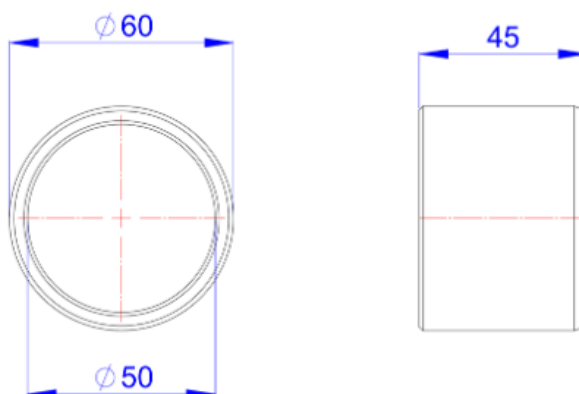
Pino (Ilustração do próprio autor)

Os pinos das balanças de suspensão são comumente fabricados em aço SAE 1020 em alguns casos, alguns fabricantes fazem tratamento térmico de cementação afim de criar uma superfície rígida e preservar um núcleo dúctil, os pinos devem possuir um canal de lubrificação para a manutenção do seu bom funcionamento. Embora a cementação consiga aumentar a dureza e vida útil do pino este subterfugio é insuficiente pois o aço SAE 1020 é um aço muito macio que não pode possibilitar uma performance mais eficiente.

O mesmo ocorre com as buchas da balança de suspensão, são fabricadas comumente em aços macios de baixo carbono como por exemplo o SAE 1020, podem em alguns casos passar por tratamento térmico de cementação e tal qual os pinos, devido as características estruturais do seu material não é capaz de possibilitar uma performance superior a estimativas atuais.

A lubrificação atua na interação mecânica de rolamento entre os pinos e as buchas, porém muitas vezes esta lubrificação é negligenciada, e quando o atrito entre estes componentes ocorre a seco isto potencializa consideravelmente o desgaste.

Figura 4 – Bucha  $\varnothing 60$  mm



Detalhe das buchas (ilustração do próprio autor)

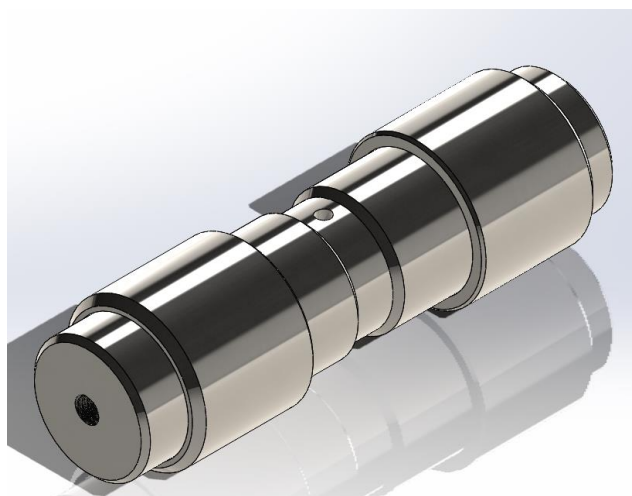


Figura 6– Montagem pino e bucha (ilustração do próprio autor)

No conjunto pino e bucha pode ser observado os conceitos do desgaste por tribologia, a tribologia pode ser definida como o estudo do fenômeno da abrasão através da fricção que gera desgaste e a lubrificação possui um papel importante durante o contato entre superfícies sólidas em movimento relativo.

## **6. METAS**

A ideia principal deste projeto consiste em um projeto de melhoria e concepção das balanças de suspensão, esta nova concepção tem por finalidade o desenvolvimento de um novo conceito de montagem, fabricação e funcionalidade, tanto de operação quanto de manutenção. O projeto construtivo existente e disponível no mercado hoje se resume a um componente monobloco e de difícil manutenção, ou seja, uma vez que um de seus componentes é avariado o esforço para sanar as avarias é um ponto crítico pois demanda considerável tempo do veículo parado e elevados custos para substituição.

Para os pinos de aço da balança a melhoria consiste em substituir o material do item que já dito e fabricado em aço SAE 1020 por aço SAE 1060 que possui propriedades mecânicas e características para sua aplicação muito superiores, uma outra vantagem é possuir usinabilidade muito superior ao SAE 1020, uma vez que seu processo de fabricação e através da usinagem

O aço SAE 1060 possui boa combinação de dureza e tenacidade quando tratado, porém, má soldabilidade e como já usinabilidade. É ideal para os pinos que necessitem de certa resistência ao desgaste após têmpera e revenimento o aço SAE 1060 tem é muito aplicado em ferramentas manuais e eixos de transmissão para indústria automotiva e pode ser temperado em óleo ou água.

Este conceito de substituição do material dos pinos se aplica também as buchas, que devem ter um material mais resistente mecanicamente para acompanhar os desgastes do pino de forma mais sincronizada possível.

A maneira mais corriqueira de trabalhar as propriedades físicas, mecânicas e até mesmo químicas dos aços em suas mais variadas composições é por meio de tratamento térmico. O tratamento térmico consiste em aquecer e resfriar do material, neste trabalho vamos analisar a experiência realizada em amostras de SAE 1060.

Estas amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de recozimento, normalização e têmpera. O recozimento é um tratamento térmico que consiste em aquecer aço até sua zona crítica e em seguida submeter o aço a um resfriamento lento. A função do recozimento é recompor as propriedades que foram modificadas por tratamentos térmicos primários como a têmpera ou por conformações mecânicas e homogeneizar sua estrutura cristalina.

O tratamento chamado de normalização térmico é definido por possuir uma estrutura final mais homogênea e fina em comparação a que é obtida no recozimento, para se obter uma melhor resistência mecânica e tenacidade no aço processado. A têmpera por sua vez tem como finalidade aquecer o aço até atingir a temperatura onde se alcança uma microestrutura austenítica e manter a peça nessa temperatura (800°C) por determinado tempo, e óleo ou água, o que pode gerar grandes velocidades de resfriamento, resultando na formação de uma nova estrutura chamada de martensita.

Foi utilizado para o experimento um pino com diâmetro de 50 mm e comprimento de 203 mm de aço SAE 1060, este corpo de prova foi segmentado em sete elementos e em três amostras, que foram usinadas ficando com 20 mm de comprimento e 20 mm de diâmetro, em seguida foram identificadas por tratamento térmico definido para cada amostra, sendo elas: CA, CB, CC, CD, CE, CF e CG. A amostra número um (amostra CA) não sofreu tratamento térmico, a amostra CA serve como parâmetro referencial para as medições de dureza e identificação das estruturas cristalinas das demais amostras. A amostra número dois (amostra CB) sofreu tratamento térmico de recozimento e aquecida até uma temperatura de ~918°C durante um período de 8 minutos. As amostras número três (amostra CC) amostra número quatro (amostra CD) sofreram tratamento térmico de normalização com uma temperatura de 850°C durante um período também 8 minutos, a amostra CC passou por um resfriamento forçado e a amostra CD sofreu um resfriamento ao ar livre. Por sua vez as amostras de número 5 (amostra CE), a amostra número seis (amostra CF) e a amostra número sete (amostra CG) passaram por um aquecimento durante um período de dez minutos sucedido por uma têmpera partindo de uma temperatura de ~850°C, e posteriormente foi resfriada em óleo para a amostra CE, resfriada em gelo para a amostra CF e resfriada em água a temperatura ambiente para a amostra CG.

Após aos respectivos tratamentos térmicos as sete amostras tiveram suas durezas aferidas através de ensaios de Dureza Rockwell, onde cada uma das amostras foi submetida a quatro ensaios.

Na Tabela 1 (figura 7), estão os resultados das medições de durezas conforme os tratamentos térmicos a que cada uma passou respectivamente. Podemos observar que as durezas progridem conforme com a velocidade de resfriamento aplicada em seu tratamento térmico.

**Tabela 1 – Durezas médias obtidas para o Aço 1060 após diferentes Tratamentos Térmicos**

Amostra	Dureza (Hardness Brinell)	Tratamento Térmico
CA	286 HB	Não sofreu tratamento térmico
CB	196 HB	Recozimento
CC	253 HB	Normalização forçada
CD	247 HB	Normalização Branda
CE	235 HB	Têmpera no óleo
CF	534 HB	Têmpera no gelo
CG	415 HB	Têmpera na água

Figura 7– Instituto Federal do Para

Na Figura 8 vemos a microestrutura do Aço 1060 da amostra CA aumentado 100 vezes. Os setores brancos são a ferrita, e os setores escuros são a perlita. Podemos observar que a porcentagem de carbono na lâmina é muito alta. Era uma amostra que provavelmente passou por alguma normalização, pois não é possível observar encruamento de grão, evidenciando uma conformação a quente.

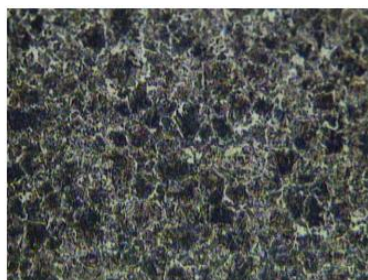


Figura 8– Instituto Federal do Para

Na Figura 9 pode-se observar a microestrutura da amostra CB, que sofreu recozimento aumentada em 100x. Podemos observar nessa lâmina o processo de um grão mais refinado, podemos concluir que a barra inicial, que não sofreu nenhum tratamento, provavelmente sofreu tratamento térmico após à sua conformação, e

deve ter ficado muito tempo no forno, o que influenciou a obtenção de grãos muito grosseiros.

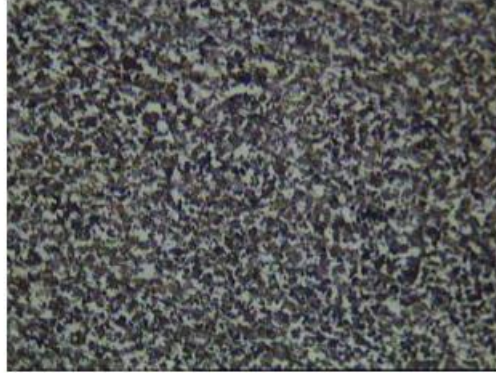


Figura 9– Instituto Federal do Para

Na figura 10 vemos a microestrutura da amostra CC, que passou por um processo de normalização induzida. Nota-se que o grão já não possui um grau de refino como no recozimento. Provavelmente esses grãos grosseiros se formaram pelo tempo que a amostra permaneceu no interior do forno.

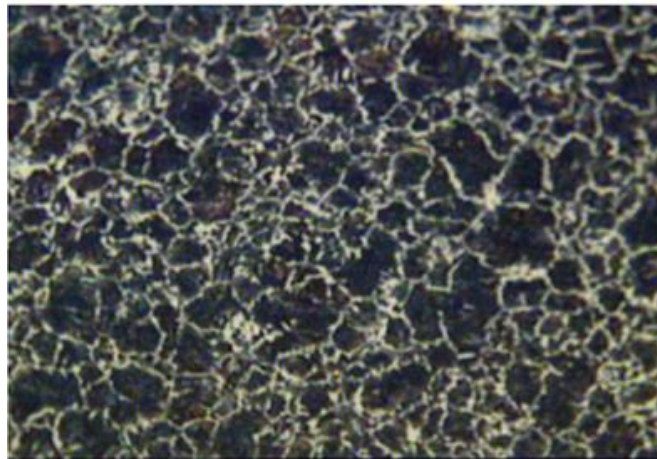


Figura 10– Instituto Federal do Para

Na Figura 11 vemos a microestrutura da amostra CD, que passou por normalização leve. Observa-se que os grãos se apresentam de forma mais grosseira comparado com a amostra CC, isto se deve a velocidade de resfriamento.

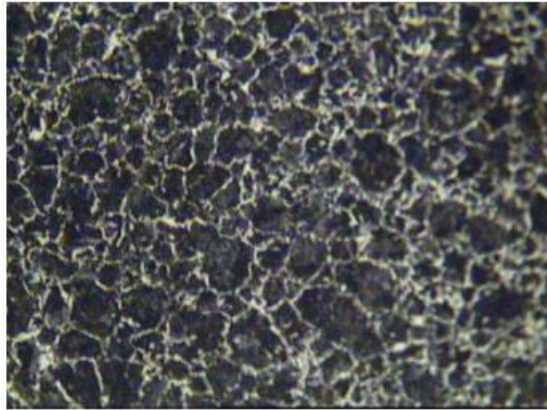


Figura 11– Instituto Federal do Para

Na Figura 12, podemos ver a microestrutura da amostra CE, que apresenta uma estrutura granular discrepante das primeiras amostras, pois a amostra sofreu uma têmpera em óleo queimado. Nota-se um elevado teor de carbono, a amostra tem toda sua microestrutura com martensítica predominante.

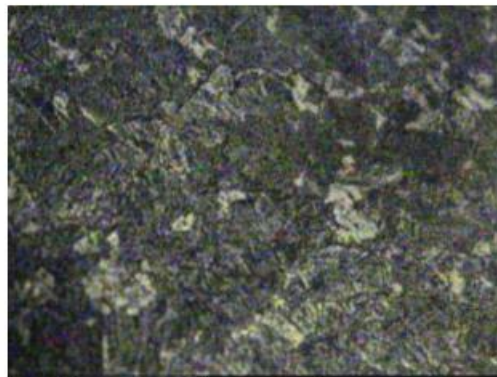


Figura 12 – Instituto Federal do Para

A amostra da Figura 13, CF passou por têmpera no gelo, nota-se uma estrutura parecida com à da amostra CE, mas as tensões geradas a partir do resfriamento abrupto resultaram em uma estrutura de dureza consideravelmente maior, podemos observar na Tabela 1 (figura 7) que a martensita é muito notável na imagem e possui um estrutura mais lamelar vista a direita da imagem.

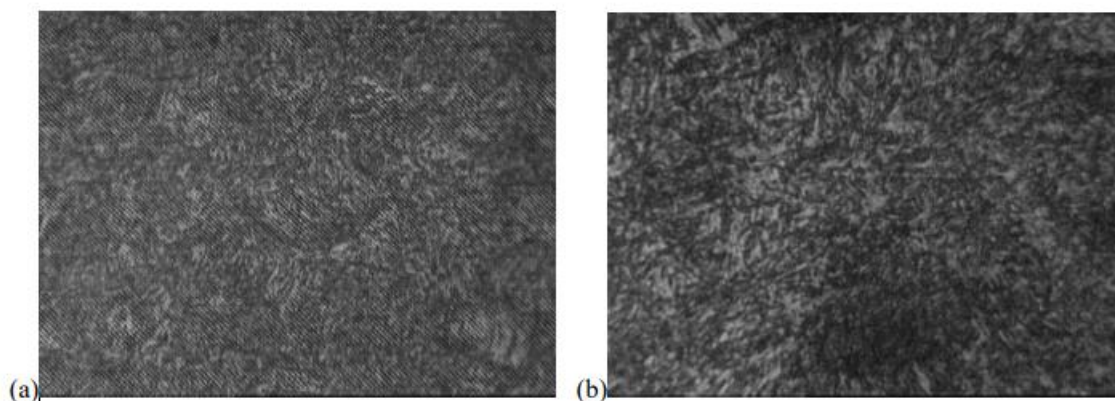


Figura 7– Instituto Federal do Para

Na Figura 8 vemos a micrografia da amostra CG, que sofreu têmpera em água a temperatura ambiente. Nota-se uma dureza ligeiramente inferior que a dureza apresentada da amostra CF, deve-se lembrar que a velocidade de resfriamento das amostras interfere diretamente na dureza.

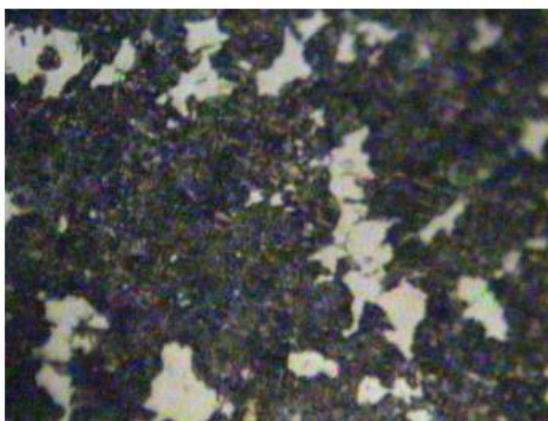


Figura 8– Instituto Federal do Para

Ao analisarmos os resultados dos ensaios de dureza, pode-se concluir que o aço SAE 1060 teve sua dureza aumentada de acordo com a velocidade e método de resfriamento empregado, este aço pode ser um material de alta dureza mesmo para peças não tratadas termicamente.

Assim sendo podemos comprovar a aplicabilidade e o cumprimento de características específicas para se fabricar pinos, buchas e eixos com o aço SAE 1060, os tratamentos térmicos aplicáveis a esta material devem estar de acordo o emprego das peças a serem produzidas. Para a fabricação das buchas e pinos das balanças



de suspensão o SAE 1060 se apresenta como uma ótima opção para mitigar os desgastes sofridos e assim aumentar a vida útil e diminuir custos de operação logísticos.

## 7. PRODUÇÃO

Para além das alterações metalúrgicas que compreendem a substituição do aço aplicado nos pinos e buchas a nova concepção para as balanças de suspensão também contempla um novo desenho para o eixo vazado que pode ser observado na figura 15.



Figura 15– Cortesia Arbolite Artefatos de Borracha

A atual concepção prevê um eixo vasado que abriga as buchas por conformação mecânica, as buchas são montadas a frio no eixo com uma ajuste de grande interferência e com o auxílio de prensa hidráulica, esta montagem confere ao conjunto extrema rigidez e confiabilidade da união entre as peças, porém gera grande tensão no conjunto montado e em alguns casos pode ocorrer o estrangulamento do diâmetro interno das buchas que pode acabar ficando menor que o pino impossibilitando a montagem final da balança de suspensão.

No projeto apresentado estão previstos dois eixos vazados vasados com rasgos tipo rabo de andorinha a 60° macho e fêmea que concordam e encaixem entre si para

uma montagem suave com ajuste forçado leve H7 j6, sem gerar tensões residuais e sem o risco de estrangular o diâmetro interno do alojamento das buchas.

A seguir nas figuras 16, 17 e 18 observa-se a sequência de montagem ilustra a descrição do novo eixo vasado.

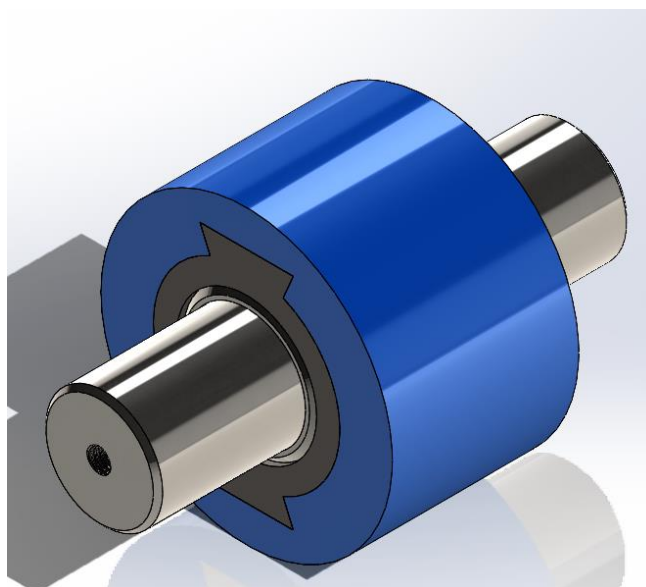


Figura 16– Novo eixo vazado montagem (ilustração do próprio autor)

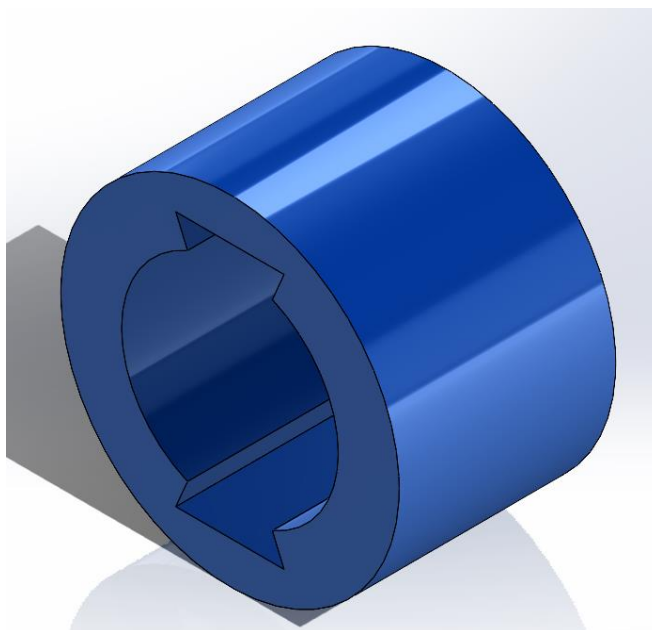


Figura 11– Novo eixo vazado camisa externa (ilustração do próprio autor)

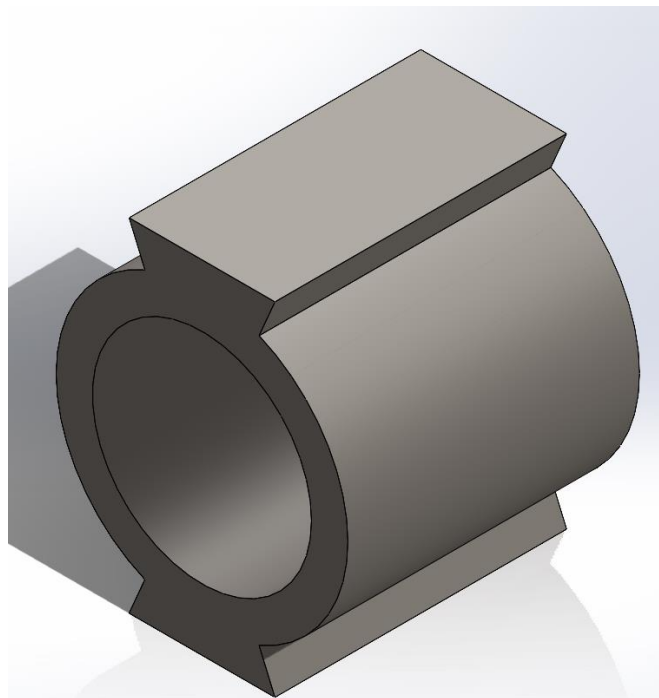


Figura 12 – Novo eixo vazado camisa interna (ilustração do próprio autor)

Para a produção do novo eixo vasado podemos considerar a aplicação de aço SAE 1045 afim de garantir uma geometria de superficie interna, pois este aço possui boa usinabilidade e exelente relação de custo beneficio.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este projeto teve como objetivo principal apresentar uma solução economicamente viavel para mitigar o fenomeno de desgaste no subconjunto pino e bucha de balaças de suspensão, forão apresentadas as condições de operação do componente as causas e tipos de desgaste as variantes com carga exercida, influencia da lubrificação e condições gerais de mercado.

Com base nos dados e experiencias apresentadas foi apresentada uma nova concepção para fabricação dos itens que mais sofrem desgaste. Os teste e analises estão de ocorde com a literatura técnica no que se refere as carateristicas mecanicas e microestruturais do aço SAE 1060 e se mostarm compreensíveis e compatíveis com a ideia de aplicação proposta.

## 9. REFERÊNCIAS

- Ensaio Mecânico de Materiais Metálicos" do Sérgio Augusto de Souza é
- NBR NM 136
- NBR 08641 NB 876
- CALLISTER, William D. Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CHIAVERINI, Vicente. TECNOLOGIA MECÂNICA Materiais de Construção Mecânica Volume III. 2. ed. Editora McGraw-Hill.
- COLPAERT, Hubertus. METALOGRAFIA dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 4. ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2008.