



COMPARAÇÃO ENTRE BUCHAS DE LATÃO E BUCHAS DE BRONZE EM FEIXES DE MOLAS

Nome do autor: Lucas Nunes de Freitas Muhlenbruch e Guilherme Oliveira Garcia,

Orientador: Prof. Me. Alexandre Maier Eurich

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo principal realizar uma comparação detalhada entre buchas de latão e buchas de bronze, ambas utilizadas em feixes de molas de caminhões. Dada a importância dos caminhões para o transporte rodoviário no Brasil, onde representam aproximadamente 75% da modalidade de transporte, a eficiência e durabilidade dos componentes de suspensão são cruciais para a operação contínua e segura desses veículos. As buchas que conectam os feixes de molas ao chassi dos caminhões desempenham um papel vital na absorção de impactos e na distribuição de cargas. A pesquisa envolve diversas etapas metodológicas, incluindo análises visuais e microestruturais dos materiais, instalação das buchas em um caminhão *Volkswagen* e testes de desempenho após a rodagem. Os materiais foram submetidos a ensaios rigorosos, como testes de tração, dureza e análise de tensão-deformação, para avaliar suas propriedades mecânicas. Além disso, foi verificado a resistência ao desgaste e a durabilidade das buchas, medindo-se as dimensões e formas após o uso. O estudo pretende identificar qual material, entre latão e bronze, oferece o melhor desempenho e custo-benefício, considerando não apenas a eficiência operacional, mas também a segurança e a redução do desgaste prematuro. A conclusão deste trabalho espera fornecer *insights* valiosos que contribuam para a escolha do material mais adequado, aumentando a confiabilidade dos caminhões nas estradas e diminuindo o tempo médio entre reparos (MTTR). Desta forma, espera-se melhorar a manutenção e operação dos sistemas de suspensão, essenciais para a logística e economia nacional.

Palavras-chave: Custo Benefício, Durabilidade, Manutenção.

COMPARISON BETWEEN BRASS BUSHINGS AND BRONZE BUSHINGS IN LEAF SPRINGS

ABSTRACT

This undergraduate thesis aims to conduct a detailed comparison between brass bushings and bronze bushings both being used in truck leaf springs. Given the importance of trucks for road transportation in Brazil, where they account for approximately 75% of the transportation mode, the efficiency and durability of suspension components are crucial for the continuous and safe



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

operation of these vehicles. The bushings, which connect the leaf springs to the truck chassis, play a vital role in absorbing impacts and distributing loads. The research involves several methodological steps, including visual and microstructural analyses of the materials, installation of the bushings in a *Volkswagen* truck, and performance testing after usage. The materials will undergo rigorous tests, such as tensile testing, hardness testing, and stress-strain analysis, to evaluate their mechanical properties. Additionally, the wear resistance and durability of the bushings will be verified by measuring dimensions and shapes after use. The study aims to identify which material, between brass and bronze, offers the best performance and cost-effectiveness, considering not only operational efficiency but also safety and the reduction of premature wear. The conclusion of this work hopes to provide valuable insights that contribute to the selection of the most suitable material, increasing the reliability of trucks on the roads and reducing the mean time to repair (MTTR). In this way, the maintenance and operation of suspension systems, which are essential for national logistics and economy, are expected to improve.

Keywords: Cost-effectiveness, Durability, Maintenance.



1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a soja é o *commoditie* mais importante no Brasil, e contribui positivamente para o crescimento da balança econômica nacional. Embora se tenha uma vantagem significativa devido a grande quantidade de terra disponível para a produção, as mesmas diminuem conforme a deficiência na infraestrutura logística brasileira, o que acaba refletindo em custos para os produtores e motoristas (Kussano, 2010).

Os caminhões constituem aproximadamente 75% da modalidade de transporte rodoviário no Brasil. No entanto, a interrupção frequente para realizar manutenções, afeta diretamente o desempenho mensal, impactando tanto na eficiência operacional quanto na pontualidade da entrega dos produtos transportados. A operação contínua dos caminhões é fundamental não apenas para garantir a segurança do transporte, mas também para otimizar a eficácia na cobertura de grandes distâncias em que o transporte é exclusivamente rodoviário (CargoBR, 2021).

Os caminhoneiros enfrentam muitas dificuldades nas estradas, sendo a qualidade da manutenção uma delas. A falta de mão de obra qualificada no Brasil em 2022 atingiu 81%, e produtos de reposição com qualidade também estão cada vez mais escassos. A indisponibilidade de tempo para fazer manutenção em componentes, como a substituição de buchas do feixe de molas, evidencia uma demanda por peças de melhor qualidade, que poderiam evitar paradas frequentes causadas por falhas associadas à baixa qualidade dos produtos, e reduzir essa problemática (Brusque, 2023).

Frequentemente, diferentes modelos de caminhões são fabricados com atualizações em suas configurações, portanto, é necessário ter equipamentos que facilitem a manutenção para que a mesma seja executada com qualidade e rapidez, visto que aprofundar-se nas inovações é cada vez mais importante. Em relação às suspensões dos caminhões mais modernos, estas englobam muita tecnologia com presença de vários sensores, o que dificulta a manutenção quando não há uma mão de obra especializada.

Os feixes de molas constituem um componente fundamental do sistema de suspensão, desempenhando um papel crítico na distribuição de carga e na absorção de impactos. Esses feixes são formados por múltiplas lâminas de aço, interligadas por um pino central, cuja função



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

é sustentar as cargas do veículo e proporcionar uma resposta dinâmica às condições variáveis de operação. A conexão entre o feixe de molas e as buchas forma um elo essencial para a performance global do sistema de suspensão (Miyada, 2023).

Nas configurações dos feixes de molas, as buchas desempenham um papel vital ao oferecer flexibilidade, absorção de impactos e distribuição de carga. Esta junção específica entre o feixe de molas e as buchas é primordial, pois permite que o sistema de suspensão funcione de maneira eficaz, garantindo a estabilidade e o conforto durante a operação do veículo (Vasques, 2017).

Neste contexto, o presente estudo visa aprofundar a compreensão da interação entre as buchas de fixação e os feixes de molas na suspensão de veículos pesados, principalmente em caminhões, com o intuito de contribuir para uma melhor performance dos caminhões nas estradas, aumentando sua confiabilidade, e principalmente o tempo médio entre reparos (MTTR – *mean time to repair*).

De maneira geral, a pesquisa busca otimizar e/ou comparar a qualidade das buchas de latão e bronze quanto ao seu desempenho em feixes de mola, visando não apenas a eficiência operacional, como também a segurança, custo e melhora no desgaste prematuro, reduzindo MTTR.

1.1. OBJETIVO GERAL

Comparar as propriedades mecânicas e microestruturais de buchas de cobre (Cu), e latão usadas em feixes de mola, verificando o melhor custo benefício decorrente de sua eficiência.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral seja alcançado, deve-se:

- Analisar visualmente e geometricamente as buchas;
- Analisar microestruturalmente as propriedades mecânicas dos materiais;
- Instalar as buchas em um caminhão *Volkswagen*;



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

- Identificar as possíveis variáveis;
- Verificar as buchas, após rodagem, quanto às dimensões e forma;
- Analisar os resultados obtidos;
- Interpretar os resultados obtidos e comparar os materiais avaliados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A suspensão refere-se a um conjunto de componentes projetados para otimizar a transmissão de energia decorrente das excitações da base, e a capacidade de aderência do veículo ao solo. De acordo com Melo (2017), existem diversos tipos de sistemas de suspensão que são adaptados conforme a aplicação e o tipo de veículo.

Nos veículos leves, predominantemente, utilizam-se molas helicoidais junto de amortecedores, para garantir uma resposta eficiente e confortável. Em algumas aplicações, também são empregadas molas pneumáticas. Historicamente, o feixe de molas era uma tecnologia comum nesses veículos, embora seu uso tenha diminuído com o tempo.

Em veículos pesados, como caminhões e ônibus, o feixe de molas continua a ser amplamente utilizado devido à sua robustez e capacidade de suportar cargas elevadas. No entanto, há uma crescente adoção de sistemas de suspensão com molas pneumáticas, que oferecem vantagens em termos de ajuste automático da altura e melhor absorção de impactos, contribuindo para um desempenho aprimorado e maior conforto operacional (Marcorin, 2006).

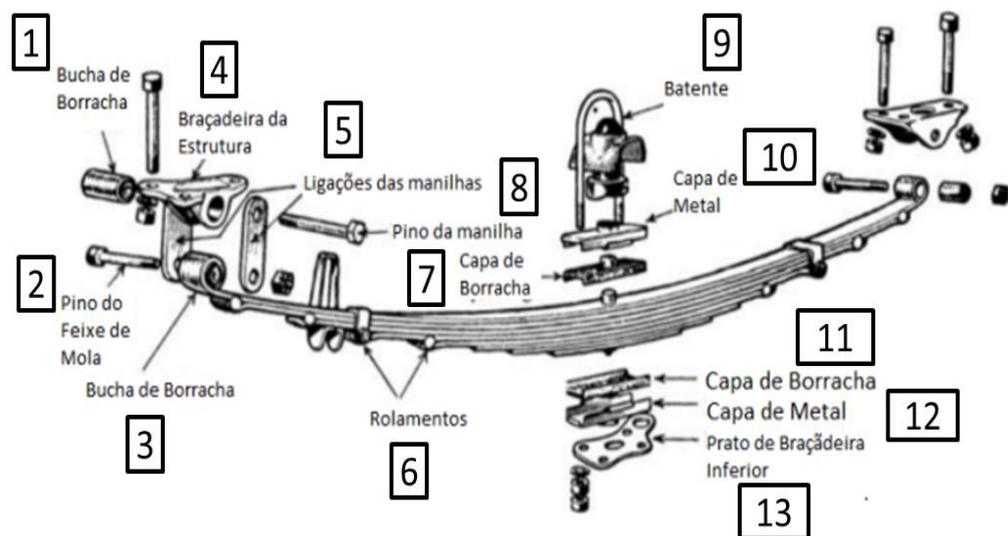
O presente estudo baseou-se em uma suspensão de caminhão utilizando feixe de molas.

1.1. FEIXE DE MOLA

Dentre os vários modelos existentes de suspensão para veículos, que têm o objetivo de garantir estabilidade, conforto e segurança para seus ocupantes, um dos modelos que é utilizado em veículos pesados e leves é o feixe de molas. Ele pode ser composto por lâminas de molas, pino de centro, abraçadeiras rebitadas e antirruídos. Existem molas de vários modelos, cada uma tendo uma finalidade diferente decorrente de sua rigidez e seu formato, garantindo uma flexibilidade necessária para sua aplicação.

O feixe de molas, ilustrado na Figura 1, é predominantemente utilizado em veículos de grande porte, como caminhões e carretas. Estes feixes possuem uma forma de arco delgado com seção transversal retangular, sendo usualmente fabricados em aço de alta resistência. De acordo com Guerra (2016), alguns modelos de feixes são diretamente encaixados no chassi, enquanto outros possuem uma de suas lâminas com as pontas dobradas para encaixe no chassi através de uma haste e um braço oscilante curto, denominado *jumelo* (*shackles*).

Figura 1 - Feixe de molas Completo.



Fonte: Adaptado de Junqueira, 2018.

Os feixes de molas são geralmente utilizados nos eixos traseiros, eliminando o acoplamento da barra estabilizadora que é aplicada quando se faz o uso da mola helicoidal, simplificando assim, o custo e peso no eixo traseiro. A maior vantagem do feixe quando comparado com a mola helicoidal reflete nas extremidades do feixe, que são acopladas em diferentes pontos do chassi, provocando uma distribuição de tensão sobre o chassi (Guerra, 2016).

Como pode ser observado na Figura 1, este elemento de suspensão é composto por uma série de componentes que, por sua vez, tem uma significância importante na qualidade do mecanismo e no seu tempo de vida útil. Na próxima seção serão descritos alguns destes itens.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

1.2. TIPOS DE MOLA

2.2.1. *Molas Convencionais*

As molas retas, também conhecidas como lâminas, diferem das molas parabólicas por terem uma configuração linear e simplificada. Consistem em uma série de lâminas retas, dispostas em paralelo e conectadas entre si. Elas são montadas em série e fixadas em ambas as extremidades por meio de um suporte central, e formam um feixe robusto e flexível.

Quando uma carga é aplicada a este feixe, as lâminas se flexionam individualmente, absorvendo o impacto e os choques de maneira uniforme ao longo do comprimento. Esta flexão progressiva contribui com a estabilidade e a segurança da carga e do veículo, sendo essas molas amplamente utilizadas devido à sua simplicidade, eficiência e capacidade de suportar cargas elevadas.

2.2.2. *Molas Parabólicas*

O feixe de molas parabólico é caracterizado por ter um número reduzido de lâminas, mas com variações significativas de espessura ao longo de seu comprimento, seguindo uma curvatura parabólica. Esta configuração proporciona economia de peso e, ao mesmo tempo, oferece excelente flexibilidade.

A flexibilidade excepcional do feixe parabólico resulta em maior conforto e estabilidade para os veículos. Devido à sua natureza mais flexível e ao menor número de feixes utilizados, as molas não se tornam excessivamente rígidas, como é comum em feixes convencionais. Isso faz do feixe parabólico uma escolha ideal para os ônibus, onde o conforto dos passageiros é uma das prioridades.

2.3. BUCHAS

As buchas, ilustradas no item 3 da Figura 1, são componentes de suma importância nos feixes de mola, visto que melhoram a relação tribológica do mesmo. Sendo assim, sua principal função é eliminar (ou reduzir) o atrito entre os materiais que não podem (ou não deveriam)



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

sofrer desgastes. Os materiais frequentemente empregados na fabricação de buchas de feixes de molas incluem cobre e latão. A durabilidade desses componentes está diretamente relacionada às propriedades mecânicas do material utilizado, ao padrão de utilização do veículo, às condições da estrada e à carga transportada.

Cabe ressaltar que este item em específico é o foco da presente pesquisa.

2.4. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO MECÂNICA APLICADOS EM BUCHAS DE FEIXES DE MOLA

As buchas são facilmente encontradas comercialmente, fabricadas a partir de ligas de bronze ou latão. Essas buchas são componentes essenciais na junção dos feixes de molas com o chassi e outros elementos da suspensão, proporcionando um ponto de articulação que permite o movimento relativo entre as partes conectadas. O uso de ligas de bronze ou de latão, é favorecido devido às suas propriedades de resistência ao desgaste, baixa fricção e boa capacidade de suportar cargas elevadas. Além disso, essas ligas oferecem uma excelente durabilidade e desempenho em condições adversas, contribuindo para a longevidade e a eficiência do sistema de suspensão (Carmo, 2022).

2.4.1. Bronze

As ligas de bronze são compostas principalmente por cobre (Cu), um metal que surge naturalmente em baixas concentrações na natureza, em comparação com ferro (Fe), e alumínio (Al). Este metal é amplamente utilizado na indústria devido às suas propriedades, como boa ductilidade, alta condutividade térmica e elétrica, e resistência à corrosão. É comumente empregado em componentes mecânicos e eletrônicos. Além disso, o bronze é altamente reciclável, com cerca de 70% da sua composição podendo ser fundida e reutilizada na fabricação de novas peças, como buchas, contribuindo para a sustentabilidade dos processos industriais (Carmo, 2022).



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

2.4.2. Latão

O latão é uma liga metálica composta principalmente por cobre (Cu), e zinco (Zn). Em termos de durabilidade, é muito utilizado por sua excelente resistência à corrosão, tornando-as próprias para condições climáticas adversas. Sua manutenção requer pouca atenção, além de inspeções regulares para garantir sua integridade estrutural e funcionamento adequado. Devido à resistência a corrosão, exige menos lubrificação e proteção contra ferrugem, diminuindo assim, os custos de manutenção comparando-se com o cobre.

O latão é normalmente utilizado para descrever uma liga composta por 55% a 95% de cobre, e de 5 a 45% de zinco em diferentes proporções. O latão pode ser classificado em dois tipos principais: *alfa* e *beta*.

O latão *alfa* corresponde a uma liga de fase única, caracterizada por uma solução sólida de cobre (Cu), e zinco (Zn), com até 36% de Zn. Acima deste valor, ocorre a formação de uma nova fase micro estrutural conhecida como fase *beta*. A presença da fase *beta* torna o latão mais quebradiço, reduzindo sua capacidade de deformação a frio (Barbosa, 2021).

De forma geral, o latão exibe alta condutividade térmica e elétrica, além de boa resistência à corrosão. Suas propriedades facilitam seu processo de fabricação, tornando-o um material acessível e econômico para a produção de componentes, como buchas.

2.5. PROPRIEDADES MECÂNICAS EM MATERIAIS METÁLICOS

Muitos materiais estão sujeitos a cargas ou forças diversas, e é essencial compreender suas características para projetar peças utilizando o material adequado, procurando evitar falhas por tensão ou deformação excessiva que possam levar à fratura.

As propriedades mecânicas, como resistência, rigidez, dureza, tenacidade e ductilidade, desempenham papéis cruciais na determinação da adequação de um material para um projeto específico. Estas propriedades são avaliadas em laboratório através de experimentos cuidadosamente programados que replicam as condições de serviço esperadas.

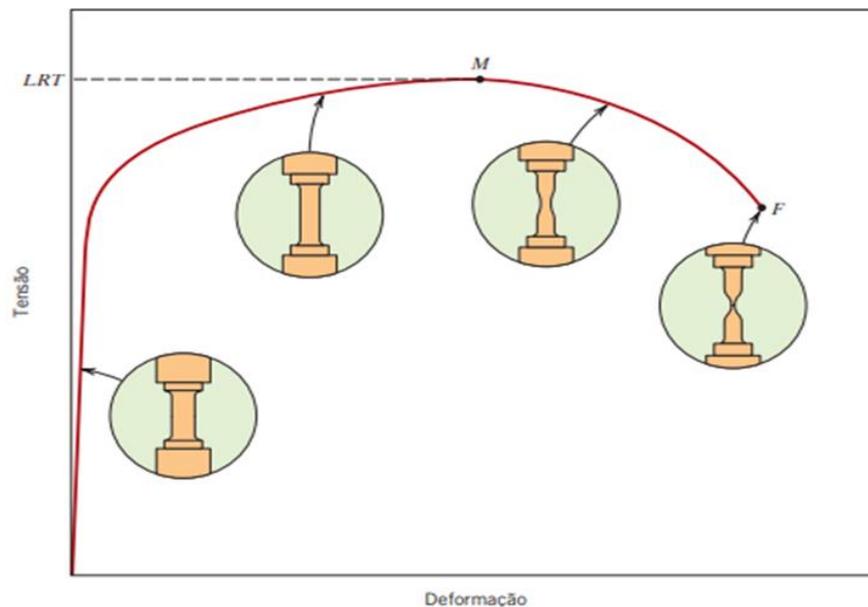
A análise das propriedades mecânicas permite não apenas selecionar materiais adequados para suportar as cargas e condições de operação específicas, como também busca

otimizar o desempenho e a durabilidade das peças e componentes projetados. Esse processo é fundamental para garantir a segurança, eficiência e confiabilidade dos produtos industriais e das estruturas em uso (Callister, 2018).

Este estudo tem como objetivo comparar as propriedades das buchas fabricadas em bronze e latão, submetendo-as a uma série de análises. No entanto, é importante compreender e definir algumas propriedades mecânicas, definidas a partir de ensaios, de tração, de dureza, de microscopia e metalografia.

Os ensaios de tração se tratam de uma avaliação das propriedades mecânicas dos materiais através da aplicação de carga progressiva até a fratura, permitindo a determinação do limite de resistência à tração, módulo de elasticidade e tensão de escoamento, conforme é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Gráfico de Tensão vs Deformação.



Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch, 2018.

Nota-se, pela Figura 2, alguns pontos importantes, como a tensão de escoamento (σ_e), que define a mudança de deformação elástica (não permanente) com deformação plástica (permanente). Esta é uma tensão importante, visto que os materiais mecânicos devem trabalhar abaixo deste valor de tensão. Além do mais, o limite resistência à tração (LTR – ponto M),



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

também ilustrado na Figura 2, define um ponto onde se inicia o processo de estricção no material durante o ensaio de tração.

Através destas curvas obtidas pelo ensaio de tração, podem ser extraídos algumas outras propriedades mecânicas, como o módulo de elasticidade; ductilidade, resiliência e tenacidade.

O Módulo de Elasticidade ($E - GPa$), é a determinação da rigidez e da capacidade de retorno elástico dos materiais após a remoção da carga; crucial para o dimensionamento estrutural. O módulo de elasticidade obedece à Lei de Hooke e também é definido como o regime de proporcionalidade entre tensão e deformação. A Figura 3 expõe em uma tabela alguns dos valores de módulo de elasticidade de alguns materiais.

Figura 3 - Tabela com valores de Módulo de Elasticidade.

	<i>Módulo de Elasticidade</i>	
<i>Liga Metálica</i>	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>
Aço	207	30
Alumínio	69	10
Bronze	115	16,7
Cobre	110	16
Latão	97	14
Magnésio	45	6,5
Níquel	207	30
Titânio	107	15,5
Tungstênio	407	59

Autor: Adaptado de Callister e Rethwisch, 2018.

Nota-se através da Figura 3, módulos de elasticidade com valores próximos aos de bronze e latão.

A ductilidade é uma propriedade mecânica fundamental que se refere à capacidade de um material de sofrer deformação plástica antes de atingir a fratura, ou seja, ao observar uma curva tensão vs deformação, um material dúctil apresenta um grande campo de deformação plástica antes de falhar. Ela é medida pelo grau de deformação que o material pode suportar sem romper. Materiais altamente dúcteis podem ser tracionados em grande magnitude sem



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

falharem, enquanto materiais com baixa ou nenhuma ductilidade são considerados frágeis, pois tendem a falhar abruptamente sem aviso prévio (Callister, 2018).

Já a tenacidade, é a propriedade que indica a resistência de um material à fratura na presença de trincas ou falhas, representando a capacidade do mesmo em absorver energia (Callister, 2018).

A resiliência, por sua vez, é quantificada pela área sob a curva do diagrama tensão-deformação na região elástica, indicando a capacidade do material de armazenar energia de deformação reversível. Materiais com alta resiliência são desejáveis em aplicações que envolvem ciclos de carga repetitivos, onde a capacidade de absorver e devolver energia sem causar danos permanentes é essencial para a durabilidade e a integridade estrutural (Callister, 2018).

A Figura 4 expõe os valores de resistência ao escoamento, LRT e ductilidade para alguns materiais.

Figura 4 - Composições, Propriedades Mecânicas e Aplicações Típicas para Oito Ligas de Cobre



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Nome da Liga	Número UNS	Composição (%p) ^a	Condição	Propriedades Mecânicas			Aplicações Típicas
				Limite de Resistência à Tração [MPa (ksi)]	Limite de Escoamento [MPa (ksi)]	Ductilidade [%AL em 50 mm (2 in)]	
Ligas Forjadas							
Cobre eletrolítico tenaz	C11000	0,04 O	Recozido	220 (32)	69 (10)	45	Fios elétricos, rebites, telas para filtração, gaxetas, painéis, pregos, coberturas para telhados
Cobre-berílio	C17200	1,9 Be, 0,20 Co	Endurecido por precipitação	1140–1310 (165–190)	965–1205 (140–175)	4–10	Molas, foles, percussores, buchas, válvulas, diafragmas
Latão para cartuchos	C26000	30 Zn	Recozido Trabalhado a frio (dureza H04)	300 (44) 525 (76)	75 (11) 435 (63)	68 8	Núcleos de radiadores automotivos, componentes de munições, bocais de luminárias e de lanternas, placas contra recuos
Bronze fosforoso, 5% A	C51000	5 Sn, 0,2 P	Recozido Trabalhado a frio (dureza H04)	325 (47) 560 (81)	130 (19) 515 (75)	64 10	Foles, discos de embreagem, diafragmas, grampos de fusíveis, molas, eletrodos de solda
Cobre-níquel, 30%	C71500	30 Ni	Recozido Trabalhado a frio (dureza H02)	380 (55) 515 (75)	125 (18) 485 (70)	36 15	Componentes de condensadores e trocadores de calor, tubulações para água salgada
Ligas Fundidas							
Latão amarelo com chumbo	C85400	29 Zn, 3 Pb, 1 Sn	Bruto de fundição	234 (34)	83 (12)	35	Peças de mobília, conexões de radiadores, acessórios de iluminação, grampos de bateria
Bronze ao estanho	C90500	10 Sn, 2 Zn	Bruto de fundição	310 (45)	152 (22)	25	Mancais, buchas, anéis de pistões, conexões para vapor, engrenagens
Bronze ao alumínio	C95400	4 Fe, 11 Al	Bruto de fundição	586 (85)	241 (35)	18	Mancais, engrenagens, roscas sem-fim, buchas, sedes e proteções de válvulas, ganchos de decapagem

Fonte: Adaptado de Callister e Rethwisch, 2016.

Os ensaios de dureza são utilizados para obter a microdureza, definida como a resistência do material à deformação plástica localizada, indicando sua capacidade de suportar cargas concentradas. De acordo com Soprano (2007), a maioria dos ensaios de microdureza, que podem ser empregados em várias escalas, relaciona o tamanho do indentador com a carga aplicada e a marca da endentação na amostra.

No caso da presente pesquisa, a dureza é uma propriedade interessante de ser conhecida, tendo em vista a alta magnitude de abrasão sofrida pela bucha.

Os ensaios de metalografia consistem em realizar uma preparação de amostra através de embutimento, lixamento, polimento e ataque químico para que seja possível fazer análises da estrutura do material. Microestrutural se refere a quando há o uso de um microscópio óptico ou eletrônico de varredura, enquanto macroestrutural faz referência ao olho nu, ou ao uso de um microscópio estereoscópio.



3. METODOLOGIA

O fluxograma exposto na Figura 5 expõe de maneira sucinta as atividades a serem realizadas na presente pesquisa para que se alcance o objetivo geral.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia utilizada na presente pesquisa.



Fonte: Os autores, 2024.

Cabe salientar que duas buchas serão avaliadas na presente pesquisa; as de cobre e de latão. Elas foram selecionadas por serem materiais amplamente utilizados comercialmente neste elemento.

3.1. ANÁLISE VISUAL E GEOMÉTRICA DAS BUCHAS

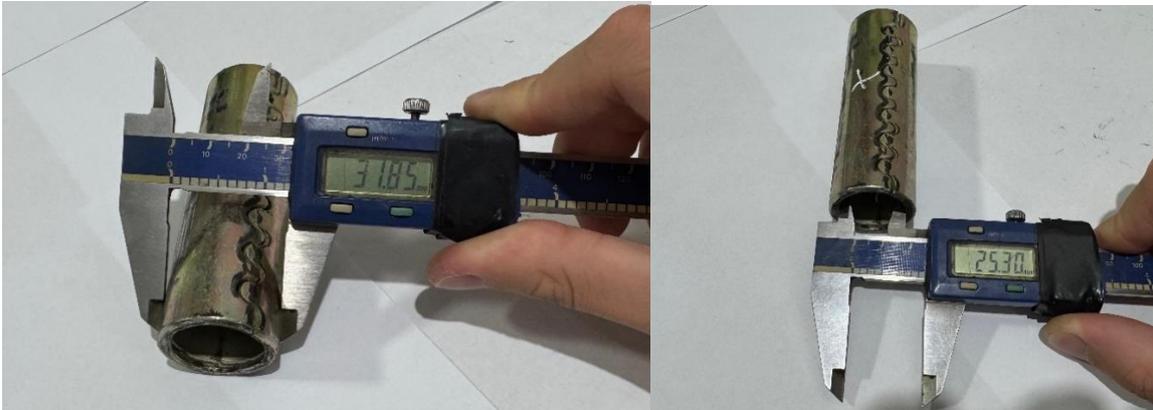
Para a análise visual e geométrica das buchas antes da instalação foi utilizado o auxílio de um paquímetro *Mitutoyo* de 6in, para a verificação dos diâmetros totais dos componentes a serem avaliados. Foram realizadas também cinco medições para encontrar a média, sendo elas internas e externas de ambas as buchas, conforme é mostrando nas Figura 6 e Figura 7.

Figura 6 - Bucha de Bronze 65 Nova.



Fonte: Os autores, 2024.

Figura 7 - Bucha de Latão Nova.



Fonte: Os autores, 2024.

3.2. ANÁLISE MICROESTRUTURAL QUANTO ÀS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Para a análise microestrutural dos materiais e preparação metalográfica, como corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico, foi utilizado o laboratório da UTFPR na cidade de Ponta Grossa.

3.2.1 Ensaio de metalografia

Para a realização do ensaio, os materiais remanescentes dos tarugos foram cortados utilizando-se da máquina CM40-VV, ilustrada na Figura 8. Este equipamento permite cortes precisos, limpos e essenciais para a preparação das amostras.

Figura 8 - Cortadora Metalográfica Velocidade variável, CM40-VV.



Fonte: Os Autores, 2024.

Após o corte, os materiais foram embutidos, utilizando a máquina *SimpliMet* XPS1 da Buehler, conforme demonstrado na Figura 9.

Figura 9 - Máquina de embutimento, *SimpliMet* XPS1.



Fonte: Os autores, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

O processo de embutimento envolveu as seguintes etapas: inserção das amostras, onde as amostras de bronze e latão foram posicionadas no compartimento do aparelho; adição de resina, em que uma resina polimérica (baquelite) foi adicionada para envolver completamente as amostras, garantindo a integridade durante o processo subsequente; e ciclo de aquecimento, em que o equipamento foi fechado e aquecido até atingir uma temperatura de 180 °C, seguido por um processo de resfriamento controlado.

Esse procedimento assegura que as amostras estejam fixas e protegidas, facilitando as etapas de preparação posteriores.

Para a análise microestrutural dos materiais foi disponibilizado o laboratório da UTFPR, onde foi efetuado a análise metalográfica dos materiais das buchas antes da montagem. Para que fosse possível, a amostra passou por etapas de preparação metalográfica, sendo elas: corte, embutimento, lixamento, polimento e ataque químico, todas visando o preparo da superfície das amostras para a visualização microscópica óptica.

Seguido do embutimento, foi realizado o lixamento no laboratório da Unicesumar, com uma politriz do modelo PLF Fortel, conforme o mostrado na figura 10.

Figura 10: Politriz modelo PLF Fortel.



Fonte: Ricardo, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Para esse processo, foram utilizadas sucessivamente lixas d'água com granulometrias de #220, #320, #600, #800, #1200 e #2000.

Em cada troca de lixa a amostra foi girada em 90° para eliminar os micro riscos na superfície e seus planos. Dessa forma, girando a amostra, a nova direção ajudou a remover essas interferências, tornando a superfície mais plana. Após a realização do lixamento, realizou-se o polimento com alumina.

Para o ataque químico, foram utilizados Nital 3%, Nital 5%, Vilela 5% e Cloreto de cobre-amônio para revelar a amostra, porém, não foi possível obter a revelação dos materiais por conta deles mais resistentes à oxidação. Após o ataque químico, realizou-se o ensaio de microdureza.

3.2.1 Ensaio de Microdureza

Para a realização do ensaio de microdureza, foi utilizado o equipamento HMV-G 20ST da marca *Shimadzu*, mostrado na Figura 11. Este equipamento é projetado para fornecer medições precisas da dureza dos materiais.

Figura 11 - Ensaio de Microdureza, HMV-G 20ST, Shimadzu.



Fonte: Os Autores, 2024.

Em cada amostra, foram realizados três testes de microdureza, e posteriormente, o cálculo da média, permitindo uma avaliação robusta das propriedades mecânicas dos materiais. Os resultados dos testes estão detalhados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Ensaio de Microdureza.

DUREZA BRONZE 65		DUREZA LATÃO	
% DUREZA HV	MÉDIA HV	% DUREZA HV	MÉDIA HV
94,6	94,77	100	96,53
91,4		92,5	
98,3		97,1	

Fonte: Os Autores, 2024.

A média dos valores obtidos para cada componente foi calculada com o objetivo de facilitar a comparação entre os materiais testados. Esta abordagem garante uma análise mais confiável das propriedades de dureza do bronze 65 (AM 01), e do latão (AM 02).

Os dados obtidos no ensaio de dureza fornecem informações valiosas sobre a resistência superficial dos materiais. A comparação das médias de dureza entre os dois componentes



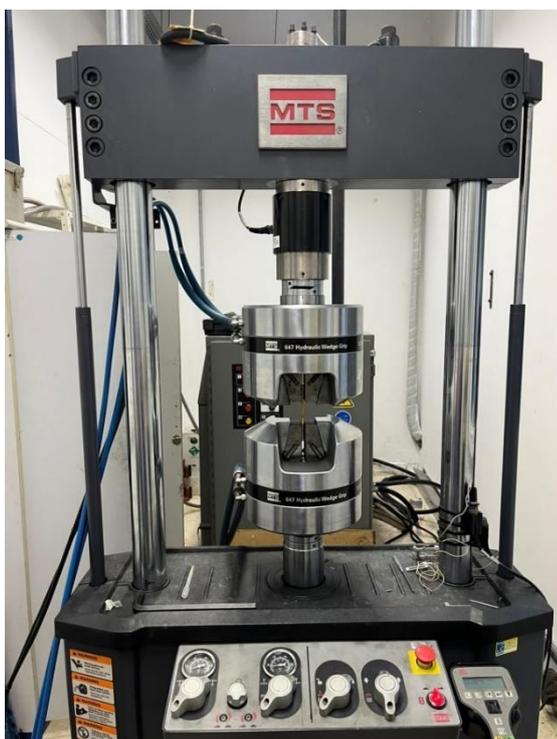
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

permitiu uma avaliação crítica de suas características mecânicas, assim como a adequação para diferentes aplicações.

3.2.2 Ensaio de Tração

O ensaio de tração foi realizado seguindo as normas da ABNT NBR ISO 6892-1 de 02/2024 para garantir a uniformidade do teste. Para efetuar esse ensaio utilizamos uma máquina universal de ensaio MTS, 647 *Hidraulic Wedge Grip*, mostrada na figura 12.

Figura 12 - MTS, 647 Hidraulic Wedge Grip.



Fonte: Os autores, 2024.

Este ensaio foi executado com corpos de prova de dois materiais distintos: bronze 65 (AM 01), e latão (AM 02). As amostras possuem 12,5mm de diâmetro e 116mm de comprimento.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Os corpos de prova foram fixados na máquina de ensaio de tração MTS 647 *Hydraulic Wedge Grip*. Este equipamento é projetado para fornecer uma aplicação controlada de força e garantir a precisão nas medições de resistência à tração dos materiais.

3.3. INSTALAÇÃO DAS BUCHAS EM UM CAMINHÃO VOLKSWAGEN

Foi efetuada a montagem de um feixe de molas completo a partir das buchas que foram analisadas em laboratório. Para o teste, foi cedido um caminhão *Volkswagen Constellation* 24.280 6x2 de ano 2015, de uma empresa parceira, onde o proprietário autorizou a montagem das buchas de latão e bronze no caminhão.

Após a instalação das buchas, conduziu-se um teste de rodagem no período de noventa dias com distâncias curtas, fazendo uma média de 350km por dia.

Visto que as estradas atuais no Brasil estão inconstantes, optou-se pela instalação de quatro buchas, com duas para cada lado, levando em consideração as más condições da estrada que poderiam causar desgastes das buchas ou dos feixes de molas antecipadamente. Foi realizada também a verificação mensal para garantir que não ocorresse desgaste antes dos 90 dias.

Para a instalação das buchas, foi necessário erguer o caminhão com o auxílio de dois macacos hidráulicos. Após a elevação, os grampos de mola foram soltos, e logo em seguida, houve a retirada das sapatas que ficaram em cima do eixo. Posteriormente, também foram retirados os pinos das pontas das molas.

Em seguida, o feixe de molas foi retirado por completo e colocado sob uma bancada para a desmontagem. Na bancada, foi removido o pino de centro para que as lâminas ficassem soltas, e assim pudesse ser feita a manutenção total no feixe de molas. Uma vez que as lâminas estivessem soltas, a calibragem de altura delas para levantar ou baixar o caminhão poderia ser realizada, logo seguida pela troca das buchas.

3.4 ANÁLISE VISUAL E ESTRUTURAL DOS MATERIAIS.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Ao fim dos 90 dias do teste de rodagem, as buchas foram retiradas dos feixes de molas para que houvessem as medições com o paquímetro *Mitutoyo* de 6in. Foram efetuadas cinco medições internas e externas para o cálculo da média.

3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com os resultados de ambas as buchas verificadas em laboratório, foram analisados os danos sofridos por cada bucha, e como cada material se comportou ao longo dos 90 dias de teste.

3.6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS E COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS

Após os resultados obtidos, realizou-se uma comparação entre os dois materiais, verificando seu custo, desgaste e comportamento. Diante desse comparativo, foi possível concluir qual dos materiais se tornou mais viável para utilizar num caminhão, visando a segurança do motorista, do equipamento, do meio ambiente e do custo para o proprietário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ENSAIOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram adquiridos de empresas terceiras na cidade de Campinas - SP, enquanto a realização dos ensaios ocorreu no Laboratório da UTFPR da cidade de Ponta Grossa - PR.

Após a aquisição dos tarugos de bronze 65 e latão, eles foram encaminhados a uma empresa parceira para a realização da usinagem dos corpos de prova destinados ao ensaio de tração. Além disso, foram retirados pequenos pedaços para os ensaios de metalografia, os quais passaram por lixamentos, polimento e ataque químico.

4.1.2. Ensaio de tração

A amostra AM 01 (bronze 65), apresentou uma fratura tipo *Taça*, indicando um comportamento dúctil. A AM 02 (latão), também demonstrou uma fratura do tipo *Taça* com comportamento dúctil, mesmo tendo uma deformação plástica na região central maior, conforme mostrado na Figura 13.

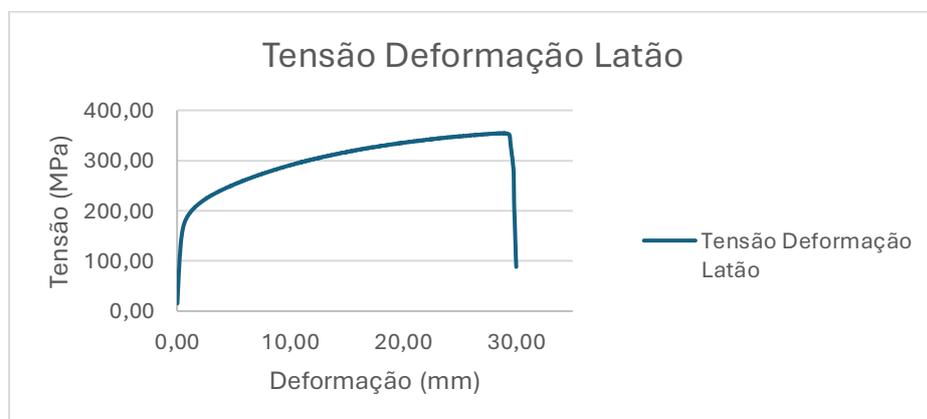
Figura 13 - Amostras AM01 (Bronze 65) e AM02 (Latão)



Fonte: Os autores, 2024.

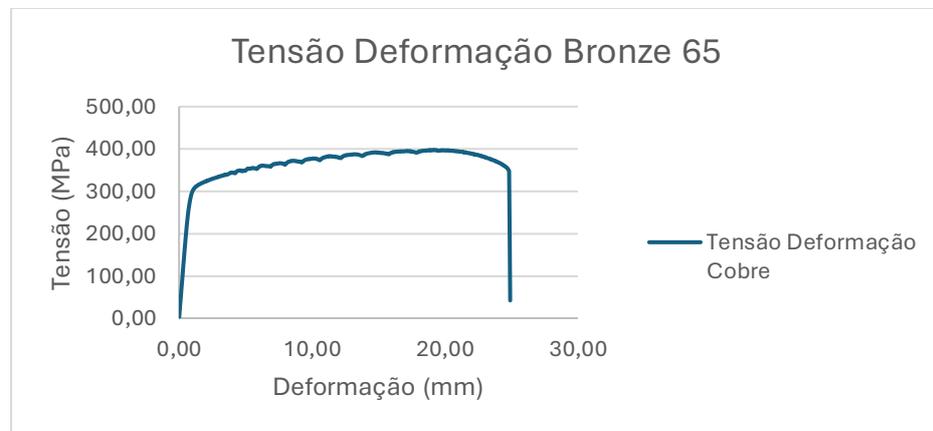
As análises das amostras, tanto antes quanto depois dos testes, permitiram a observação das diferentes características de deformação e fratura, conforme o mostrado na Figura 13.

Figura 14 - Tensão Deformação das AM 01 e AM 02





III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias



Fonte: Adaptado pelos Autores, 2024.

Utilizando as informações contidas na figura 14, pode-se observar o módulo de elasticidade, o limite de escoamento, a resistência à tração, a ductilidade e a tenacidade de ambos os materiais. Todos esses resultados foram fornecidos pelo próprio equipamento que também forneceu os parâmetros contidos na Tabela 2 que virá a seguir.

Tabela 2 - Resultados adquiridos através do Ensaio de Tração.

Amostra	Módulo Elasticidade	Limite de Escoamento	Tensão Máxima	Tensão de Ruptura	Ductilidade
I. D.	GPa	MPa	MPa	MPa	%
Latão	47,94	170,26	354,64	275,18	29,78
Bronze	38,78	297,93	397,52	347,29	24,82

Fonte: Adaptado pelos autores, 2024;

A partir da tabela, fica notável que o bronze possui um valor menor de elasticidade, o que indica que ele é um material mais rígido, ou seja, ele se deforma menos na fase elástica. Por outro lado, o latão se mostra mais maleável, com uma transição mais suave entre as fases elástica e plástica.

O limite de escoamento é o ponto em que os materiais começam a se deformar plasticamente, o que quer dizer que após esse ponto, a deformação do material é permanente.

Na comparação entre os dois materiais, o bronze demonstrou uma tensão de escoamento mais alta, o que faz com que ele resista a uma carga maior antes de se deformar plasticamente. Dessa forma, ele se torna um material mais resistente à deformação plástica do que o latão.

O bronze também tem uma tensão máxima superior à do latão, fazendo com que o mesmo suporte uma carga alta antes de sua ruptura, conforme o que foi mostrado na Tabela 2.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

A resistência à tração corresponde ao valor máximo de tensão que o material recebe antes de sua estrição, e conseqüentemente se rompe, enquanto a ductilidade do material é determinada pela quantidade de deformação plástica que o mesmo suporta até sofrer sua fratura. Ainda de acordo com a Tabela 2, fica claro que o latão possui uma ductilidade maior que a do bronze.

O bronze também se mostrou superior em relação à tensão de ruptura, apresentando uma resistência maior de carga até o momento da ruptura dos materiais.

A tenacidade é a medida de quantidade de energia que o material pode absorver antes de se romper, a qual está ligada diretamente a área da curva da tensão e deformação. Devido à falta dos valores exatos de tensão e deformação foi realizada uma análise qualitativa dos materiais, onde o latão demonstrou ter uma absorção maior de energia até a fratura, sendo um material mais tenaz em comparação ao bronze 65.

Ambos os corpos de prova iniciaram os testes com 25mm de largura e apresentaram fraturas com um estiramento considerável. O latão se comportou de forma mais tenaz que o bronze, mostrando uma capacidade maior de absorver mais energia até o seu rompimento. Apesar de o latão ter menor resistência que o bronze, este absorve menos energia, resultando em um estiramento mais curto até sua fratura, conforme é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Tenacidade das AM 01 e AM 02

Comprimento útil	Comprimento após falha	Strain At Break (calculado)
mm	mm	%
25	34,3	37,20%
25	32,72	30,88%

Fonte: Adaptado pelos autores, 2024.

Essas diferenças no comportamento mecânico ressaltam a importância da seleção de materiais em aplicações de engenharia que demandam resistência à tração e à ductilidade.

Os resultados obtidos nesse ensaio de tração corroboram a natureza das propriedades mecânicas dos materiais testados, conforme a Tabela 3 evidenciou, onde ambos os materiais se comportaram de maneira dúctil. A análise detalhada das fraturas e deformações contribuirá para uma compreensão mais profunda acerca do desempenho dos materiais sob condições de carga.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Essas diferenças no comportamento mecânico ressaltam a importância da seleção de materiais em aplicações da engenharia que demandam resistência à tração e à ductilidade.

Após o embutimento, as amostras foram submetidas a um lixamento sequencial. Este processo foi realizado com o intuito de se obter uma superfície uniforme e livre de imperfeições.

Posteriormente, foi realizado o polimento das amostras com alumina de 0,3 μm . Este polimento é crucial para a obtenção de superfícies refletivas, que são necessárias para uma análise microestrutural adequada.

Para a caracterização das microestruturas, realizou-se um ataque químico com Nital 3%, Nital 5%, Vilela 5% e Cloreto de cobre-amônio que possibilitou a visualização das diferentes fases e estruturas presentes em ambos os materiais.

Porém, devido às amostras serem resistentes à oxidação, a revelação de sua microestrutura foi pequena após o ataque químico, conforme é evidenciado na Figura 15, onde temos a AM 01 à direita, e a AM 02 à esquerda.

Figura 15 - Revelação Ataque Químico AM 02 a Esquerda e AM 01 a Direita.



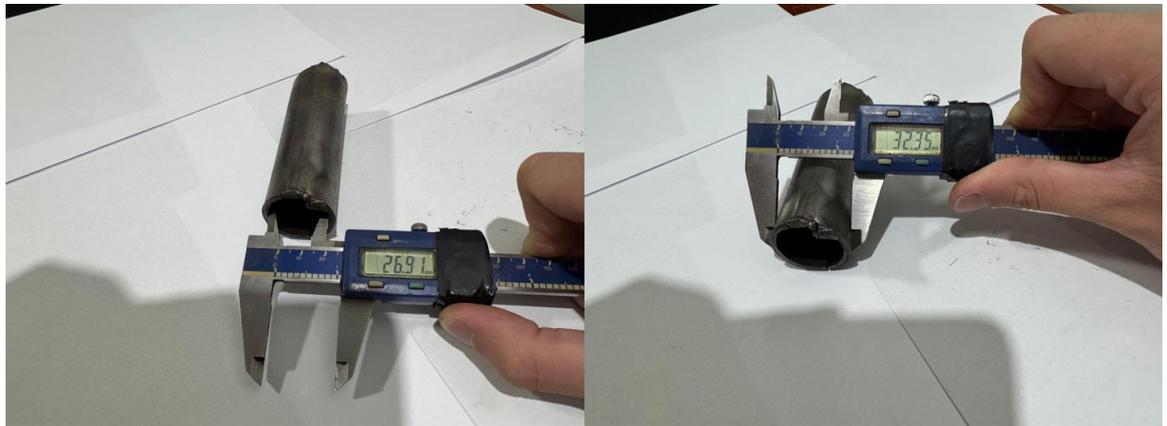
Fonte: Os autores, 2024.

O procedimento descrito garantiu a preparação adequada das amostras para a análise microestrutural, apesar de não ter apresentado um resultado satisfatório, o qual não permitiu a avaliação das características intrínsecas dos materiais testados.

4.2 BUCHAS APÓS TESTE DE RODAGEM

Após o teste de rotação de 90 dias, houve a retirada das buchas na empresa parceira para a realização de cinco medições internas e externas, e o cálculo da média delas. As medições da média de diâmetro interno, realizadas antes e depois do teste, mostraram que o diâmetro inicial das buchas de latão era de 25,17mm, e passou a ser de 26,83mm, como é mostrado na Figura 16.

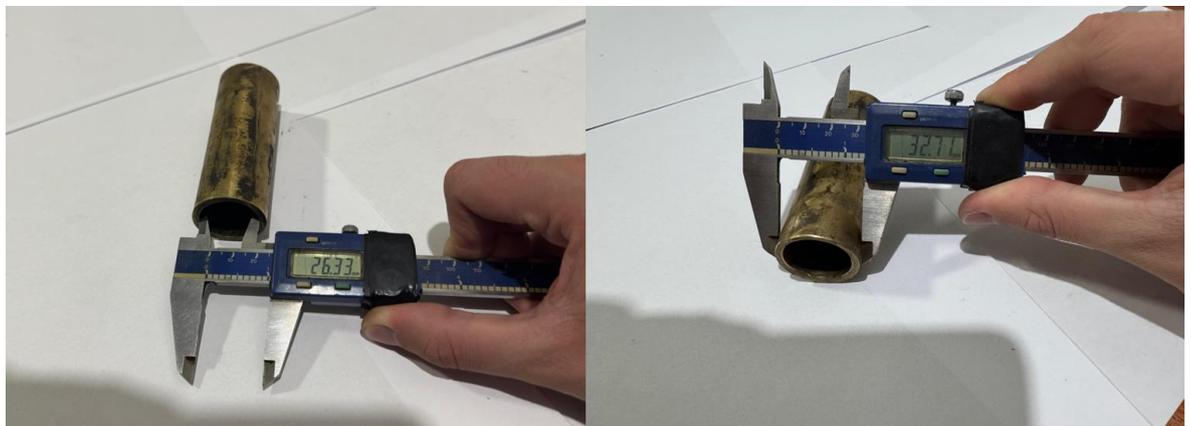
Figura 16 - Bucha de Latão após teste de rotação.



Fonte: Os autores, 2024.

Em compensação, as buchas de bronze apresentaram uma média de diâmetro interno inicial de 25,69mm, aumentando para 26,28mm, como mostra a Figura 17.

Figura 17: Bucha de Bronze após teste de rotação.



Fonte: Os autores, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Esses dados evidenciam que as buchas de latão sofreram um desgaste interno mais acentuado em comparação às buchas de bronze.

5. CONCLUSÕES

Após a realização dos testes comparativos entre buchas de latão e de bronze, verificou-se que ambos os materiais possuem características distintas que afetam diretamente a sua aplicação em feixes de mola. Durante os ensaios de tração, o latão apresentou maior ductilidade em comparação ao bronze, o que significa que ele pode suportar deformações maiores antes de falhar, tornando-o um material mais adequado para aplicações que exigem resistência ao impacto. Por outro lado, o bronze demonstrou uma resistência maior à tração e ao desgaste, sendo mais rígido e menos propenso a deformações, mas também mais suscetível a fraturas sob cargas extremas.

Nos ensaios de dureza, o latão superou o bronze, mostrando maior resistência ao desgaste abrasivo; fator essencial para prolongar a vida útil das buchas em condições adversas, como estradas irregulares e carregamentos pesados. O latão mostrou-se vantajoso em termos de manutenção, uma vez que sua maior flexibilidade permite melhor absorção de vibrações e impactos, reduzindo a necessidade de trocas frequentes.

Os testes de rodagem realizados ao longo dos três meses mostraram que as buchas de bronze possuem um desempenho superior em relação ao desgaste superficial, mantendo suas propriedades mecânicas a longo prazo, embora apresentem risco de fraturas em situações de sobrecarga ou impacto excessivo. Por outro lado, as buchas de latão, apesar de serem mais suscetíveis ao desgaste, proporcionaram maior flexibilidade e melhor resposta em termos de conforto e segurança durante a operação do caminhão.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Em relação ao custo, o latão é mais viável economicamente por ser um material mais acessível para aquisição, com um custo de R\$15,00 reais por bucha, enquanto o bronze tem o custo dobrado; R\$30,00. As manutenções de ambos os materiais têm o mesmo custo de mão de obra.

Portanto, a escolha entre bronze e latão depende das prioridades operacionais. Para ambientes com alta abrasão e menor frequência de manutenção, o bronze é mais indicado. Já o latão, com seu melhor custo-benefício e capacidade de absorção de impacto, é recomendado para aplicações que exigem maior flexibilidade e menor rigidez, especialmente em condições de carga variável e estradas irregulares. Essa pesquisa contribuiu para um entendimento mais aprofundado acerca da aplicação desses materiais em sistemas de suspensão, possibilitando escolhas mais adequadas para cada situação, visando a otimização, a durabilidade, a segurança e os custos de manutenção nos feixes de mola.

REFERÊNCIAS

ALVES MELO, M. **Análise de suspensão semiativa on-off de um quarto de um veículo.** Disponível em: https://fga.unb.br/articles/0001/9364/TCC_Matheus_Alves_Melo.pdf. Acesso em: abr. 2024.

ÁVILA, Á. M. **Comparativo Entre buchas de bronze e buchas de polipropileno aplicadas em feixes de molas de suspensão instalados em veículos tipo ônibus.** repositorio.unis.edu.br, 30 nov. 2010. Aceso em: mar. 2024

BARBOSA, Priscilla Lacerda de Assis *et al.* **Estudo do Comportamento mecânico dos materiais vidro e latão aplicados no box de banheiro.** 2021. 9 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Tiradentes – Unit/Al, Alagoas, 2021. Acesso em: mai. 2024



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

CAMINHONEIRO, R. B.-B. DO. **Entidade potencializa a qualificação da mão de obra no transporte de cargas do Paraná.** Disponível em:

<https://blogdocaminhoneiro.com/2023/07/entidade-potencializa-a-qualificacao-da-mao-de-obra-no-transporte-de-cargas-do-parana/>. Acesso em: jun. 2024

CARGOBR, E. **Os modais de transporte e sua importância para o Brasil.** Disponível em:

<https://blog.cargobr.com/modais-de-transporte/>. Acesso em: abr. 2024.

CARMO, J. Marcos Rodrigues do. **Análise de Desgaste de buchas de lugs de bronz tm 23 e de poliamida 6 (tcast t mo Black.** Disponível em:

<https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/5998/1/JO%c3%83O%20MARCOS%20RODRIGUES%20DO%20CARMO.pdf>. Acesso em: abr. 2024.

CALLISTER JR, William D, RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais – uma introdução.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Acesso em: abr. 2024.

CARVALHO, L. Martins de. **Prospecção de novos materiais para molas de suspensão automotiva.** Acesso em: abr. 2024.

DESIGN AND ANALYSIS OF A LEAF SPRING FOR AUTOMOBILE SUSPENSION SYSTEM: A REVIEW. India, 6 jun. 2013. Acesso em: mai. 2024.

DIAS, Leonardo do Carmo Lelis. **Estudo paramétrico e análise de configurações alternativas para feixe de molas objetivando a redução de massa.** Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/51810>. Acesso em: mai. 2024.

GUERRA. Marcus Vinícius Rocha. **Desenvolvimento e Análise de um Projeto de Feixe de Molas.** Disponível em:

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/19818/1/2016_MarcusViniciusRochaGuerra_tcc.pdf.

Acesso em: mai. 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

KUSSANO, M. R. **Proposta de modelo de estrutura do custo logístico do escoamento da soja brasileira para o mercado externo: o caso do Mato Grosso.** repositorio.ufscar.br, 22 jun. 2010.

MACORIN, Rogério Bocuzzi. **Estudo sobre suspensão automotiva focado em veículos off-road.** 2006, Anais. São Paulo: EPUSP, 2006. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/526d6b90-6b35-491a-a03f-7ca00c784c7b/Macorin.pdf>. Acesso em: jun. 2024.

MIYADA, W. Lyu. **Otimização topológica do suporte traseiro do feixe de molas fundido e proposição de um modelo estampado.** Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c0f44e49-4542-428c-b709-cdce6c93073f/content>. Acesso em: abr. 2024.

SILVEIRA, F. Dhreher. **Sinterização de bronze ao alumínio seguido de endurecimento por precipitação através de envelhecimento artificial.** Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17624/000720386.pdf>. Acesso em: maio. 2024.

SOUSA, D. Ferreira de. **Otimização dos parâmetros de uma suspensão veicular.** Disponível em: https://fga.unb.br/articles/0001/4856/TCC2_DarlanSousa.pdf. Acesso em: maio. 2024.

ROHDE, Regis Almir. **METALOGRAFIA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS Uma abordagem pratica Versão-3.0.** [s.l: s.n.]. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4313798/mod_resource/content/1/APOSTILA_METALOGRAFIA.pdf.

VASQUES, Deividy. **Relatório técnico-científico aspectos jurídicos do recolhimento de veículo para realização de perícia.** Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/643/Deividy_Vasques.pdf?sequencia=1&isAllowed=y.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias