



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
DEPARTAMENTO DE INDÚSTRIA, SEGURANÇA E PRODUÇÃO CULTURAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CARLOS VICTOR NUNES DE SOUZA

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS TUBOS FLEXÍVEIS APLICADA EM UM
ESTUDO DE CASO DE UM CARRO NACIONAL**

TERESINA-PI

JUNHO /2021

CARLOS VICTOR NUNES DE SOUZA

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS TUBOS FLEXÍVEIS APLICADA EM UM
ESTUDO DE CASO DE UM CARRO NACIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como Exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí.
Campos Teresina-Central.

Orientador: Prof. Me. José Matias Ferreira Filho

TERESINA-PI

JUNHO /2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Souza, Carlos Victor Nunes de

S719a Análise de confiabilidade dos tubos flexíveis aplicada em um estudo de caso de um carro nacional / Carlos Victor Nunes de Souza. - 2021.
58 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)
- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2021.

Orientador : Prof. Me. José Matias Ferreira Filho.

1. Tubos flexíveis - Análise. 2. Automóveis - Freios. 3. Confiabilidade . 4.
Tubos. I. Título.

CDD - 620

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

CARLOS VICTOR NUNES DE SOUZA

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DOS TUBOS FLEXÍVEIS APLICADA EM UM
ESTUDO DE CASO DE UM CARRO NACIONAL

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de Engenharia
Mecânica do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus
Teresina - Central.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. José Matias Ferreira Filho (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Francisco Valdivino Rocha Lima
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Me. Gustavo Portela de Deus
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por sempre me dar uma oportunidade a mais para tentar e com saúde e Fé, muita Fé, persistir em busca da realização dos meus objetivos de vida e sonhos.

Agradeço também aos meus pais, Claudia Nunes de Souza e Marlei Evandro de Souza, pelas oportunidades que me foram dadas e toda a ajuda possível para conseguir trilhar meu caminho, sempre com muito respeito e humildade. Não poderia nunca esquecer de mencionar meus avós, Maria Madalena e Valdeci Rodrigues, casal sertanejo que fez e faz de tudo que pode para ajudar a família e incentivar os mais novos na família para a importância da educação, tanto comportamental quanto a institucional, para “ser alguém na vida”, termo que eles costumam citar, para termos como referência as pessoas que não desistiram e conseguiram realizar seus sonhos.

Agradeço também aos meus familiares, tios, principalmente o Cléber Nunes, primos e irmãos por me ajudarem da forma como podiam para que chegasse neste momento.

Aos meus amigos e amigas que mesmo alguns longe fisicamente, como a Hellen Souza e a Vanessa Vasconcelos, sempre me deram apoio em momentos mais complicados. Agradeço também aos meus amigos do curso de Engenharia que me ajudaram muito nos estudos, Bruno Cláudio, Erbert Barbosa, Jean Oliveira, Lucas Matheus, Guilherme Costa entre outros que não cabe citar todos os nomes aqui, além dos meus amigos particulares que me ajudaram de maneiras que não tenho palavras para expressar minha gratidão, não são muitos, mas os que me ajudaram eu nunca esquecerei.

Agradeço muito também ao incentivo e todo o apoio que me foi dado em momentos difíceis de ingresso e início do curso, em que a Srta. Bárbara Ohara foi fundamental para me manter focado e motivado no que eu realmente tinha como objetivo e conseguir conquistar.

Agradeço também ao representante da Equipe Corporativa da Concessionária, que não será mencionada nesse trabalho por acordo de sigilo, que forneceu as informações necessárias para a elaboração deste trabalho e, também, a disponibilidade de estar me auxiliando como podia nas conversas e coletas de informações.

Não poderia deixar de agradecer também a Instituição Federal do Piauí por tamanha oportunidade dada a nós alunos nesta caminhada entre a vida estudantil e profissional, com o auxílio e orientações dos professores, suporte de livros, alimentação, ensino, atividades e tudo o que o IFPI pode proporcionar aos estudantes dessa instituição.

Gratidão por poder estar aqui escrevendo esses parágrafos, registrando um momento tão importante de uma reta final do curso de Graduação em Engenharia Mecânica.

RESUMO

Ao longo dos anos a Manutenção Industrial auxilia cada vez mais no desenvolvimento de produtos para que apresentem um melhor desempenho e custos competitivos, principalmente através dos estudos relacionados a redução da probabilidade de falha dos componentes, o que resulta numa ênfase crescente na sua confiabilidade, buscando constantemente que o produto seja projetado de forma a atender as solicitações dos esforços que será submetido, por uma determinada quantidade de tempo (podendo, essa, obter um sentido não literal da palavra). Com base nisso, é realizado nesse trabalho o teste de hipóteses para obter a distribuição que melhor representa o conjunto de dados de falhas registrados para o componente em análise e, com isso, realizar a utilização dos programas computacionais MATLAB e EXCEL para auxiliar nos cálculos necessários e plotagem dos gráficos, obtendo uma melhor visualização dos resultados obtidos. Portanto, ao realizar tais procedimentos, obtêm-se os valores que representam o tipo de falha do item, caracterizado como falha por desgaste, as curvas que representam as Funções de Densidade de Probabilidade, de Probabilidade de Falha, a de Confiabilidade e a de Taxa de Falhas. Para, em posse dessas informações, realizar uma análise comparativa entre os resultados encontrados na prática e os sugeridos pelo fabricante, comprovando o motivo das recomendações já realizadas pela concessionária de forma mais detalhada e com o objetivo de obter as quilometragens mais adequadas para realizar algum tipo de manutenção, além de indicar qual o melhor tipo de intervenção a ser realizada, verificando se é mais viável a substituição da peça ou a realização de algum ajuste de melhoria, para solucionar a falha que está em análise neste trabalho.

Palavras-chave: Tubos Flexíveis. Freios. Confiabilidade.

ABSTRACT

Over the years, Industrial Maintenance has increasingly assisted in the development of products so that they present better performance and competitive costs, mainly through studies related to reducing the probability of component failure, which results in a growing emphasis on its reliability, constantly aiming a product designed in such ways to correspond the demands of the efforts that will be submitted, for a certain amount of time (which may, therefore, obtain a non-literal sense of the word). Based on that, in this work, the hypothesis test is performed to obtain the distribution that best represents the set of failure data recorded for the component under analysis and, as soon, using the computer platforms MATLAB and EXCEL in order to assist in the necessary calculations and plotting of the graphics, obtaining a better visualization of the results. Hence, when performing such procedures, the values that represent the type of failure of the item, characterized as abrasion failure, the curves that represent the Probability Density, Failure Probability, Reliability and Failure Rate Functions are obtained. In order to, in possession of this information, carry out a comparative analysis between the results found in practice and those suggested by the manufacturer, proving the reason for the recommendations already made by the concessionaire in more detail and with the objective of obtain the most appropriate mileage to perform some type of maintenance, besides indicating the best type of intervention to be carried out, checking if it is more feasible to replace the part or carry out some improvement adjustment, to solve the fault that is in analysis in this work.

Keywords: Flexible Tubes. Brakes. Reliability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	FREIOS	8
2.1.1	História dos Freios	9
2.1.2	Principais tipos de freios automotivos	12
2.1.3	Principais tipos de acionadores	13
2.1.4	Componentes de um Sistema de Freio a Disco	18
2.1.5	Dinâmica veicular	30
2.1.6	Transferência de carga	31
2.2	CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE	33
2.2.1	Introdução	33
2.2.2	Qualidade e Confiabilidade	34
2.2.3	Principais Conceitos Associados à Confiabilidade	34
2.2.4	Medidas de Confiabilidade	35
2.2.5	Métodos de Estimação de Parâmetros	39
2.2.6	Distribuições de Tempos até a Falha	39
2.2.7	Verificação do Ajuste de Dados a Distribuições de Probabilidade	43
3	METODOLOGIA	44
4	RESULTADOS	46
5	CONCLUSÃO	55
6	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A invenção da roda trouxe praticidades que, até então, eram bastante difíceis de serem realizados, como o transporte de materiais pesados por grandes distâncias, aragem de grandes plantações em um pequeno prazo. Por este lado, há uma resolução de um problema que era bastante frequente, mas, por outro lado, quando estes meios precisam ser parados, deve haver sistemas bem eficazes para que consigam realizar essa ação no veículo. Com isso, os freios são projetados com o objetivo de causar uma desaceleração no veículo, seja para realizar uma parada ou para manter o controle da velocidade dele. Porém, o principal obstáculo encontrado ocorre quando há a necessidade de uma frenagem brusca e em uma distância pequena, além de realizar tal ação de maneira repetitiva.

Ao longo dos anos foram surgindo melhorias para aumentar a eficiência dos sistemas de freios, surgindo os freios a tambor, acionamento mecânico, freio a tambor com sistema hidráulico, freio a disco, ABS, evoluindo e se tornando mais confiáveis e eficientes. Com isso, por ser um sistema responsável pela parada e controle de velocidade do veículo, torna-se um sistema fundamental para a segurança em seu deslocamento, portanto, não pode haver falhas, pois isso está diretamente relacionada ao risco de acidentes que envolvem a saúde e integridade física tanto das pessoas dentro do veículo quanto as que podem se envolver devido ao acidente, que é exatamente o que deve ser evitado.

Portanto, este trabalho tem como foco o tipo de falha de um estudo de caso de vazamento nos tubos flexíveis de freio dianteiro de um modelo específico da concessionária em análise, que causa uma certa perda de eficiência no sistema de freios, realizando a verificação do quanto que interfere na funcionalidade dele, se é uma perda muito significativa e que podem ocasionar acidentes, além de buscar dados que indiquem o comportamento do item em análise em relação ao tempo, verificando as variáveis das fórmulas aplicadas, de acordo com Fogliatto (2009), e realizando a interpretação dos seus valores e, consequentemente, dos resultados obtidos através desses estudos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FREIOS

A principal função que um sistema de freio é projetado é o de desacelerar o veículo em movimento, seja com o objetivo de pará-lo ou, apenas, para diminuir sua velocidade. Em baixas velocidades é uma tarefa fácil, porém, os desafios se iniciam quando o veículo se encontra em altas velocidades e necessita-se de uma parada em uma curta distância, além do que, isso pode ocorrer repetidas vezes, então deve ser um sistema eficiente e que envolva um pequeno desgaste físico do piloto. Além disso, tal sistema não deve possuir falhas ou perda de controle.

Um sistema de freio deve funcionar de forma eficiente, segundo Limpert (1999), nos diversos tipos de condições de funcionamento, com segurança, sejam estradas molhadas ou secas, escorregadias, quando o veículo estiver com carga leve ou máxima, em superfícies secas ou molhadas, em estradas em condições extremamente rugosa ou sendo conduzido por um motorista experiente ou iniciante, mesmo com tais condições o sistema de freios deve ser eficiente.

Breuer e Bill (2008) dão destaque a três funções gerais e fundamentais que um sistema de freio deve apresentar, são eles:

- Desacelerar o veículo até atingir a parada do seu movimento.
- Quando em algum declive, manter o controle da velocidade do veículo.
- Ao realizar uma parada completa, manter o veículo sem movimento, estacionado.

Além das funções citadas anteriormente, um sistema de freios deve ser projetado para absorver e transferir o calor resultante de sua dissipação da energia, transformando sua energia cinética do movimento das rodas em energia térmica, que é resultante do atrito entre os discos de freio e as pastilhas, segundo Norton (2004), sem causar danos no seu entorno ou nas peças do seu próprio sistema.

2.1.1 História dos Freios

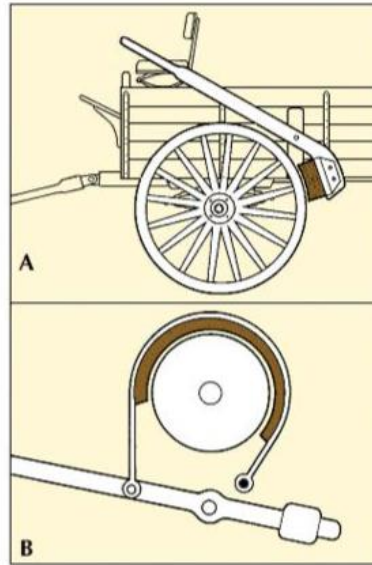
Segundo Giansante (2017), a história do freio está interligada com a criação e o desenvolvimento da roda, pois a partir desse momento surgiram praticidades em tarefas que exigiam esforços bem maiores para serem realizadas, como realizar o transporte de objetos grandes e pesados, por exemplo. Mas tais facilidades trouxeram defeitos também, como desacelerar um veículo com uma grande carga e em movimento, já que sua massa é maior e consequentemente exige um maior esforço do sistema de freio para realizar uma frenagem.

Os sistemas de freios que eram utilizados inicialmente, realizado através do atrito resultante do esforço exercido no contato entre a sola das sandálias e a roda, eram simples, mas, para as necessidades da época, eram sistemas que conseguiam suprir as necessidades que os meios de transporte exigiam. Porém, com a evolução dos meios de transportes que faziam a utilização das rodas, foi necessário a criação de componentes que tornassem o sistema de freio mais eficiente e pudesse estar superando os desafios a que eram submetidos.

Como Giansante (2017) cita em seu trabalho, foi criado um mecanismo que funcionava através do acionamento do piloto por uma alavanca em uma das extremidades, com um ponto pivô fixo no veículo e com um bloco de madeira na outra extremidade, a que fica localizada junto à roda, ocasionando a frenagem, resultante do atrito entre o bloco de madeira e a roda ao entrarem em contato. Quando eram utilizadas rodas de madeira, tal sistema conseguia atender as necessidades, porém, quando houve a utilização do pneu de borracha, deixou de ser viável, o que fez surgir novamente a necessidade de melhorias para atender as necessidades do sistema de frenagem.

Com isso, foram criados os freios de cinta, na tentativa de suprir as necessidades que o freio a alavanca não conseguia atender. Tal tipo de freio era composto por uma cinta, segundo Giansante (2017), uma roda fixada ao eixo traseiro do veículo e uma alavanca, que ao ser acionada esticava a cinta de forma que ela entrava em contato com a roda fixada no eixo do veículo. A principal diferença era que no sistema anterior o atrito era gerado na superfície da roda, no caso do freio de cinta ela atua em uma roda que está junto ao eixo, porém não é a mesma que a sua extremidade entra em contato com o chão.

Figura 1 – Evolução dos primeiros tipos de freios utilizados em veículos



Fonte: Giansante (2017).

Esses tipos de freios são caracterizados como do tipo aberto, consequentemente, eles estão sujeitos a elementos contaminantes, como areia, água e barro, que levam à perda de eficiência, pois podem se alojar entre os elementos que geram o atrito e interferir nessa ação do freio. Outro ponto negativo deste sistema é que o esforço que o condutor deve exercer sobre a alavanca é alto, dificultando muito a ação de frenagem em velocidades muito altas.

Ao longo dos anos, com a evolução dos motores dos veículos, eles foram alcançando resultados maiores de potência e conseguiam apresentar velocidades maiores. De forma a acompanhar tal desenvolvimento, os sistemas de freios tiveram que ser melhorados para que os veículos fornecidos a população pudessem apresentar a potência que os motores ofereciam, mas, também, a segurança necessária para realizar o transporte a que ele foi projetado a realizar.

Conforme citado por Giansante (2017), em 1902 foi inventado o freio a tambor, que possui um par de sapatas, em um sistema fechado, que, ao ser acionado, gera o atrito através da parte interna do tambor, que está junto a roda, e a superfície da sapata, resultando na desaceleração do veículo.

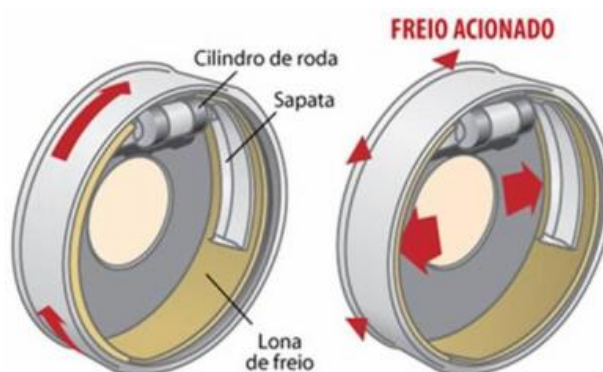
Os freios a tambor passaram a ser os primeiros freios do tipo fechado, por não ter contato com a parte externa eles tornaram-se sistemas mais limpos quando comparados com os sistemas abertos, porém eles estão mais sujeitos a ação do calor, por possuir uma certa

difficuldade na sua dissipação. Mas, mesmo com essas melhorias, o sistema citado ainda utilizava um acionamento totalmente mecânico, o que ainda exigia um esforço físico considerável do condutor para realizar tal ação.

Giansante (2017) cita ainda que por volta do ano 1920, os sistemas de freios começaram a obter parte do seu acionamento de forma hidráulica, que foram desenvolvidos por Malcolm Lougheed (co-fundador da empresa Lockheed). Tal recurso possibilitou um auxílio para o condutor ao acionar o sistema de freio, pois o circuito hidráulico consegue amplificar o esforço realizado no pedal e chegar até o local de atrito para realização da frenagem, exigindo um esforço físico menor do condutor quando comparada ao que era exigido nos sistemas anteriores.

Algumas décadas após isso, Giansante (2017) cita que foram utilizados em sistemas de freio a tambor um acionamento através da pressão hidráulica por cilindros, porém as peças desse sistema apresentavam desgaste de forma indesejada devido ao atrito, o que fazia ser necessário um ajuste frequente naqueles componentes. Esse problema deixou de ser recorrente quando foram inseridos no sistema reguladores automáticos.

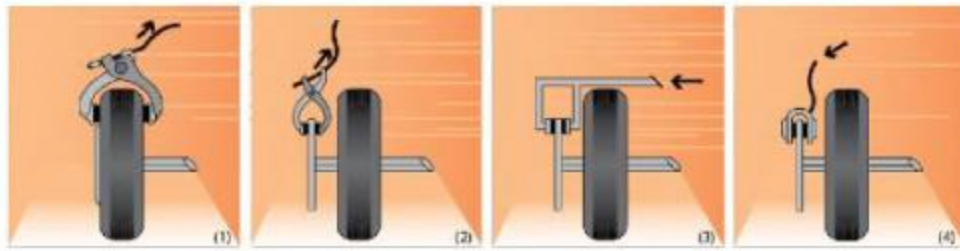
Figura 2 – Acionamento de um freio a tambor



Fonte: Giansante (2017).

Ainda com a necessidade de freios mais eficientes, nos anos iniciais do século XX, surgiam os freios a discos. Esse tipo de sistema foi aprimorado tendo como referência o sistema de freio de bicicletas, a principal diferença entre os sistemas citados se encontra no fato do freio de bicicleta atuar diretamente na roda, já o sistema desenvolvido possui um disco que gira junto com a roda, de forma que o freio atuasse diretamente neste disco, como demonstrado na Figura 3, e não na roda.

Figura 3 – Melhorias realizadas no sistema de freio a disco



Fonte: Giansante (2017).

Atualmente, existem sistemas que auxiliam e melhoram ainda mais a eficiência do freio a disco, como, por exemplo, o freio ABS (Anti-lock Breaking System), onde o seu funcionamento é realizado através de um sistema de gerenciamento eletrônico que faz a leitura da velocidade das quatro rodas e determina a pressão hidráulica mais adequada para o sistema realizar a frenagem e a mantém nesse valor limite durante o seu acionamento repetidas vezes, o que não permite que a roda trave e deslize pela superfície, fazendo com que o veículo realize a frenagem na menor distancia possível.

Além disso, segundo Giansante (2017), outro sistema que pode ser citado é o controle eletrônico de estabilidade (ESP –Eletronic Stability Program), que funciona de forma semelhante, porém, além dos sensores já encontrados no sistema ABS, ele possui também sensores de aceleração lateral e de ângulo do volante. Esses sensores são os meios utilizados para captação de informações para que o sistema monitore e avalie os parâmetros medidos durante a realização de alguma curva pelo veículo. Se os valores informados ao sistema forem diferentes dos parâmetros inseridos como valores de uma situação estável do veículo, o sistema de controle de estabilidade age independentemente no freio do veículo, por considerar ele em um estado instável, atuando no freio de cada roda que precisa de intervenção, mesmo que o condutor não acione o freio, trazendo o veículo para valores aceitáveis de parâmetros de segurança durante o seu deslocamento.

2.1.2 Principais tipos de freios automotivos

Na indústria automotiva têm-se tipos de freios que são amplamente produzidos e comercializados, por apresentarem um bom desempenho, de forma a cumprir com as necessidades dos veículos atuais, os sistemas de frenagem mais comuns nos veículos atuais são

os freios a disco e a tambor. Além disso, pode-se citar que a utilização mais comum em carros de passeio e motos de baixa cilindrada é a combinação, de acordo com Santos (2014), da combinação de ambos, uma utilização do freio a disco na parte dianteira do veículo e, na parte traseira, o freio a tambor. Esse fato é comum por conciliar a eficiência do freio a disco, geralmente na parte dianteira por levar em consideração o deslocamento de massa do veículo durante a frenagem, com o baixo custo de manutenção do freio a tambor.

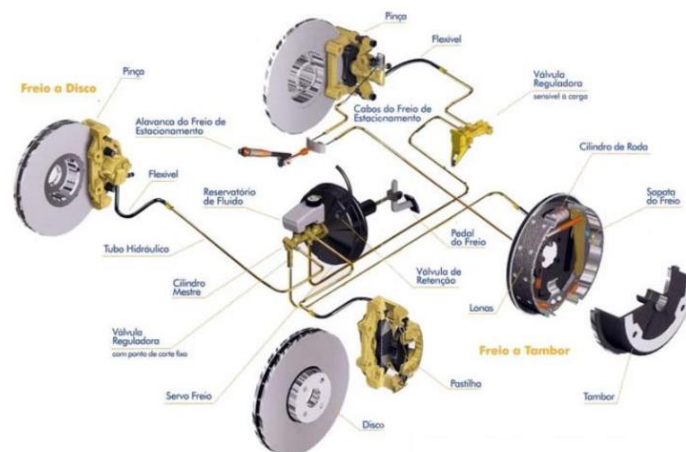
2.1.3 Principais tipos de acionadores

Há algumas maneiras nas quais pode-se acionar um sistema de freio, como, por exemplo, o acionamento hidráulico, o pneumático e o mecânico. Conforme Punh (1987), a principal função de um acionador é transmitir à força aplicada pelo piloto do veículo até o local onde será gerado o atrito que resultará na desaceleração do veículo.

Segundo Dantas (2019), quando se refere ao acionador mecânico, afirma que esse é um sistema que utiliza o princípio da alavancagem para transferir a força necessária para a parada do veículo e por isso é composto de alavanca de cabos. Atualmente tal tipo de acionador é visto mais comumente nos veículos como freios de estacionamento ou como “freio de mão”.

Ainda conforme o que afirma Dantas (2019) o sistema hidráulico é acionado a partir de um circuito hidráulico, como ilustra a Figura 4, transmitindo a força integralmente do pedal ao resto do sistema.

Figura 4 – Componentes de um sistema de freio com acionamento hidráulico



Fonte: Santos (2014).

Basicamente ele funciona quando o condutor pressiona o pedal, que, através de uma haste, empurra o êmbolo, que se encontra no cilindro mestre, e este componente irá transmitir essa pressão para todo o fluido ao longo das tubulações, que tem o papel de encaminhar essa pressão ao êmbolo da pinça, para que, através do princípio de Pascal, que para uma mesma pressão aplicada em áreas diferentes haverá forças diferentes, assim seja possível a ampliação da força, e, como menciona Halidday (2008), quando há uma mudança de pressão aplicada ao fluido, ela é transmitida a todos os pontos deste fluido, se ele for incompressível.

Com base nisso, pode-se mencionar que os acionadores hidráulicos possuem vantagens quando comparados aos acionadores mecânicos, como, por exemplo, apresentam uma maior eficiência em relação ao sistema mecânico e não precisam de regulagens devido a folgas obtidas com o uso.

Por outro lado, os acionadores pneumáticos ou, também denominados, cilindros e pistões pneumáticos, são sistemas que fazem a utilização do ar comprimido para auxiliar na realização da frenagem. Esse sistema faz a utilização de um compressor de ar para alimentação do seu sistema e é basicamente composto por um compressor, um elemento secador, reservatórios de ar, reservatório de regeneração, válvula de descarga rápida, válvula do freio de estacionamento, válvula moduladora do freio de serviço ou pedal, válvula reguladora de pressão, válvula de proteção de quatro circuitos e válvula relé, segundo Dall'Amico (2011).

Os acionadores pneumáticos são mais utilizados em caminhões e ônibus. Segundo Punh, (1987), a principal característica deste tipo de acionador é a segurança, pois ele é constantemente alimentado pelo ar que é fornecido pelo compressor ao sistema, o que não permite que o sistema falhe caso ocorram pequenos vazamentos no sistema. Esse tipo de sistema é mais comum ser utilizado em veículos mais pesados, pois por ser um sistema de maior dificuldade na sua manutenção e peso dos seus componentes, não se torna viável a sua utilização em veículos de porte menor.

Com base nisso, a seguir serão descritos os tipos de sistemas de freio mais utilizados em veículos de pequeno e médio porte, como o caso em estudo nesse trabalho, tomando como base, os acionadores hidráulicos.

Freio a tambor

Como mencionado por Dantas (2019), tal freio é basicamente constituído pelo cilindro de freio, espelho, molas de retorno, lonas, tambor e sapatas de freio, como demonstrado na Figura 5. Quando o sistema de freio é acionado as sapatas de freio são pressionadas contra as paredes internas do tambor, consequentemente, ocasionando o atrito entre os componentes e, assim, realizando a desaceleração no veículo. A pressão que é exercida no fluido, através do cilindro de freio, é transformada em força, que gera o deslocamento dos pistões e, consequentemente, das sapatas de freio também, ocasionando o atrito entre elas e a parte interna do tambor de freio, realizando a desaceleração do veículo.

Figura 5 – Detalhes de um sistema de freio a tambor



Fonte: Santos (2014).

Segundo Dantas (2019), o espelho é um componente que se encontra fixo na extremidade do eixo, mantendo sua posição em relação as rodas. É no espelho que estão montados as sapatas e os cilindros de roda. O espelho, também denominado de prato, exerce algumas funções, como a de proteger contra contaminações a parte interior do tambor e, também de transmissão do torque gerado durante o processo de frenagem até a suspensão do veículo. O prato deve ser um componente rígido, de forma que evite deflexões em excesso, o que pode ocasionar perdas de eficiência no sistema ao realizar uma frenagem. Além disso, segundo Santos (2014), outro componente fundamental é a mola de retorno, que tem a missão de garantir o retorno das sapatas de freio após o acionamento dos freios. Sem elas, a lona não retornaria, permanecendo assim encostada à parede do tambor, o sistema por sua vez poderia superaquecer, tendendo a causar falha.

Outro ponto que requer bastante atenção ao projetar um sistema de freios ou ter atenção na sua montagem ou manutenção, deve-se a parte de fixação das molas, para não ocorrer a incapacidade ou dificuldade de retorno dela. Caso, infelizmente, isso ocorra, esse fato pode ocasionar o travamento de alguma das rodas e, conseqüentemente, gerar algum tipo de perda de controle da direção do veículo, o que aumenta os riscos de ocorrer algum tipo de acidente durante o trajeto realizado.

Segundo Santos (2014), as sapatas são componentes rígidos, podendo ser fabricados a partir de aço, ferro ou alumínio, em que há a parte que entra em contato com o tambor, que é o material que gera o atrito desejado para a realização da frenagem. As sapatas que tem a função de transmissão de força resultante da pressurização do fluido de freio, que chega nelas através do cilindro de freio, em atrito com a superfície do tambor, ocasionando a desaceleração desejada quando se aciona o sistema de freio.

Por fim, a roda gira com o tambor, que está solidário a ela, segundo Peixoto (2013). Tal componente, geralmente, é fabricado em ferro fundido cinzento e é a parte que possui a maior massa nesse tipo de sistema de freio. A parte interna da superfície do tambor deve possuir um bom acabamento, principalmente para evitar o contato desigual entre as superfícies que irão gerar o atrito, pois isso pode resultar na perda de eficiência durante a frenagem ao acionar o sistema.

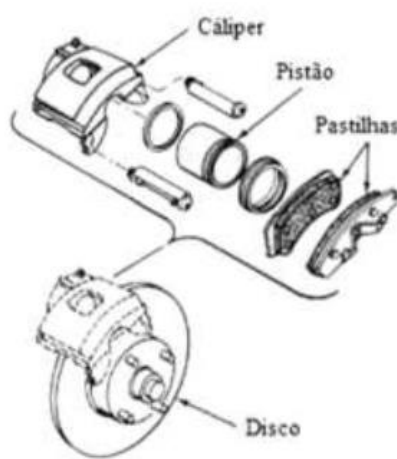
Além disso, segundo Dantas (2019), o freio a tambor apresenta alguns defeitos, embora seja um sistema que possui uma construção relativamente simples e um custo baixo. Podem ser citados, por exemplo, a má dissipação do calor resultante do acionamento do sistema, por ser um sistema do tipo fechado o ar não circula por ele para ajudar nessa dissipação. Além disso, o peso dos componentes é algo indesejado, possuindo um tambor com a massa de peso significativo em relação aos demais. Outro grave problema, por exemplo, é a contaminação por água, lama ou sujeira, o que resulta na redução da potência durante a realização da frenagem.

Freio a disco

O freio a disco é um sistema que é constituído basicamente, segundo o Dantas (2019), por discos e pinças de freios, também denominada de cilindro de roda, sendo estes os que comportam as pastilhas. Esse tipo de sistema de freio funciona de maneira hidráulica, onde o fluido pressurizado aciona o êmbolo da pinça, o que ocasiona a pressão que irá empurrar as

pastilhas contra o disco e, por conta do alto coeficiente de atrito das pastilhas, ao entrar em contato com o disco de freio, consegue realizar a transformação de energia cinética em energia térmica até realizar a frenagem desejada pelo condutor. Conforme a Figura 8, pode-se visualizar um sistema de freio a disco, onde o disco de freio é um componente móvel que gira solidário à roda e a pinça é um componente fixo que está preso à suspensão (montante) ou próximo a ponta de eixo.

Figura 8 – Sistema de freio a disco



Fonte: Kruze (2009).

Esse tipo de freio possui algumas vantagens quando comparado com o sistema de freio a tambor, segundo Santos (2014), por exemplo, o freio a disco possui a possibilidade de ser projetado com um torque maior de frenagem, pois possui mais facilidade em dissipar o calor resultando do atrito devido a sua área exposta, pois é um sistema do tipo aberto, além de possuir uma maior facilidade para realizar uma manutenção e uma regulação do sistema.

Com base nisso, uma das peças principais desse sistema é o disco, que é um componente que gira junto com a roda e possui uma superfície externa girante, que é a característica de um sistema aberto, o que ajuda na retirada de impurezas entre as pastilhas e o disco, pois através da força centrífuga elas já tem a tendência de não se alojarem na superfície, ao contrário do que ocorre com facilidade nos sistemas de freio a tambor. Este tipo de sistema de freio tem menor probabilidade de falha por fadiga, se comparado também com o freio a tambor, devido a sua melhor eficiência na dissipação do calor gerado pelo sistema.

Os discos de freio podem ser uma peça ventilada ou sólida, com a utilização de pequenos canais que são utilizados para auxiliar na circulação do ar pelo componente e auxiliar

na dissipação do ar. Como menciona o Gonçalves (2004), uma opção bastante utilizada em motocicletas, por exemplo, é a perfuração dos discos, por três motivos:

- Auxiliar na retirada de impurezas que aparecem nos discos durante a movimentação do veículo, por exemplo, lama, areia ou óleo.
- Reduzir o peso do rotor, através da retirada de material em zonas de menores esforços no espaço do disco, diminuindo a inércia da peça.
- Com a perfuração, há uma melhor dissipação do calor que é gerado através do atrito no disco durante o processo de frenagem.

Como o objetivo do estudo é um veículo que possui freio a disco nas quatro rodas, foi demonstrado anteriormente os tipos de sistemas de freios mais utilizados em veículos de passeio e demonstrado um breve comparativo entre eles, para que fique clara a distinção dos motivos que levam esse tipo ser a melhor opção de escolha para um veículo do tipo em análise neste trabalho. Portanto, a seguir será demonstrado mais detalhadamente os componentes que atuam em conjunto para que ele funcione de maneira eficaz.

2.1.4 Componentes de um Sistema de Freio a Disco

Pedal de Freio

Este é o componente responsável por iniciar o acionamento hidráulico, que é o momento em que o condutor o pressiona. É composto por uma haste com pivô, que tem a função de ampliar e transmitir a força que o condutor exerce para que haja a pressurização do fluido de freio nas tubulações do sistema.

O desenvolvimento do projeto desta peça está diretamente relacionado ao bom funcionamento do sistema de freio e a sensação de ergonomia pelo condutor. Tal componente deve ser um dos componentes mais confiáveis de todo o sistema, pois se esse componente falhar pode resultar em uma perda completa de frenagem.

Figura 9 – Conjunto da alavanca de um pedal de freio

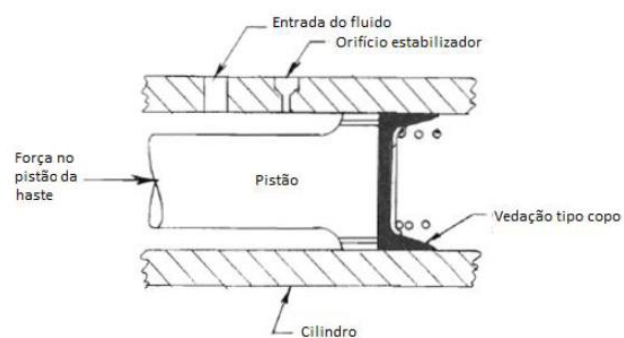


Fonte: Autometaldirect.

Cilindro Mestre

O pistão do cilindro mestre que é o responsável por gerar a pressão e o movimento do fluido de freio, ele é ligado ao pedal do freio através de uma conexão através de uma haste simples, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 – Cilindro mestre



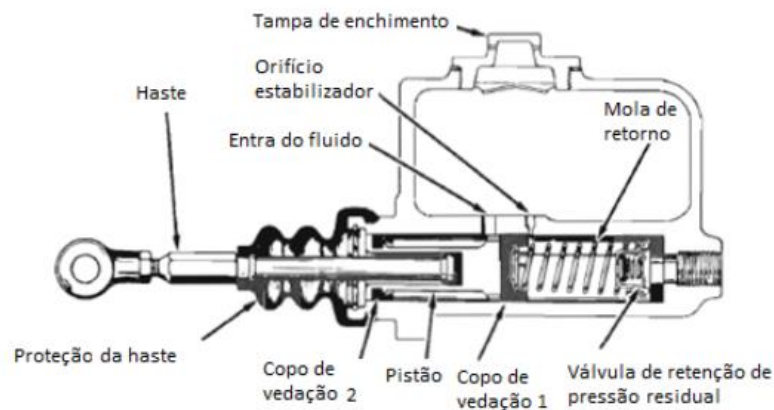
Fonte: Silva (2017).

O cilindro mestre de freio tem como sua principal função, como mencionado por Reif (2014), transformar a força mecânica, aplicada pelo piloto no pedal de freio, em pressão

em todo o fluido do circuito hidráulico, ocasionando o deslocamento do mesmo até as pinças, o que irá resultar na força aplicada nas pastilhas de freio e, conseqüentemente, gerar o atrito que realizará a desaceleração do veículo.

Os cilindros podem ser de dois tipos, segundo Limpert (1999), duplo ou simples. Os componentes de um cilindro mestre simples são, basicamente, um cilindro, uma mola de retorno, um reservatório e um pistão, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Cilindro mestre simples

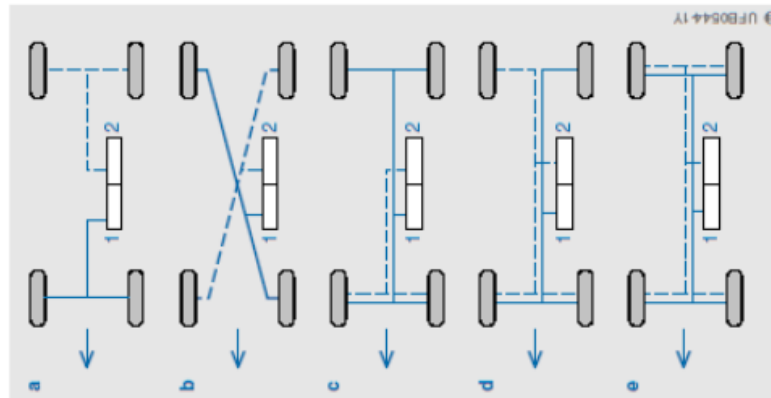


Fonte: Silva (2017).

Nos primeiros sistemas de freio, como descrito por Puhn (1985), somente um cilindro mestre que exercia a função de pressurizar todo o fluido do sistema de freio. Mas, caso ocorresse algum tipo de falha em qualquer local do sistema, perdia-se toda a potência da frenagem. Devido a este fato, segundo Reif (2014), há uma legislação que exige a existência de dois circuitos hidráulicos independentes para um sistema de freios de um veículo, a DIN74000.

Como citado por Reif (2014), há cinco maneiras em que estes os dois circuitos hidráulicos de freio podem estar divididos. A norma disponibiliza a combinação desses circuitos através de pares de letras, onde cada par corresponde a uma combinação distinta desses circuitos: II, X, HI, LL e HH. Tais letras são escolhidas devido suas formas serem aproximadamente os desenhos encontrados através de uma vista superior do sistema de freio, analisando a estrutura das tubulações que fazem a ligação do cilindro mestre as pinças de freio, como demonstrado na Figura 12.

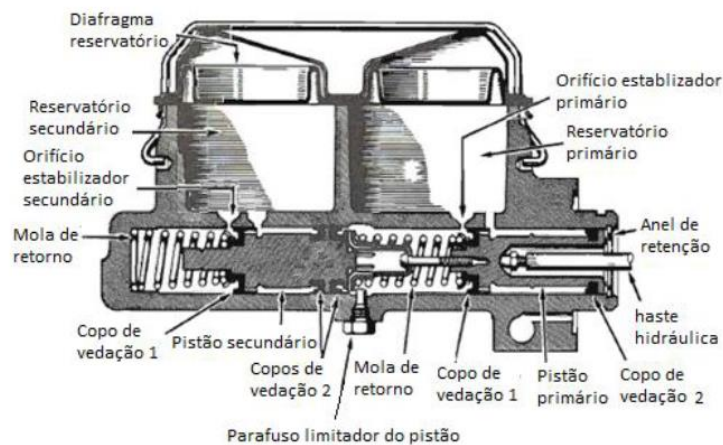
Figura 12 – Tipos de combinações de circuitos de um freio hidráulico



Fonte: Silva (2017).

O cilindro mestre tandem ou duplo como demonstrado na Figura 13, possui, dentro de apenas um cilindro, dois pistões posicionados em linha. Sendo assim, cada divisão desse tipo de cilindro funciona de forma individual, sendo cada um deles o responsável por uma parte do circuito, mas compartilhando do mesmo espaço no cilindro mestre.

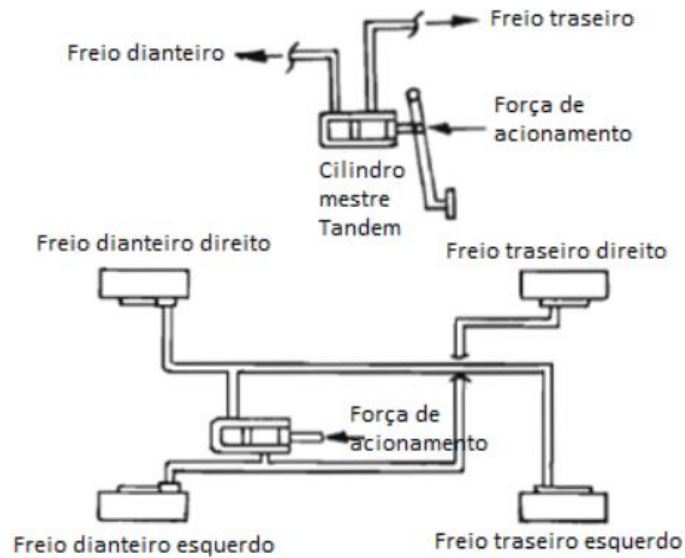
Figura 13 – Cilindro mestre Duplo



Fonte: Silva (2017).

A exigência legal para que haja essa forma de divisão no sistema de freio que atua no veículo é, justamente, para proporcionar uma maior segurança para o condutor e os passageiros desse veículo em seus deslocamentos, para que, caso ocorra algum tipo de falha, não haja uma perda total desse sistema, o que poderia comprometer gravemente a segurança dos integrantes do veículo, quando se encontra em movimento.

Figura 14 – Circuito hidráulico de um sistema de freio com cilindro mestre Tandem



Fonte: Silva (2017).

Em relação a fixação do cilindro mestre, ele pode ser encontrado na forma fixa ou flutuante. A montagem do tipo flutuante, como demonstrado na Figura 15, apresenta uma forma mais compacta do cilindro à estrutura, já que ele é articulado.

Figura 15 – Cilindro mestre flutuante



Fonte: Dantas (2017).

Por outro lado, o cilindro do tipo fixo, demonstrado na Figura 16, apresenta maiores facilidades em sua construção, tornando-se o mais comum em ser utilizado.

Figura 16 – Cilindro mestre fixo



Fonte: Dantas (2017).

Tubos hidráulicos e conexões

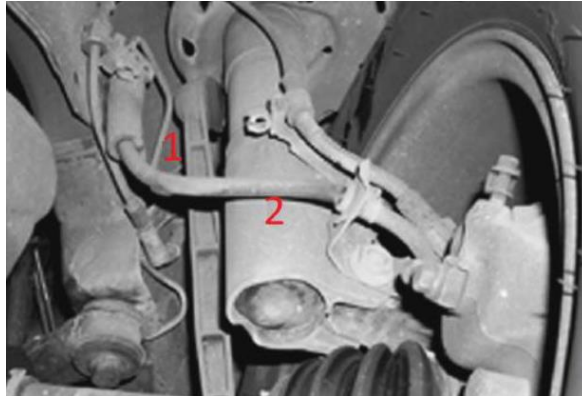
Esses componentes são os responsáveis por conectar os componentes hidráulicos que envolvem o sistema de freio, eles que realizam a transmissão da pressão hidráulica do cilindro mestre por toda a tubulação até as pinças de freio, onde ocorrerá o deslocamento das pastilhas de freio e, conseqüentemente, o atrito entre elas e o disco de freio.

Como mencionado por Heiring; Ersoy, (2011), esses componentes devem possuir algumas características fundamentais para um bom funcionamento, por exemplo, eles devem ser projetados para suportar pressão sem apresentar deformações em excesso, sem apresentar expansão ao longo da tubulação, deve possuir uma boa resiliência térmica, pois devido ao atrito realizado durante a frenagem é esperado que haja um aquecimento nos locais próximos ao disco de freio e dos componentes ao redor e deve apresentar, também, uma boa resistência a produtos químicos.

As tubulações que são responsáveis pelo transporte do fluido de freio podem ser encontradas em duas formas, segundo Dantas (2017), rígida ou flexível. As linhas rígidas são utilizadas para conectar os componentes hidráulicos com os estacionários. As mangueiras de freio proporcionam que o fluido seja transmitido sob pressão sem qualquer tipo de obstrução, mesmo que funcione diante de condições extremas. A mangueira que é encontrada na parte de distribuição do fluido na forma flexível, por exemplo, possui uma parte com uma camada dupla de trança para auxiliar no suporte de pressão e outra parte com uma camada de borracha externa, que serve para protegê-la.

Segundo Reif (2014), as mangueiras flexíveis do sistema de freio realizam uma conexão entre os tubos de freio que estão ligados rigidamente à carroceria e aos componentes do freio que estão sujeitos a movimentação, como, por exemplo, a suspensão, o cubo e a roda do veículo. Segue na Figura 17 o duto rígido e flexível, apresentados nos itens 1 e 2, respectivamente.

Figura 17 – Tubulação rígida (1) e flexível (2)



Fonte: Dantas (2017).

O uso das mangueiras de freio flexíveis e os seus respectivos comprimentos são fornecidos de formas específicas, podendo adquirir algumas características particulares só para alguns tipos de veículos. Geralmente, os regulamentos para esses tipos de componentes fazem alguns tipos de exigências, dentre elas está a que pede para que as mangueiras de freio não entrem em contato direto com a suspensão ou alguma parte do veículo em que apresente temperaturas ou pressões superiores as máximas que aquele sistema foi projetado para funcionar.

Fluido

Em um sistema de frenagem hidráulico o fluido de freio é o responsável pela transmissão de energia do cilindro mestre, componente de controle hidráulico, para os componentes do freio que estão próximos às rodas. Além disso, esse fluido deve exercer a sua função de transmitir a pressão para os componentes de freio dentro de uma faixa de temperatura de trabalho específica. Além dessa função, o líquido do sistema também realiza a lubrificação dos componentes móveis, como as juntas, os pistões e as válvulas, realizando a proteção dessas peças contra a corrosão.

Os parâmetros de qualidade no funcionamento do fluido são encontrados, segundo Reif (2014), através dos padrões estabelecidos na SAE J 1703, Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS 116), ISO 4925, como demonstrado na Figura 18 abaixo:

Figura 18 – Características dos fluidos de freio

Padrão do teste		FMVSS 116 ¹⁾			SAE J1703
Avaliação/Classificação do fluido		DOT3	DOT4	DOT5, DOT5.1	11.83
Ponto de ebulição seco	min. °C	205	230	260	205
Ponto de ebulição úmido	min. °C	140	155	180	140
Viscosidade fria em -40°C	mm ² /s	1500	1800	900	1800

Fonte: Dantas (2017).

O tipo de fluido de freio deve ser escolhido com cautela, pois conforme já apresentado, os freios dissipam calor, podendo apresentar valores maiores ou menores de temperaturas de trabalho, o que depende da aplicação e das características que aquele veículo possui. Quando o sistema de freio é acionado, o fluido também apresenta um aquecimento considerável, esse fato deve estar de acordo com o projetado, para não ocorrer a ebulição de parte desse fluido e ocasionar a formação de vapor d'água dentro das linhas, o que não é positivo para um bom funcionamento do sistema de freio hidráulico. O fluido de freio é incompressível, mas se em algum momento ocorrer essa formação de vapor dentro das linhas, o vapor torna-se uma parte compressível dentro do sistema, o que irá ocasionar uma perda de eficiência ou pode até ocasionar uma falha do sistema. Dessa forma, o que pode ocorrer é o curso do pedal aumentar, chegando no seu ponto em que o seu curso é máximo, mas não conseguir gerar pressão suficiente no sistema de freio para realizar a desaceleração desejada.

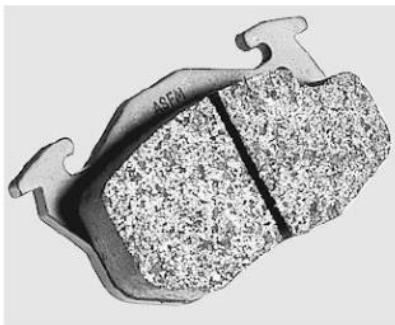
Pastilha

Esse componente é uma das duas superfícies que está envolvida durante o contato que gera o atrito necessário para realizar a frenagem, a outra é a superfície do disco de freio. A pastilha de freio é projetada, segundo Puhn (1985), para possuir um material que realize a fricção necessária para realizar a frenagem do veículo de forma esse material exerça essa função, mas que ele não seja mais duro do que o disco de freio, pois a pastilha é que deve sofrer o desgaste durante a sua utilização e o disco de freio deve ser o componente de maior durabilidade. Com base nisso, a desaceleração do veículo é iniciada quando surge a fricção entre as superfícies em contato, quando uma desliza contra a outra devido a pressão exercida no fluido do sistema, que empurra a superfície das pastilhas contra a superfície do disco.

Durante tal ação há uma resistência ao deslizamento, ela é denominada de força de atrito, que atua nas superfícies deslizantes na área de contato, atuando na direção contrária ao sentido do movimento. Para a realização dessa força há dois fatores importantes a serem considerados, um deles é o tipo de superfície que entrará em contato e o outro é a intensidade da força normal que age pressionando a pastilha contra o disco de freio.

Portanto, o condutor ao aplicar a força no pedal de freio exerce uma pressurização em todo o fluido de freio presente no sistema, que irá transmitir ela para os componentes móveis do sistema de freio localizados próximos a roda, o que irá empurrar as pastilhas de freio contra a superfície rotativa, o disco de freio, e irá gerar a fricção entre os materiais e irá resultar na força que realiza a frenagem, transformando a energia cinética do veículo em energia térmica. Com base nisso, segundo Reif (2014), o fator que irá determinar a intensidade da força que deve ser aplicada pelo condutor no pedal de freio é o coeficiente de atrito cinético das superfícies envolvidas no contato durante a realização da frenagem.

Figura 19 – Pastilha de freio a disco



Fonte: Dantas (2017).

Alguns requisitos são fundamentais para a escolha de um bom material de fricção, como mencionado por Puhn (1985), ele deve apresentar um coeficiente de fricção que não altere quando houver uma elevação de temperatura, deve apresentar um desgaste gradativo e lento, não deve prejudicar a superfície que está em contato e não pode haver ruídos durante o acionamento dos freios. Geralmente as pastilhas são fabricadas em uma parte mais dura, para encaixe nas pinças de freio, um material que irá realizar o atrito durante o acionamento dos freios, sofrendo o desgaste, e uma pequena peça que é fabricada para apresentar um ruído quando se aciona os freios, mas ele só surge quando a pastilha está no momento em que há a necessidade de ser substituída, para que o condutor fique atento e não tenha prejuízos no seu disco de freio.

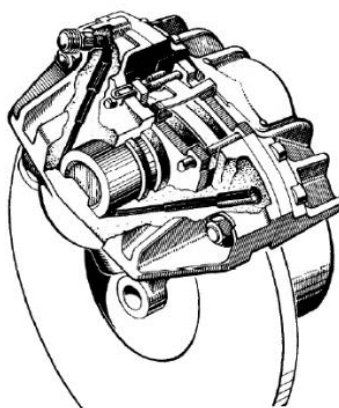
Se tratando dos materiais, não há um material padrão que é utilizado em todos os veículos, podem ser encontrados diferentes tipos, pois as características do material escolhido são determinadas pela aplicação de onde ele será utilizado, pois depende das condições extremas que os veículos estão submetidos. Por exemplo, as condições extremas de uso de um carro de passeio são diferentes de carros utilizados em corridas, então serão utilizados componentes distintos e com materiais diferentes para se adequar melhor a situação em que está sendo utilizado, de forma a proporcionar a devida segurança para o condutor do veículo.

Disco

Esse componente é o que sofre a ação das pastilhas de freio e contém parte das superfícies envolvidas pela força de atrito para realizar a frenagem. Tal componente, ao acionar o sistema de freio, pode chegar a absorver aproximadamente 90% da energia térmica gerada através da transformação da energia cinética do movimento do veículo (HEIRING; ERSOY, 2011), que irá ser dissipada pelo ar que entra em contato com os discos. Dependendo do veículo em análise, a superfície do disco pode chegar a temperaturas próximas de 700 °C.

Portanto, o disco é um componente que gira entre as pinças de freio e o pistão do cilindro da roda, segundo Limpert (1999), através do seu deslocamento por meio da pressurização do fluido no sistema de freio, empurra as pastilhas contra o rotor e produz o torque do freio.

Figura 20 – Freio a disco



Fonte – Limpert (1999).

Conforme o que foi mencionado por Puhn (1985), o disco deve possuir um material que possua boas propriedades em relação ao desgaste e ao atrito, deve resistir altas temperaturas e possuir uma alta rigidez. O rotor é medido através do seu diâmetro externo e espessura nas suas superfícies de contato, o que, geralmente, é limitado pela dimensão da roda do veículo. Alguns discos de freios podem apresentar rasgos usinados ou ranhuras na superfície de contato, com a função de reduzir o acúmulo de materiais na região de atrito entre as superfícies, que podem ocasionar uma pequena perda de eficiência durante o processo de frenagem.

Se tratando de fixação, podem ser encontrados dois tipos de disco disponíveis no mercado para os automóveis, sendo o mais disponibilizado o tipo que pode ser fixado no cubo da roda, que, geralmente, é utilizado na maioria das motocicletas e carros convencionais. O outro tipo, é denominado de disco flutuante, que também possui sua fixação no cubo da roda, mas tem uma estrutura bipartida, que é unida por rebites, como é demonstrado na Figura 21.

Figura 21 – Disco de freio do tipo flutuante



Fonte: Quatro Rodas (2017).

O tipo de disco demonstrado na figura anterior é composto possui duas partes, uma com um anel de fricção plano e outra com um suporte de disco interno. A parte que possui o anel de fricção possui uma livre movimentação na direção axial em relação ao suporte do disco, que está fixo ao cubo, o qual permite uma flutuação lateral entre essas peças. Tal flutuação torna possível auxiliar na compensação de algum tipo de empenamento no disco (HEIRING;

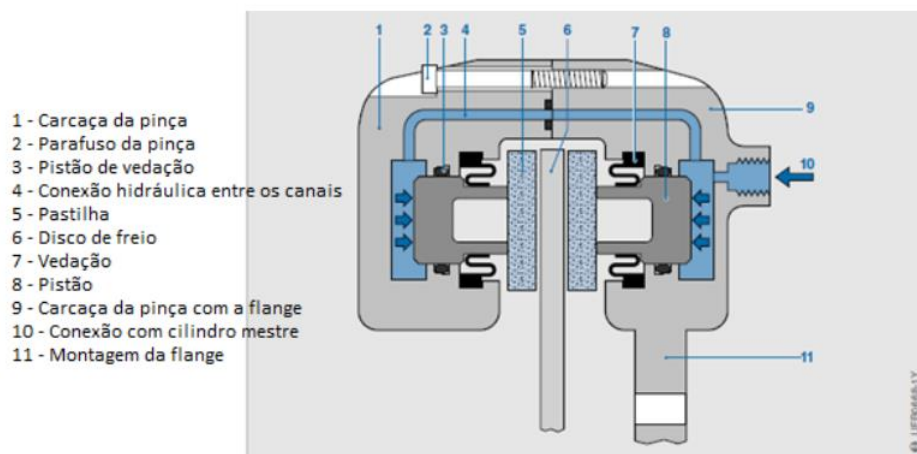
ERSOY, 2011), evitando vibrações indesejadas no sistema, e amenizar a transferência de calor que chega nos rolamentos da roda do veículo.

Pinça

Esse componente é onde ficam localizados as pastilhas de freio e os pistões hidráulicos, que empurram as pastilhas contra o disco. Existem tipos diferentes de pinças, segundo Puhn (1985), podendo variar em relação ao material, disposição do pistão ou geometria. Mesmo podendo se apresentar de formas distintas, como as citadas, todos os modelos citados funcionam da mesma forma, ao ser acionado o pedal, pelo condutor, o fluido de freio exerce uma força nos pistões que irão empurrar as pastilhas de freio contra o disco, gerando atrito que resultará na desaceleração do veículo.

Segundo Limpert (1999), há duas formas de pinças de freio que são disponibilizadas, podendo ser encontradas no tipo flutuante ou fixa. A pinça do tipo fixa, como demonstrado na Figura 22, apresenta um caliper, possuindo um acionamento fixo no flange, podendo ser encontrado dois ou quatro pistões que exercem a função de empurrar as pastilhas para fora.

Figura 22 – Pinça do tipo fixa

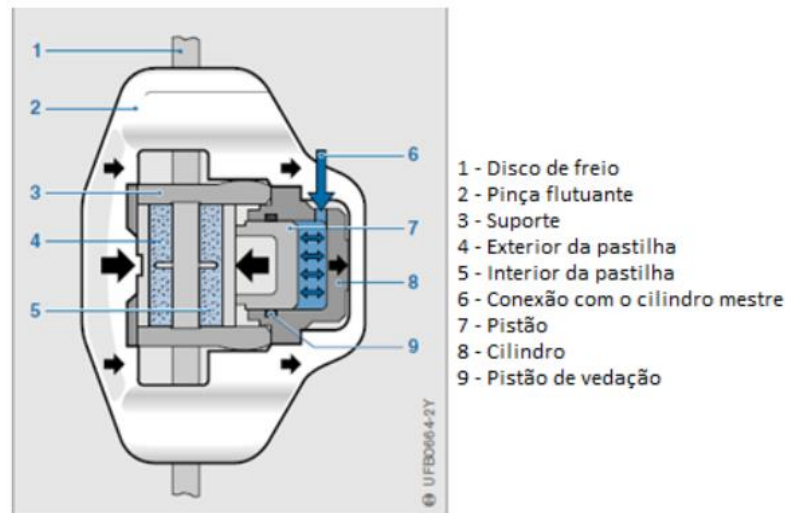


Fonte: Silva (2017).

A pinça flutuante, conforme demonstrada na Figura 23, pode apresentar um ou dois pistões, sendo utilizado somente na parte interna. Nesse tipo de pinça a pressão hidráulica exerce sua força tanto no pistão e na pastilha (SILVA, 2017), em direção ao disco de freio,

quanto no cilindro da roda, no sentido contrário, para realizar uma pressão na placa externa contra o disco.

Figura 23 – Pinça do tipo flutuante



Fonte: Silva (2017).

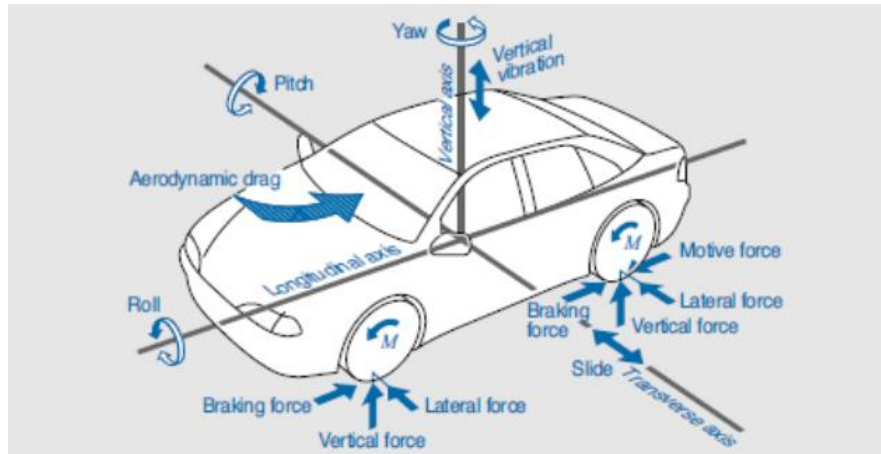
As vantagens que podem ser citados quando se compara a pinça do tipo flutuante com o tipo fixa são a praticidade em relação a montagem, já que não possui pistão do lado de fora ou na roda, a característica de possuir uma temperatura de trabalho do fluido de freio inferior ao da pinça fixa, o que gera uma menor probabilidade de o fluido sofrer vaporização, e possui poucos pontos de vazamento, além de possuir uma facilidade maior no momento de sangrar o sistema de freio. A própria pinça, por ser do tipo flutuante, se ajusta se o disco apresentar movimentos axiais, proporcionando uma área de contato maior.

2.1.5 Dinâmica veicular

Ao realizar a aceleração e a frenagem de um determinado veículo, há vários tipos de forças externas que surgem atuando no veículo, como, por exemplo, a forças de atrito, que age nas rodas e nas forças inerciais (HEIRING; ERSOY, 2011), que se concentram no centro de gravidade do veículo em análise. Em relação as forças internas que atuam no veículo, elas estão distribuídas entre as rodas dianteiras e traseiras, de uma forma que toda a força longitudinal esteja dividida entre as rodas do veículo durante a realização da frenagem. Em relação ao estado do veículo em aceleração, somente as rodas motorizadas que estão submetidas

as forças longitudinais. Como demonstrado na Figura 24, são indicadas as forças dinâmicas que atuam no veículo em análise.

Figura 24 – Forças atuantes sobre um veículo em movimento



Fonte: Silva (2017).

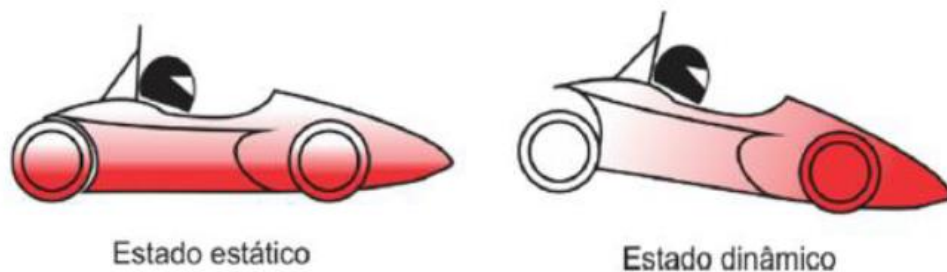
As forças que surgem no momento de realização do processo de frenagem de um veículo influenciam na dinâmica lateral dele, pois tais forças interferem de maneira indireta na estabilidade lateral do pneu. Durante a realização deste processo, realizar a frenagem do veículo com a maior intensidade possível não é o principal fator (BREUER; BILL, 2008), ele deve ser realizado de forma que leve em consideração, também, a estabilidade do veículo.

2.1.6 Transferência de carga

Um desafio bastante significativo durante o processo de frenagem ocorre devido a transferência de carga dinâmica resultante do processo de frenagem do veículo. Esse é um ponto que deve ser analisado com cautela na concepção de um veículo, pois há situações em que alguns veículos apresentam alterações bastante significativas no seu centro de gravidade quando estão em movimento com uma carga mínima ou com a carga máxima suportada. Com base nisso, para esse tipo de veículo, a distribuição de forças durante a frenagem deve ser analisada de forma mais cuidadosa ainda, para que se obtenha um bom desempenho do sistema de freio mesmo em condições de estradas secas ou escorregadias e em condições de carga mínima ou máxima também.

O momento que surge através da frenagem ou aceleração do veículo ocorre de acordo com a distância do centro de gravidade que está sendo analisado até o solo. Tal movimento ocasiona alterações nas forças verticais do eixo traseiro e dianteiro do veículo que está sendo analisado. Com base nisso, citando o caso de uma frenagem, ao ser acionado o sistema de freio do veículo, uma parte dos esforços verticais na roda traseira irá se transferir para as rodas dianteiras (HEIRING; ERSOY, 2011), como demonstrado na Figura 25, o que justifica o motivo de freios com maior capacidade de frenagem, geralmente, serem utilizados na parte dianteira dos veículos, por exemplo, a utilização de sistemas de freios a disco na dianteira e a tambor na traseira de carros e motocicletas convencionais.

Figura 25 – Transferência de carga durante o processo de frenagem



Fonte: Silva (2017).

Conforme o citado por Breuer e Bill (2008) a força de inércia que está localizada no centro de gravidade que surge através do processo de frenagem e ocasiona o movimento do veículo, demonstrado na Figura 25, é diretamente dependente de dados como a distância entre eixos, a rigidez das molas e a altura do centro de gravidade. Quando ocorre a frenagem e há essa transferência de carga do eixo traseiro para o dianteiro há uma alteração na capacidade de frenagem também, por isso deve ser analisado com cautela esse sistema ao se projetar um veículo, pois isso envolve um risco que o condutor pode estar sujeito a passar caso utilize o veículo em condições extremas e, para isso, independente das condições em que esse veículo se encontra, o sistema de freio tem a função de funcionar de forma eficaz de qualquer forma.

2.2 CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE

2.2.1 Introdução

Conforme o que foi citado por Fogliatto (2009), a definição de confiabilidade está relacionada ao fato de um produto ou sistema realizar a operação, a qual foi projetada, de forma bem-sucedida, não apresentando falhas ou algum tipo de dano indesejável. Ela está associada, também, ao desempenho adequado de uma função específica, sob condições já determinadas, por um período de tempo.

Dessa forma, o modelo mais prático para realizar uma certa associação, em relação ao estado de um item, é o modelo binário, o qual indica o item funcionando em um estado considerado normal ou de forma que apresenta algum tipo de falha. Mas, para determinar em qual estado o item em análise se encontra, é necessário o conhecimento e determinação do que seria um desempenho adequado desse item, para a partir desse ponto, identificar as suas falhas, pois, com isso, tem-se a noção de quais funções ele não exerce mais de maneira adequada. Por esse motivo que deve haver um padrão para ser utilizado como parâmetro de um bom desempenho e, após isso, descrever o que de fato é considerada uma falha para aquele item em análise.

Além disso, deve haver uma especificação do propósito que o item irá se submeter, pois ele pode apresentar confiabilidades distintas, dependendo da sua aplicação e ambiente de trabalho, pois serão realizados esforços diferentes para o mesmo item. Então, para não haver interpretações equivocadas, tais observações devem ser relevantes ao analisar um determinado item.

Fogliatto (2009) cita que a confiabilidade é definida como uma função, que depende diretamente do tempo, e, por isso, devem ser levadas em consideração alguns tópicos, como os descritos abaixo:

- Na análise deve haver uma unidade de tempo para a realização do estudo, podendo ser meses, anos ou dias, por exemplo;
- Os modelos que indicam os tempos de falha dos itens, geralmente, fazem a utilização da variável aleatória T (em vez de X).

- O termo tempo é utilizado, nesse conteúdo, de forma não literal, pois ele pode ser interpretado, também, como número de ciclos até atingir a falha de um item ou outras formas também, que dependem do que está em análise.
- O conceito de confiabilidade deve estar associado a duração de uma missão ou algum tempo total, para ter como base o comparativo ao longo do tempo do quanto aquele determinado item é confiável, pois é algo que varia ao longo do tempo.

2.2.2 Qualidade e Confiabilidade

Os conceitos de qualidade e confiabilidade, apesar de aparentemente serem semelhantes, eles apresentam significados distintos, nesse conteúdo, pois a confiabilidade apresenta a passagem do tempo, o que não ocorre com o conceito de qualidade, que é apenas uma descrição de um item de maneira estática. Um item que apresenta uma confiabilidade alta irá apresentar, também, uma alta qualidade, mas o contrário não acontece sempre, deve ser analisado com cautela para não se tornar uma afirmação equivocada.

A definição de qualidade pode ser dividida em duas partes, uma dizendo que ela está associada à capacidade de estar projetando produtos que apresentem características e atributos otimizados, para poder estar atendendo as necessidades e desejos dos seus consumidores, a outra parte é que algumas dessas características podem ser do tipo qualitativas, que se encontram relacionadas a aspectos estéticos.

2.2.3 Principais Conceitos Associados à Confiabilidade

Os conceitos principais que podem ser relacionados à confiabilidade são, de acordo com Fogliatto (2009): disponibilidade, manutenibilidade, qualidade, segurança e confiança. Os quais são descritos a seguir:

Disponibilidade – está relacionado a capacidade de um determinado componente desempenhar a função que ele foi projetado para realizar em um período de tempo predeterminado.

Mantenabilidade – está relacionada a capacidade de um determinado componente ser mantido ou recolocado em condições para executar as suas funções requeridas, sob condições predeterminadas de uso, quando ele é submetido à manutenção em condições preestabelecidas e utilizando procedimentos e recursos padrão.

Qualidade – está relacionada ao conjunto de características de um determinado produto ou serviço que produzem a satisfação de necessidades explícitas e implícitas relacionadas a tal serviço ou produto. Ou seja, qualidade é definida como o cumprimento das especificações desejadas para o projeto e a realização da manufatura apresentando a menor variabilidade possível.

Segurança - é definida como a ausência ou baixa probabilidade de condições que possam causar danos, graves ou leves, bem como prejuízos, perda de propriedade ou de equipamentos.

Confiança – está relacionado a um conjunto das outras características, como a disponibilidade e seus fatores determinantes: o desempenho da manutenibilidade, do suporte técnico e da confiabilidade.

2.2.4 Medidas de Confiabilidade

Conforme citado por Fogliatto (2009), as três medidas de confiabilidade mais comumente usadas para unidades não-reparáveis apresentadas nesta seção são:

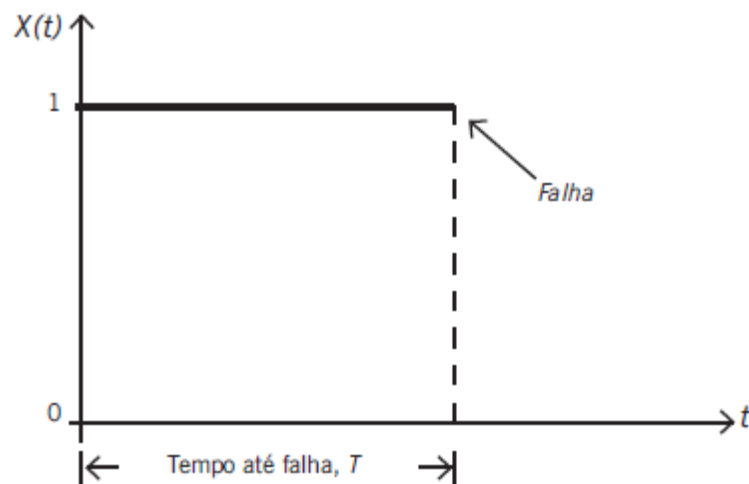
- A função de confiabilidade **$R(t)$** ,
- O tempo médio até falha, **MTTF** (mean time to failure).
- A função de risco **$h(t)$**

Tempo até a Falha

O tempo até falha de uma unidade é definido como o tempo entre o momento em que é iniciada a operação do item e o momento em que ele atinge sua primeira falha. Para isso é utilizado o termo $t = 0$ como o ponto inicial da operação do sistema. O tempo percorrido até

o momento da falha do item é definido por uma variável aleatória, denominada de T . O estado do componente ao longo do tempo t pode ser apresentado por uma variável de estado $X(t)$, que é uma variável aleatória que possui dois estados: um é quando $X(t) = 1$, no caso do componente estar realizando sua função no tempo t , e o outro estado é quando $X(t) = 0$, que representa quando o item em análise não está realizando algum tipo de operação no tempo t . A relação que existe entre esses dois estados ao longo do tempo t é demonstrado na Figura 26.

Figura 26 – Variável de estado em função de $X(t)$



Fonte: Fogliatto (2009).

De acordo com Fogliatto (2009), entende-se que nem sempre o tempo até a falha é medido continuamente, pois pode apresentar valores discretos, assumindo valores discretos, por exemplo, apresentar-se como número de ciclos até falha.

Com base nisso, para encontrar-se os valores da função de densidade de probabilidade $f(t)$ é utilizada a fórmula (1.1), definida como:

$$f(t) = F'(t) = \frac{d}{dt} F(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Função de Confiabilidade, $R(t)$

Suponha que unidades idênticas de um determinado componente sejam submetidas a realizar um teste em condições predeterminadas. Transcorrido um intervalo de tempo, faz se

o registro das unidades que apresentaram a falha, somada as informações das unidades que não falharam. Com base nisso, faz-se a análise de confiabilidade do componente, que é definida como a probabilidade acumulada de exercer as funções predeterminadas de forma eficaz, que não apresente falhas. Sendo assim, em um período de tempo t , a função de confiabilidade $R(t)$ é definida por:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u) du = \int_t^{+\infty} f(u) du \quad (1.2)$$

Portanto, a função de confiabilidade $R(t)$ apresenta a probabilidade de o item em análise apresentar sucesso na atividade que está submetido (ou seja, ausência de falhas) no intervalo de tempo que está sendo analisado (FOGLIATTO, 2009), de 0 até o tempo t , e ainda continuar funcionando. A função de confiabilidade $R(t)$ pode ser encontrada, também, com a denominação de função de sobrevivência.

Função de Risco, $h(t)$

A denominada função de risco $h(t)$ pode ser definida como a quantidade de risco que está associado a um determinado tempo t . Tal função é de fundamental importância ao ser realizada uma análise do risco em que um determinado item está exposto ao longo do tempo (FOGLIATTO, 2009), podendo ser utilizada como base para realizar comparações entre unidades com características diferentes. A função de risco pode ser denominada em confiabilidade, também, como taxa de risco ou de falha. Esta função é resultante da expressão matemática dada por:

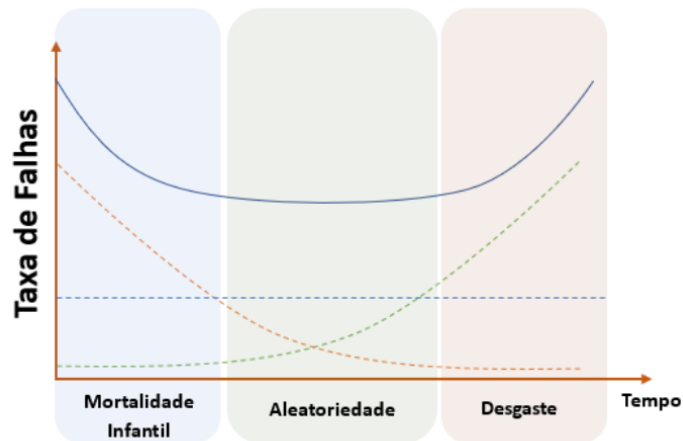
$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t) \Delta t} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0 \quad (1.3)$$

Em uma função de risco, geralmente, é utilizada como unidade de medida a quantidade de falhas por unidade de tempo. A maneira como essa função se comporta indica a forma como o item analisado envelhece. Portanto, como tal função pode ser entendida como a quantidade de risco que o item está submetido ao longo do tempo t , quanto menor for o valor resultante para a função, menor a quantidade de risco a que essa unidade está exposta.

Com base nisso, tem-se que as curvas que representam a função de risco podem se encontrar semelhantes a demonstrada na Figura 27, conhecida como “curva da banheira”, que demonstra que os itens podem se comportar com uma forma padrão em relação às falhas, ou pelo menos, próximo a isso, podendo ser classificados como falhas prematuras (mortalidade

infantil), aleatórias ou por desgaste, ao longo do tempo. Tais classificações são encontradas através da aplicação da função de risco.

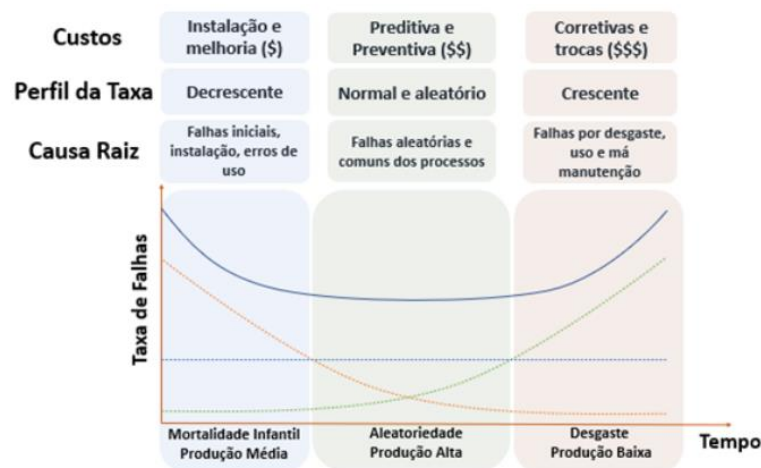
Figura 27 – Curva da Banheira



Fonte: Modular Cursos.

Portanto, a partir dos resultados encontrados que poderá obter o direcionamento de qual o melhor tipo de intervenção a ser realizada para aquele item em análise, pois em falhas prematuras é mais indicado realizar algum tipo de melhoria na peça ou verificação se não houve algum tipo de falha na montagem ou instalação do mesmo, caso seja uma falha aleatória o recomendado é realizar manutenções preventivas ou preditivas e, caso ocorram falhas por desgaste, o recomendado é realizar a manutenção corretiva ou substituição do componente em análise, como demonstrado na Figura 28.

Figura 28 – Curva da banheira, com custos, perfil de taxa e causa raiz



Fonte: Modular Cursos.

Tempo Médio até a Falha, MTTF

O tempo médio que um determinado item, segundo Fogliatto (2009), leva desde o início da atividade que está submetida até o momento em que apresenta falha é denominado de *MTTF* (do inglês *mean time to failure*), que pode ser representado por:

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad (1.4)$$

Ou seja, trata-se do valor esperado de falha da variável t , que demonstra o período mais indicado para intervenção de manutenções daquele item.

2.2.5 Métodos de Estimação de Parâmetros

Os métodos mais utilizados para estimar os parâmetros populacionais são, segundo Fogliatto (2009), o dos momentos, o dos mínimos quadrados e o da máxima verossimilhança. Este último será adotado neste trabalho e, com isso, independentemente do método de estimação que será utilizado, deseja-se obter resultados com estimadores que não subestimem ou superestimem o valor real do parâmetro, que converge rapidamente para um valor real do parâmetro à medida que a amostra aumenta o seu tamanho, que apresente uma menor variância dentre os estimadores escolhidos e utilize toda a informação relacionado ao parâmetro que contem na amostra.

Os estimadores de máxima verossimilhança apresentam, geralmente, propriedades assintóticas favoráveis. O estimador de máxima verossimilhança de qualquer parâmetro θ não é tendencioso quando a amostra possui grandes valores de n e possui uma variância tão pequena quanto possível de ser obtida com outro estimador.

2.2.6 Distribuições de Tempos até a Falha

Neste trabalho foram adotadas três distribuições de probabilidade que já são utilizadas frequentemente para descrever os tempos até a falha de determinados sistemas e componentes, que são as distribuições: *Exponencial*, *Weibull* e *Gama*.

As representações apresentadas para as distribuições aqui abordadas, conforme citado por Fogliatto (2009), são as mais utilizadas quando se é realizado algum tipo de estudo de confiabilidade:

função de densidade $f(t)$, função de confiabilidade $R(t)$, função de risco $h(t)$ e tempo médio até falha **MTTF**.

Distribuição Exponencial

Essa distribuição é importante nos estudos relacionados a confiabilidade por ser a única que se apresenta de forma contínua com uma função de risco constante. A maneira simples das expressões matemáticas derivadas da exponencial difundiu a sua utilização na área, às vezes inadequadas. As funções para esse tipo de distribuição, segundo Fogliatto (2009), adquirem as formas demonstradas nas fórmulas a seguir:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.5)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.6)$$

$$h(t) = \lambda \quad (1.7)$$

$$MTTF = E[T] = 1/\lambda \quad (1.8)$$

A distribuição exponencial apresenta algumas propriedades importantes, como destaque serve a que cita que ela não possui memória de itens com tempo até o momento da falha quando é modelado pela exponencial, ou seja, supõem-se unidades com uma mesma confiabilidade $R(t)$ para qualquer t , independente do seu tempo de utilização. Tal propriedade, geralmente, limita a aplicação desse tipo de distribuição a alguns componentes elétricos. Para itens que apresentam fadiga ou desgaste, eles são modelados de maneira adequada pela exponencial apenas no seu período de vida útil, quando a ocorrência de falhas se comporta de maneira constante ao longo do tempo.

Distribuição de Weibull

Essa distribuição é mais indicada para modelagem de tempos até falha que apresentam funções de risco estritamente decrescente, estritamente crescente ou constante.

Pode-se dizer que é uma das distribuições com maior importância na realização de modelagens de confiabilidade por possuir uma flexibilidade e capacidade de representação dos dados de tempos até o momento de falha, com diferentes tipos de comportamento. As representações de confiabilidade da Weibull, segundo Fogliatto (2009), para $t \geq 0$, $\gamma > 0$ e $\theta > 0$, são fornecidas nas seguintes equações:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\theta} t^{\gamma-1} e^{-t^\gamma/\theta} \quad (1.9)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\gamma} \quad (1.10)$$

$$h(t) = \frac{\gamma}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\gamma-1} \quad (1.11)$$

$$MTTF = \theta \Gamma(1 + 1/\gamma) \quad (1.12)$$

Ainda segundo Fogliatto (2009), ele cita que o tipo de função de risco da Weibull é definido pelo seu parâmetro de forma. Quando $\gamma < 1$, a função é representada com um comportamento decrescente. Quando $\gamma = 1$, a função é representada de maneira constante e se comporta como uma distribuição exponencial. Quando $\gamma > 1$, a função é representada de maneira crescente.

O parâmetro θ da Weibull é constantemente definido como a vida característica do item modelado por essa distribuição.

Distribuição Gama

Essa distribuição, assim como a de Weibull, é uma forma generalizada da distribuição exponencial. As principais medidas de confiabilidade para a distribuição gama são dadas por ($t \geq 0$, parâmetro de forma $\gamma > 0$ e parâmetro de escala $\lambda > 0$):

$$f(t) = \frac{\lambda}{\Gamma(\gamma)} (\lambda t)^{\gamma-1} e^{-\lambda t} \quad (1.13)$$

$$R(t) = 1 - \frac{1}{\Gamma(\gamma)} \int_0^{\lambda t} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (1.14)$$

$$h(t) = f(t)/R(t) \quad (1.15)$$

$$MTTF = \gamma/\lambda \quad (1.16)$$

Os formatos apresentados pela densidade da distribuição gama são semelhantes aos demonstrados pela distribuição de Weibull. Além disso, segundo Fogliatto (2009), assim como na distribuição de Weibull, a distribuição gama apresenta função de risco crescente quando $\gamma > 1$, decrescente quando $\gamma < 1$ e constante quando $\gamma = 1$.

2.2.7 Verificação do Ajuste de Dados a Distribuições de Probabilidade

A verificação do ajuste de dados é realizada através dos testes analíticos de aderência, em que os mais utilizados são o de Kolmogorov-Smirnov e o do qui-quadrado. Eles possuem a estrutura de um teste de hipóteses, em que a hipótese considerada nula é a que os dados seguem uma distribuição hipostenizada. O teste do qui-quadrado é considerado um teste paramétrico, com teste de estatística que segue uma distribuição do qui-quadrado, quando a hipótese é considerada verdadeira. O objetivo realizar o cálculo da soma dos quadrados das diferenças entre as frequências esperadas e frequências empíricas observadas para distintos intervalos de classe; caso a soma for superior a um certo valor já tabelado, a hipótese será rejeitada. O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) é utilizado de maneira semelhante, porém, ele considera as frequências acumuladas onde se considerava as frequências absolutas no outro teste, utilizando a informação que a amostra possui de uma maneira melhor. O KS é um teste não-paramétrico, que é mais indicado a sua utilização em casos que apresentem poucos dados amostrais. Além disso, também é utilizado o teste de Anderson-Darling, que realiza um teste estatístico em que a melhor distribuição a ser utilizada é representada pelo menor o valor resultante da aplicação desse teste de hipótese. Portanto, segundo Fogliatto (2009), é necessário organizar os dados amostrais em uma tabela de frequência, distribuindo em classes para que os testes sejam utilizados de forma adequada.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho consiste na realização de uma análise de quais problemas, dentre os encontrados nos modelos em que a concessionária é responsável, qual que acrescentava uma certa frequência e ocorria de maneira indesejada, de forma a ocorrer antes dos prazos estabelecidos para manutenção. Diante disso, o estudo foi concentrado no problema encontrado em um determinado modelo que apresentava vazamento de fluido através dos tubos flexíveis de freio.

Com base nisso, foram coletados os dados das quilometragens em que esses veículos retornavam a concessionária para realizar a manutenção nesse item, por apresentar tal vazamento. A partir desse ponto os dados das quilometragens de falhas foram organizados de forma crescente e em uma tabela em Excel para poder ser utilizado no estudo.

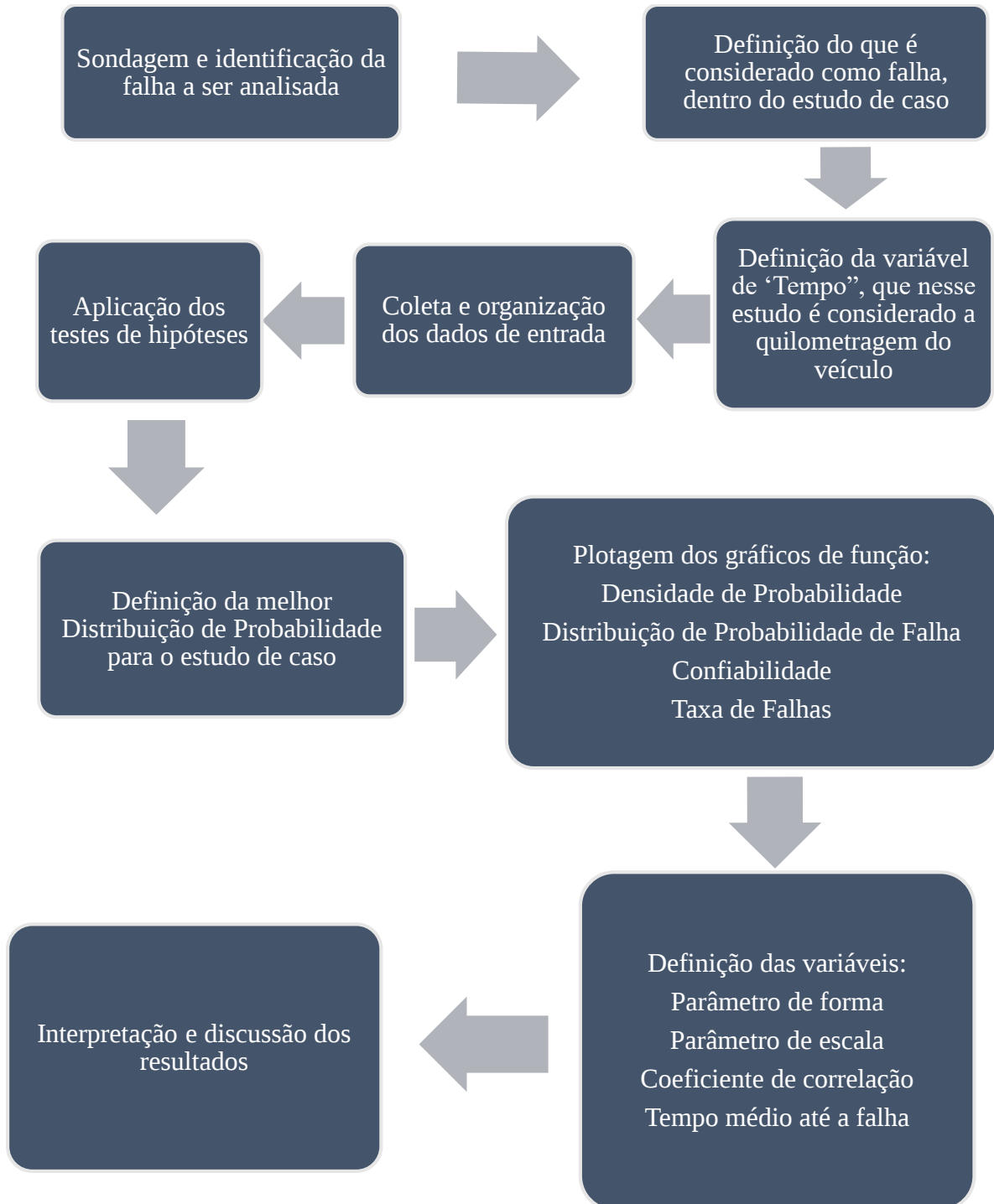
Após a realização da identificação da problemática e da coleta de dados, foram realizadas as aplicações dos métodos de confiabilidade para obter os resultados dos estudos. Primeiramente foram utilizados os testes de hipóteses, inseridos de maneira sequencial no código elaborado no Matlab, para indicar qual a distribuição será a mais indicada para representar o caso em análise. Foram realizados os testes de hipóteses de kolmogorov-smirnov, do qui-quadrado e o de Anderson-Darling, que mostram, através da aplicação das suas fórmulas e resultados, qual a distribuição que melhor se adequa para a utilização no estudo de caso dentre as distribuições disponibilizadas. Tal demonstração está relacionada ao nível de significância dos valores encontrados, quanto maior for o valor, para kolmogorov-smirnov e qui-quadrado, maior será o ajuste da distribuição ao conjunto de dados, e, para o teste de Anderson-Darling, quanto menor a estatística, o valor resultante do teste, melhor será esse ajuste.

Portanto, os métodos utilizados pelos testes de hipóteses funcionam da seguinte forma, o do Qui-Quadrado consiste em verificar a aproximação da curva de distribuição escolhida com a sua própria curva de distribuição, comparando a soma dos quadrados das diferenças entre as frequências observadas e esperadas, nos intervalos de classes com valor tabelado de X^2 , se a soma for superior ao valor tabelado, rejeita-se a hipótese. Já o método de Kolmogorov-Smirnov (KS) funciona de uma maneira semelhante ao teste do qui-quadrado, porém ele considera a frequência acumulada ao invés de frequências absolutas. O teste consiste em encontrar o maior valor absoluto da subtração entre as frequências esperadas relativas acumuladas e as frequências observadas relativas acumuladas, para comparar com o valor da tabela de KS, se o valor encontrado for superior ao tabelado, rejeita-se a hipótese. E o método de Anderson-Darling consiste em realizar uma estatística de teste, em que o resultado encontrado não rejeitado que apresentar o menor valor irá demonstrar a distribuição que melhor modela os dados utilizados para a análise. Ou seja, entre as distribuições de Weibull, Exponencial e Gama, o teste de hipóteses realiza a escolha do mais indicado e, após isso, o código do Matlab elaborado tem disponível as três condições de escolha, que são as distribuições de probabilidade, em que, dependendo de qual o meio mais indicado pelo teste de hipóteses, o código irá realizar a plotagem dos gráficos que representam as funções dentro de cada tipo de distribuição, obtendo assim, os gráficos e dados para realizar a interpretação e análise do caso.

Sendo assim, para uma representação simplificada da metodologia adotada nesse trabalho na realização da análise de confiabilidade dos tubos flexíveis de freios do modelo que apresentou as falhas, a Figura 29 representa o fluxograma que foi seguido para a realização

desse estudo de caso, aplicando os métodos de acordo com Fogliatto (2009) em uma análise com dados reais que foram fornecidos pela concessionária responsável pelo modelo em estudo.

Figura 29 – Fluxograma da metodologia realizada nesse trabalho



Fonte: Autoria Própria (2021).

4 RESULTADOS

Com base nas informações anteriores, têm-se o caso apresentado em que certa concessionária possui diversos modelos de veículos, porém, um dentre esses foi relatado que, com uma certa frequência apresenta vazamentos através do seu sistema de freios, mais especificamente em seus tubos flexíveis. Com base nisso, foi realizada a coleta de informações com o representante da marca para que informa que os clientes que passam por tal situação, ao detectar o defeito, procuram a concessionária para realizar os devidos reparos e seguir a utilização do seu veículo dentro das condições normais de uso.

Figura 30 – Indicação do local de um vazamento através do tubo flexível



Fonte: Autoria Própria (2021).

Todas as unidades do veículo que apresenta tal falha possuem um sistema de freio com acionamento hidráulico e freio a disco nas quatro rodas. Porém esse vazamento só foi registrado na parte das tubulações dianteiras do veículo, que através da transferência de carga durante a frenagem do veículo, costumam ser solicitados maiores esforços quando comparados ao sistema traseiro de frenagem do veículo. Os veículos em análise possuem, na parte dianteira, dois tubos flexíveis, um no lado direito e outro no lado esquerdo. Como as falhas ocorreram de forma aleatória em relação ao posicionamento deles, eles foram considerados como peças iguais e registrados as suas quilometragens, apenas 3 unidades desse modelo foram substituídas as duas unidades desse tubo na parte dianteira do veículo, por já apresentar algum tipo inicial de vazamento ou por prevenção, então também foram considerados como itens substituídos por apresentar algum tipo de falha.

As falhas nesse trabalho são consideradas quando o tubo flexível apresenta algum tipo de vazamento, caso ele não apresente, o mesmo está funcionando de acordo com as condições que se espera dele, caso contrário que há a necessidade de substituição pelo motivo dele não estar cumprindo com a função que foi projetado.

Com base nisso, os dados fornecidos pelo representante da concessionária de todos os tubos flexíveis que apresentaram algum tipo de vazamento do ano de 2018 até os dias atuais, foram:

Tabela 1 – Dados correspondentes a substituição do item que apresentou vazamento

Data da Manutenção	Quilometragem
01/08/2018	38819
01/12/2018	59518
28/01/2019	68816
21/02/2019	39507
14/03/2019	72056
10/07/2019	70768
25/09/2019	45966
31/10/2019	55873
08/01/2020	63707
26/02/2020	106451
07/03/2020	49363
20/06/2020	79629
19/10/2020	42952
23/10/2020	65287
03/12/2020	37704
08/01/2020	63707
20/06/2020	79629
19/10/2020	42952
05/01/2021	85791
10/02/2021	79704
25/03/2021	31267

Fonte: Autoria Própria (2021).

Os dados correspondem as quilometragens dos veículos que apresentaram vazamentos nos seus tubos flexíveis de freios. Porém, nem todas essas unidades podem ser consideradas como peças com defeitos, pois tal item faz parte do kit de peças a serem substituídas nas revisões de 60.000 km, o que significa que uma falha após essa quilometragem já é considerada como uma por desgaste, não por defeito na peça. Portanto, esses dados foram os fornecidos pelo representante da concessionária que apresentaram vazamentos, mas não significa que são todas as peças substituídas, pois há também os veículos que ao completaram

os 60.000 km rodados realizaram a revisão correspondente a tal quilometragem e substituíram os tubos flexíveis. Os dados fornecidos foram que do ano de 2015 ao ano de 2017, que a marca iniciou os trabalhos de manutenção na cidade de Teresina, não apresentaram falhas desse tipo devidos aos veículos ainda não terem atingido a quilometragem citada ou o defeito em análise. O que iniciou a ser observado no ano de 2018, em que neste ano 17 veículos desse modelo fizeram a revisão de 60.000 km e 2 unidades apresentaram vazamentos. No ano de 2019 foram realizadas 12 revisões desse modelo correspondente a tal quilometragem e 6 unidades apresentaram vazamentos. No ano de 2020 ocorreram 10 revisões desse modelo e nessa quilometragem, apresentando 10 vazamentos. No ano de 2021, ocorreram apenas 3 casos desse tipo de vazamento, mas nenhuma revisão de 60.000 km até então.

Portanto, de acordo com os métodos utilizados em Fogliatto (2009), é realizada a análise necessária para verificação de uma análise prática regional sobre esse tipo de falha, em que são utilizados os dados de falha, organizados de maneira crescente em relação às suas quilometragens e, após isso aplicados os testes de hipóteses, do Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling, para verificação de qual tipo de distribuição é a mais adequada para representar esse estudo de caso, entre as distribuições Exponencial, Weibull ou Gama.

Tabela 2 – Resultado do teste de hipótese para a escolha do tipo de distribuição a se utilizar

Distribuição de Probabilidade	Teste de Hipótese			Decisão
	Qui-Quadrado	Kolmogorov-Smirnov	Anderson-Darling	
Exponencial	5,60%	9,10%	4,66610	Rejeitar
Weibull	96,02%	94,47%	0,30444	Não Rejeitar
Gamma	3,50%	5,20%	4,96970	Rejeitar

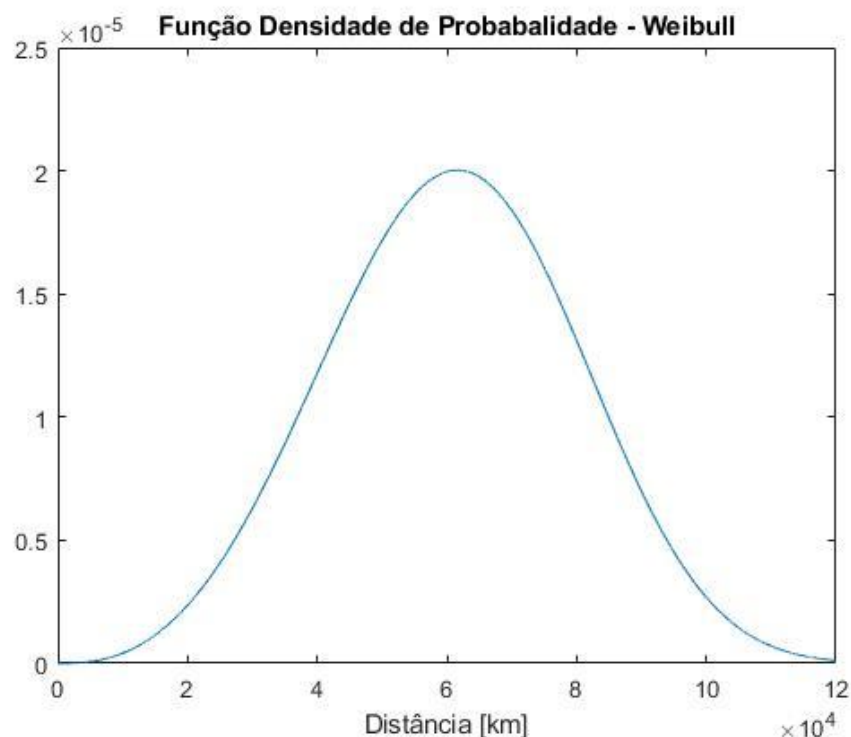
Fonte: Autoria Própria (2021).

O resultado obtido para o teste de hipóteses significa que dentre os valores não rejeitados, o que apresentar maior porcentagem, para os métodos Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov, será aquele mais ideal para a representação dos dados em análise. Já para o método de Anderson-Darling, quando menor o valor numérico resultante da aplicação de seu método, melhor será o teste. Com base nisso, segundo os estudos de Fogliatto (2009), a opção da distribuição de Weibull foi a única a não ser rejeitada, com maior porcentagem em relação aos

testes do Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov e o menor valor para o teste de Anderson-Darling.

Portanto, o método escolhido utiliza os dados de falhas como base para os cálculos e faz uma estimativa através de aplicações de funções de probabilidade, já demonstrado anteriormente, em que resulta em gráficos que auxiliam na interpretação e visualização das possíveis falhas quando analisada de uma forma geral. O resultado obtido através da aplicação da distribuição de Weibull é demonstrado a seguir:

Gráfico 1 – Curva da Função Densidade de probabilidade de falha da peça

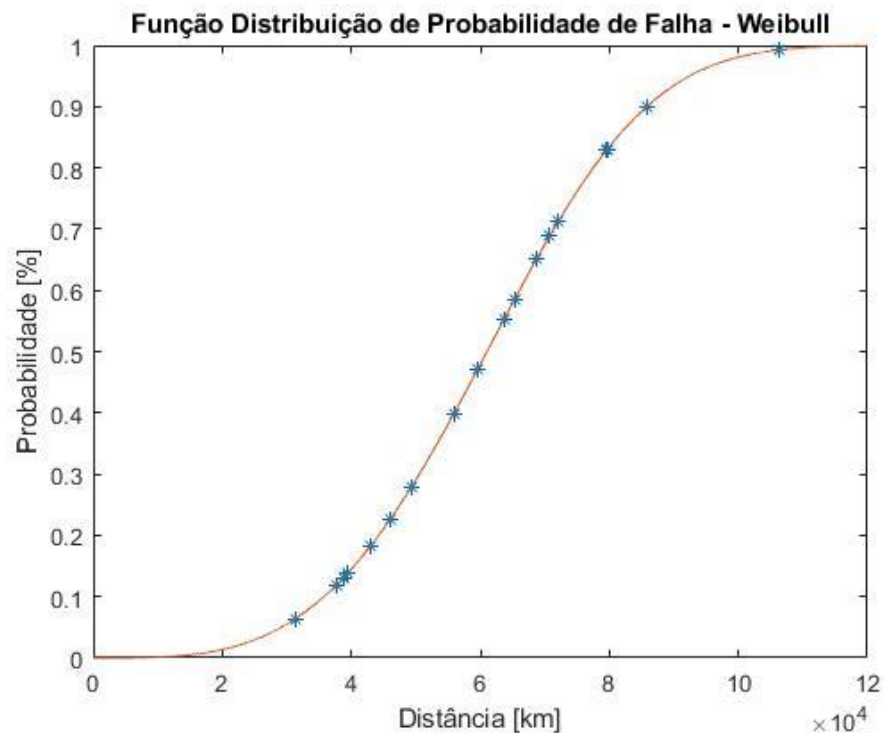


Fonte: Matlab (2021).

O que demonstra que a maioria da quantidade de falhas se encontra entre 20.000 km e 100.000 km, porém o crescimento de forma mais acentuada surge a partir do ponto em que representa 40.000 km e permanece em grande quantidade até o valor de aproximadamente 80.000 km.

Com base nos dados fornecidos e aplicando o método de Weibull, a Probabilidade de falha é demonstrada no Gráfico 2, abaixo:

Gráfico 2 - Probabilidade de falha dos dados em análise

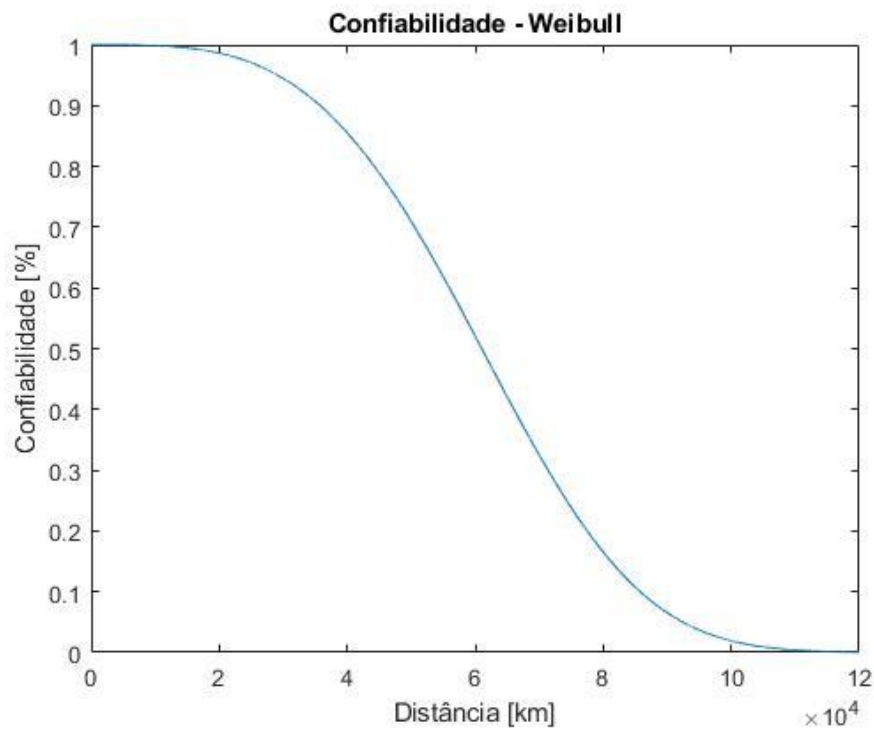


Fonte: Matlab (2021).

O que caracteriza uma probabilidade de falha crescente de acordo com o aumento da quilometragem percorrida pelo veículo, apresentando um valor de 50 % para os valores a partir de, aproximadamente, 61.000 km rodados.

A confiabilidade resultante através desse método é apresentada no Gráfico 3, em que demonstra o percentual de confiabilidade para a peça em análise de acordo com a sua quilometragem percorrida.

Gráfico 3 – Confiabilidade dos dados em análise



Fonte: Matlab (2021).

Portanto, para uma melhor interpretação do gráfico, foram selecionados os valores dos pontos na curva que correspondem as quilometragens aproximadas a partir de 20.000 km, com intervalos de 10.000 km, até atingir 100.000 km, através da distribuição de probabilidade de falha, no Gráfico 1, que resultaram na Tabela 2, demonstrada a seguir:

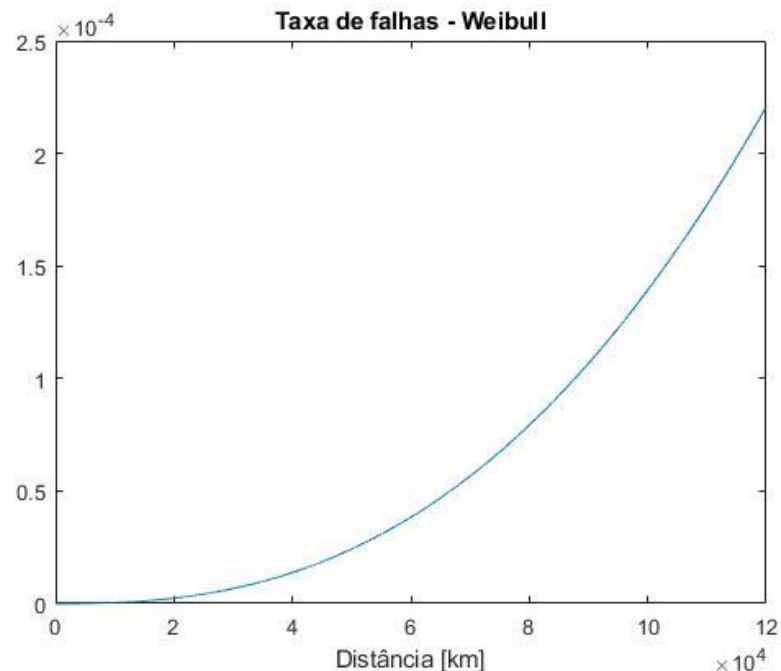
Tabela 2 – Confiabilidade obtida para cada quilometragem em análise

Quilometragem [km]	Confiabilidade
20.000	98,65%
30.000	94,28%
40.000	85,40%
50.000	70,76%
60.000	51,96%
70.000	32,19%
80.000	16,37%
90.000	6,33%
100.000	1,63%

Fonte: Autoria Própria (2021).

Portanto, observa-se que a partir de 60.000 km a confiabilidade relacionada aos tubos flexíveis já apresenta valores bem significativos, que analisando os dados já seria a quilometragem que faz uma divisão entre valores aceitáveis de probabilidade de falhas ou não. Tal quilometragem será ainda verificada através dos cálculos do Tempo Médio até a Falha, para a análise das informações e comparação entre os valores recomendados pela concessionária autorizada e seus respectivos valores reais de confiabilidade. A seguir é demonstrado, no Gráfico 4, a curva de Taxa de Falhas:

Gráfico 4 – Taxa de Falhas para os dados em análise



Fonte: Matlab (2021).

Adicionada as informações dos gráficos, foram inseridos os cálculos de algumas variáveis importantes para o auxílio interpretativo dos resultados a partir dos dados para a distribuição de Weibull, como os valores do parâmetro de forma, parâmetro de escala, coeficiente de correlação e tempo médio até a falha, como demonstrado na Figura 31, a seguir:

Figura 31 – Resultados adicionais obtidos através dos métodos de Weibull

```

-----
                                Weibull
-----
Parâmetro de forma: 3.525063
Parâmetro de escala: 67720.473431
Coeficiente de correlação: 97.433325
Tempo médio até a falha: 60954.416621

```

Fonte: Matlab (2021).

Com base nisso, analisando a variável *Parâmetro de forma*, observa-se um valor de 3,52 , o que significa que, segundo Fogliatto (2009), quando essa variável possui um valor igual a 1 ela é considerada uma falha aleatória, quando possui um valor inferior a 1 é considerada uma falha prematura, porém , quando apresenta valores superiores a 1 significa que são falhas por desgaste. Ou seja, é um tipo de falha que ocorre naturalmente quando a peça é submetida as solicitações a que foi projetada ou pode ocorrer também por um uso em condições severas de uso. Nesse tipo de caso o recurso financeiro da empresa é melhor investido quando direcionada a manutenção corretiva ou substituição da peça, apesar de ocorrer em alguns casos com a quilometragem abaixo do que é sugerido para a substituição da peça, ainda sim sairia um gasto muito caro para empresa investir em uma melhoria dessa peça. Tal atitude, de melhoria no item, seria o ideal para valores de parâmetro de forma entre 0 e 1, que não é o caso em análise.

Ao analisar o *Parâmetro de escala* , que resultou em um valor de 67.720 km, aproximadamente, esse valor corresponde a vida característica de um determinado componente. Isso significa que, caso o componente não apresente falhas prematuras, com parâmetro de forma menor do que 1, as falhas predominantes estão associadas ao desgaste do mesmo, tendendo a ocorrer nas proximidades de sua vida característica, ou seja, nesse tipo de caso, as falhas tendem a se concentrar nas proximidades do parâmetro de escala.

Em relação a variável denominada de *Coeficiente de correlação*, ela demonstra o quanto os dados experimentais em análise estão ajustados de acordo com a teoria de Weibull, que, por apresentar um valor de 97,43%, aproximadamente, está indicando que há uma validade na análise quando é utilizada essa distribuição nesse estudo de caso, confirmando o resultado já obtido anteriormente com o teste de hipóteses, na escolha da melhor distribuição para representar o estudo de caso.

Por fim, se tratando das variáveis em análise na Figura 31, tem-se o *Tempo médio até a falha*, que indica o período mais indicado para a realização de uma intervenção naquele determinado componente. Como o apresentado foi o valor de, aproximadamente, 60.954 km, percebe-se que a quilometragem está bastante próxima da recomendada pelos procedimentos da concessionária, levando em conta para o arredondamento que as revisões e trocas de óleo são feitas no mínimo a cada 5.000 km ou 10.000 km, ou seja, arredondando para a quilometragem de 60.000 km a intervenção mais indicada para uma manutenção no item em análise.

As recomendações caso esse tipo de falha nos tubos flexíveis do freio desse veículo ocorra são que, ao detectar ou perceber algum tipo de vazamento ou perda de eficiência do sistema de freio, por exemplo, ao sentir que o pedal está mais leve e percorrendo um maior deslocamento para conseguir realizar a frenagem do veículo com eficiência, que procure o quanto antes a concessionária para fazer a inspeção e manutenção das peças envolvidas para que o veículo esteja funcionando em boas condições de uso. Sobre a possibilidade de riscos sobre acidentes em relação a tal falha da peça, não há registros, justamente devido ao fato dos sistemas de freios dianteiros e traseiros funcionarem de formas independentes, um circuito para a parte dianteira do veículo e outro para a parte traseira do mesmo, para caso um deles apresente perda de eficiência ou falha, o outro ainda funcione e não haja possibilidades de riscos relacionados a segurança do condutor e dos passageiros presentes nesse modelo de veículo, sendo possível a detecção do defeito pelo cliente e a sua resolução em seguida através da concessionária.

O veículo ao chegar na concessionária e comprovar no diagnóstico que o defeito é exatamente na peça referida é realizada a substituição da mesma, sugerido a troca preventiva do outro tubo flexível dianteiro, por prevenção, checagem do nível do fluido de freio, de acordo com a solicitação do cliente, realizada a substituição do fluido, que é o recomendado, ou complementar o fluido para atingir o nível ideal de uso para o funcionamento correto do sistema.

5 CONCLUSÃO

Portanto, com base na evolução dos sistemas de segurança no setor automotivo, percebe-se que todos os componentes que envolvem o conjunto de peças de um veículo possuem uma confiabilidade segura até mesmo quando apresentam algum tipo de falha na função a que aquele determinado componente foi projetado para exercer. O tipo de falha é caracterizado como por desgaste, mesmo que em alguns casos ocorra de forma mais precoce.

Então, de acordo com o estudo realizado e aplicando as teorias conforme apresentadas por Fogliatto (2009), é notável que o mais recomendado a se realizar na teoria é o que de fato ocorre já na prática na concessionária em análise, que é o fato do tubo flexível de freio dianteiro ser um item de substituição na revisão de 60.000 km, que é a quilometragem recomendada para isso de acordo com a teoria de Weibull, e por questões de cuidado e zelo com o cliente, pelo motivo de apresentar esse tipo de falhas no sistema de freio do veículo, é sugerido que se ele quiser, pode realizar a substituição de tal peça a partir de 40.000 km, que é comprovado, também, no Gráfico 1, que é a quilometragem em que apresenta um crescimento mais relevante da densidade de probabilidade de falha.

O estudo realizado comprova, através de uma análise através de aplicações de métodos encontrados na Manutenção Industrial para minimizar os gastos das empresas em relação a seus produtos, as recomendações já realizadas pela concessionária e complementando a análise dos tipos de intervenções a serem realizadas e os seus respectivos tempos ideais para isso. Com isso, obtém-se informações relevantes que podem ser usadas como dados comparativos para a empresa, em locais diferentes em que os veículos funcionam em outras condições normais de uso em relação a temperatura, umidade e solicitações de esforços através de relevos distintos ou estradas em condições diferentes de uso, para, com base nisso, ter uma análise comparativa de forma mais geral, em nível nacional, por exemplo, e poder realizar o comparativo entre os resultados obtidos de forma nacional ou regional e, com isso, ajudar a verificar as reais variáveis que podem levar esse componente a falha, o que infelizmente nesse trabalho não foi possível realizar, devido as informações serem de propriedade exclusiva da empresa.

Com base nisso, havendo a oportunidade de acesso a informações adicionais ou a estudos sobre outros componentes, esse trabalho pode ser utilizado como passo inicial de um estudo com dados reais aplicando conceitos e teorias já utilizadas na manutenção para auxiliar

nas empresas, sempre buscando um bom desenvolvimento dela e possibilitando a redução de custos, em uma forma geral, com relação as intervenções que devem ser realizadas nelas, sejam em seus produtos ou seja nos seus equipamentos que são utilizados para realizar as manutenções.

6 REFERÊNCIAS

GIANSANTE, Breno Carlo Zanini. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIO PARA VEÍCULO OFF ROAD LEVE DE COMPETIÇÃO BAJA SAE**. 2017. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SILVA, Pedro Henrique Moraes et al. **Análise do sistema de freio de um veículo de competição Fórmula SAE**. 2017.

DANTAS, Kainã Vieira et al. **Dimensionamento de freios para veículos baja SAE: estudo de caso cactus baja**. 2019.

FOGLIATTO, F. S. RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro. Elsevier. 2009.

Autometaldirect. Disponível em < <https://www.autometaldirect.com/amd-parking-brake-pedal-assembly-p-19210.html> >. Acesso em 13 mai. 2021

Modular Cursos. Disponível em < <https://www.modularcursos.com/post/manutencao-e-a-curva-da-banheira> >. Acesso em 13 mai. 2021.

BREUER, B; BILL, K. **Brake Technology Handbook**. Warrendale, Pennsylvania, SAE International, 2008.

HEIRING, B; ERSOY, M. **Chassis Handbook**. Wiesbaden, Springer Fachmedien 2011.

LIMPERT, R. **Brake Design and Safety**. 2 ed, Warrendale, Pennsylvania, SAE International, 1999

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. 2 ed Bookman, 2004.

PUHN, F. **Brake Handbook**, 2 ed., New York, HpBooks, 1985.

QUATRO RODAS. DISCO FLUTUANTE. Disponível em: <<http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/sistema-de-freios/>> Acesso em: 10 mai. 2021.

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

DALL'AMICO, R., 2011. “Fundamentos da Pneumática II”.

DOS SANTOS PEIXOTO, Denis Ramon et al. **Desenvolvimento e montagem do sistema de frenagem de um veículo off road**. 2013.

KRUZE, Gabriel Aquino Schell. **Avaliação do coeficiente de atrito em um dinamômetro em escala reduzida**. 2009.

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

KRUZE, Gabriel Aquino Schell. **Avaliação do coeficiente de atrito em um dinamômetro em escala reduzida**. 2009.

LEEMIS, L. *Reliability: probabilistic models and statistical methods*. Nova York: Prentice-Hall, 384p., 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011.