

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE JOINVILLE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AUTOMOTIVA

THIAGO DE BORBA

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO EM FRENAGEM DE VEÍCULO COM SISTEMA
ABS ATIVO E INATIVO

Joinville
2016

THIAGO DE BORBA

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO EM FRENAGEM DE VEÍCULO COM SISTEMA
ABS ATIVO E INATIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva no curso de Bacharelado em Engenharia Automotiva da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville.

Orientador: Dr. Thiago Antonio Fiorentin

Joinville

2016

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO EM FRENAGEM DE VEÍCULO COM SISTEMA
ABS ATIVO E INATIVO

THIAGO DE BORBA

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville.

Joinville (SC), 01 de junho de 2016.

Banca Examinadora:

Dr. Thiago Antonio Fiorentin (Orientador)

Dr. Alexandre Mikowski

Dr. Lucas Weihmann

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador por toda ajuda e dedicação que foram vitais para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais pelo esforço, apoio e incentivo, pois sem eles nada disso seria possível.

Agradeço a minha namorada pela ajuda incondicional, pela paciência e por estar sempre ao meu lado me dando força nos momentos em que mais preciso.

Agradeço ao Kartódromo Internacional de Joinville por disponibilizar a pista para realização parcial dos testes.

Resumo

O presente trabalho mostra as principais configurações dos sistemas de freio aplicados nos veículos disponíveis no mercado e suas interações com o sistema de ABS. Durante uma situação de emergência, a reação natural do motorista é pressionar o pedal de freio com a maior intensidade possível. A pressão gerada no fluido de freio então é transmitida até os freios das rodas, ocasionando, na maioria dos casos, o travamento das rodas, provocando perda de aderência e um aumento significativo do escorregamento do pneu. O sistema ABS atua nessas situações modulando a pressão atuante no sistema de freio de modo que o grau de escorregamento não supere a faixa ideal de operação. Dessa forma, o objetivo principal, através de ensaios de desempenho, é demonstrar a importância da implantação do sistema ABS nos veículos. Os testes foram realizados utilizando um veículo com o sistema ABS ativo e inativo, foram coletados dados referente a distância de frenagem. Através desses dados foi possível realizar comparações para determinar a influência do ABS durante a ocorrência da frenagem.

Palavras-Chave: Frenagem. ABS. Escorregamento.

ABSTRACT

This paper shows the main brake system configurations applied to vehicles available in the market and its interaction with the ABS system. During an emergency, the natural reaction of the driver is pressing the brake pedal with the greatest possible intensity. The pressure generated in the brake fluid is transmitted to the brakes of the wheels, causing, in most cases, locking of the wheels, causing loss of adhesion and a significant increase in the slip of the tires. The ABS system operates in such situations modulating the pressure acting in the brake system so that the degree of slip does not exceed the ideal operating range. Thus, the main objective, through performance tests, is to demonstrate the importance of implementation of the ABS system in vehicles. The tests were conducted using a vehicle with the ABS system active and inactive and data were collected regarding the braking distance. Through these data were possible to make comparisons to determine the influence of ABS during the occurrence of braking.

Keywords: Braking. ABS. Slip.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução do sistema de ABS da empresa Robert Bosch.....	13
Figura 2 – Sistema de freio hidráulico convencional.....	16
Figura 3 – Conjunto do pedal de freio.....	17
Figura 4 – Multiplicação de força pelo sistema de alavancamento do pedal.....	18
Figura 5 – Servo-freio a vácuo de câmara dupla.....	19
Figura 6 – Cilindro mestre hidráulico com válvula central.....	21
Figura 7 – Freio a tambor.....	23
Figura 8 – Freio a tambor simplex.....	24
Figura 9 – Freio a tambor duplex.....	25
Figura 10 – Freio a tambor duo-servo.....	26
Figura 11 – Freio a disco.....	27
Figura 12 – Caliper fixo.....	27
Figura 13 – Caliper flutuante.....	28
Figura 14 – Caliper deslizante.....	28
Figura 15 – Discos de freio.....	29
Figura 16 – Pastilha de freio.....	30
Figura 17 – Sapatas de freios com lonas.....	31
Figura 18 – Coeficiente de atrito estático.....	32
Figura 19 – Circuito de freio com sistema ABS.....	33
Figura 20 – Sensor indutivo e roda fônica.....	34
Figura 21 – Unidade de comando do sistema ABS 2.0 da Bosch.....	35
Figura 22 – Unidade hidráulica do sistema ABS 2s da Bosch.....	36
Figura 23 – Distância de frenagem x tempo.....	40
Figura 24 – Equipamentos utilizados.....	44
Figura 25 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 60km/h.....	51
Figura 26 – Distância de frenagem, 4 pessoas, pista seca, a 60km/h.....	52
Figura 27 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	53
Figura 28 – Distância de frenagem, 4 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	54
Figura 29 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 80km/h.....	55
Figura 30 – Tendência de rotação do veículo.....	56
Figura 31 – Desgaste dos pneus.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente de atrito.....	30
Tabela 2 – Medições utilizando um acelerômetro.....	38
Tabela 3 – Medições utilizando câmeras de vídeo sincronizadas.....	39
Tabela 4 – Peso do veículo.....	47
Tabela 5 – Principais dimensões do veículo.....	47
Tabela 6 – Características do motor.....	48
Tabela 7 – Tipo de suspensão e direção.....	48
Tabela 8 – Sistema de freio.....	49
Tabela 9 – Especificações do pneu.....	49
Tabela 10 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 60km/h.....	50
Tabela 11 – Distância de frenagem, 4 pessoas, pista seca, a 60km/h.....	52
Tabela 12 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	53
Tabela 13 – Distância de frenagem, 4 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	54
Tabela 14 – Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 80km/h.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

P	Peso	[N]
F	Força	[N]
a	Aceleração	[m/s ²]
Δs	Deslocamento	[m]
V	Velocidade	[m/s]
d_M	Desaceleração média	[m/s ²]
F_{Ft}	Força máxima de frenagem	[N]
μ	Coefficiente de atrito	
λ	Coefficiente de deslizamento	
V_V	Velocidade do veículo	[m/s]
V_R	Velocidade da roda	[m/s]
V_f	Velocidade final	[m/s]
V_i	Velocidade inicial	[m/s]
l	Distância entre eixos	[m]
h	Altura do centro de gravidade	[m]
W_f	Carga atuante no eixo dianteiro	[N]
W_r	Carga atuante no eixo traseiro	[N]
A	Distância do centro de gravidade ao eixo dianteiro	[m]
B	Distância do centro de gravidade ao eixo traseiro	[m]

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos	14
1.1.2 <u>Objetivo Geral</u>	14
1.1.3 <u>Objetivos Específicos</u>	14
2. SISTEMAS DE FREIO.....	15
2.1 Sistema de freio hidráulico convencional	16
2.2 Classificação com Relação a Geometria do Rotor	23
2.2.1 <u>Freio a Tambor</u>	23
2.2.2 <u>Freio a Disco</u>	26
2.3 Classificação Quanto ao Material de Fricção	30
2.3.1 <u>Pastilhas de Freio</u>	30
2.3.2 <u>Lonas de Freio</u>	31
2.4 Força de Frenagem e Deslizamento das Rodas	31
2.5 Freio ABS	33
2.5.1 <u>Componentes do Sistema de Freio ABS</u>	34
2.5.2 <u>Tipos de ABS</u>	36
2.5.3 <u>Fases de Controle de Pressão</u>	37
2.6 Trabalhos relacionados	38
3. METODOLOGIA.....	41
3.1 Procedimento de desempenho	41
3.1.1 <u>Cálculo utilizando a norma</u>	42
3.1.2 <u>Cálculo utilizando Torricelli</u>	42
3.2 Procedimento experimental	43
3.2.1 <u>Pista seca 2 passageiros a 60km/h</u>	44
3.2.2 <u>Pista seca 4 passageiros a 60km/h</u>	45
3.2.3 <u>Pista molhada 2 passageiros a 60km/h</u>	45
3.2.4 <u>Pista molhada 4 passageiros a 60km/h</u>	46
3.2.5 <u>Pista seca 2 passageiros a 80km/h</u>	46
3.3 Dados do veículo	47
4. RESULTADOS.....	50
4.1 Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 60km/h	50

4.2 Distância de frenagem, 4 pessoas, pista seca, a 60km/h.....	51
4.3 Distância de frenagem, 2 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	53
4.4 Distância de frenagem, 4 pessoas, pista molhada, a 60km/h.....	54
4.5 Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 80km/h.....	55
4.6 Variação do coeficiente de atrito.....	57
4.7 Transferência de carga devido a variação de 2 para 4 pessoas.....	58
5. CONCLUSÃO.....	60
5.1 Sugestão para trabalhos futuros.....	61
REFERÊNCIAS.....	62

1. INTRODUÇÃO

A invenção da roda foi um importante marco na história da humanidade. Com ela foi possível reduzir significativamente o atrito entre um objeto e o solo, necessitando de uma força menor para movê-los e possibilitando o transporte de itens de interesse. A utilização da roda em veículos trouxe grandes vantagens, porém, tornou-se necessário controlar a velocidade, para evitar acidentes com o meio a sua volta. Em função disso, houve a necessidade do desenvolvimento dos sistemas de freio.

A principal função do sistema de freio é a transmissão do torque de frenagem às rodas, através da conversão da energia cinética em calor (BREUER, 2008). Os sistemas de freio aplicados em automóveis possuem requisitos básicos, que são: impedir a movimentação indesejada do veículo quando estiver estacionado, possibilitar o controle da velocidade e prever acelerações indesejadas durante percursos de descida.

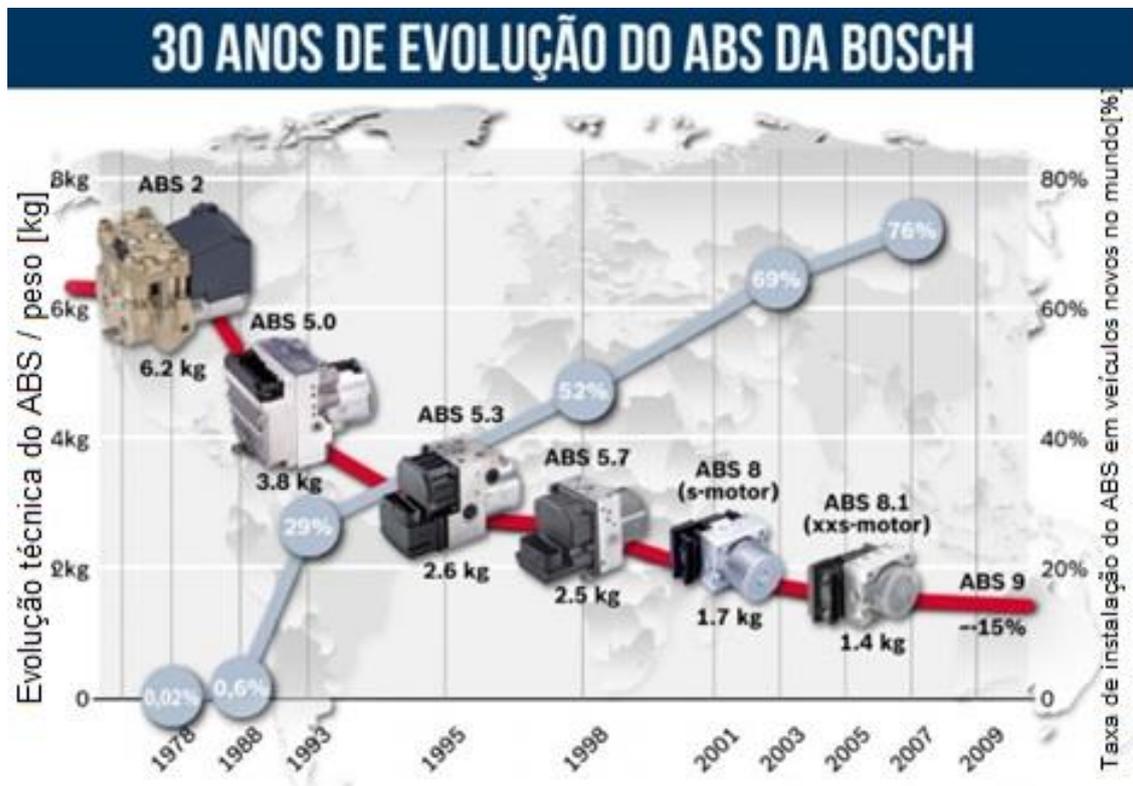
No entanto, os sistemas de freio convencionais apresentavam um grave problema com relação a capacidade de controle do automóvel durante a realização da frenagem. A capacidade de controlar o veículo, conhecida como dirigibilidade, é dependente da adesão entre o pneu e o solo. A perda da dirigibilidade ocorre quando há o travamento das rodas durante a frenagem (GARDINALLI, 2005).

Para solucionar esse problema, foi criado o *Antilock Brake System* (ABS), um sistema de segurança ativa que é implantado sobre o sistema de freio e tem como principal objetivo evitar o travamento das rodas. Dessa forma, ele possibilita ao condutor a realização de manobras durante uma frenagem e a parada do veículo em distâncias menores (PIETRO, 2014). Em uma situação de emergência, a principal reação do motorista, com espaço insuficiente para a frenagem, é tentar desviar do obstáculo para evitar a colisão. Contudo, isso só é possível se houver força lateral suficiente para que o comando seja obedecido pelas rodas dianteiras. Caso durante uma frenagem repentina ocorra o travamento das rodas, a aderência decai

rapidamente e reduz a capacidade de frenagem. Sob trajetória retilínea, ocorre o aumento na distância de frenagem, em trajetória curvilínea essa situação se agrava, pois o veículo tenderá sair tangencialmente à curva. Essas são situações em que a ação do sistema ABS é indispensável para evitar a ocorrência de um acidente (GARDINALLI, 2005).

Os modelos de ABS atuais surgiram a partir de sistemas desenvolvidos para trens no começo do século. O primeiro automóvel a utilizar o sistema de freio antibloqueio foi uma série limitada de Lincoln, através de um sistema adaptado de uma aeronave francesa por volta de 1960 (PIETRO, 2014). A empresa alemã Bosch lançou um sistema com o nome de *antiblockingsystem*, disponível no mercado a partir de 1978. Na Figura 1 é possível observar a evolução do ABS ao longo dos últimos 30 anos e o aumento acentuado no número de veículos com esse sistema no contexto mundial.

Figura 1. Evolução do sistema de ABS da empresa Robert Bosch.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2012).

Segundo estudo divulgado na revista CESVI, no ano de 2008, entre as 323 versões de veículos analisadas, apenas 90 ofereciam o sistema ABS de série, ou seja 27,8% do total. Três anos depois, em 2011, das 767 versões de veículos analisadas,

518 ofereciam o sistema de ABS de série, ou seja 67% (SEGURANÇA NA FRENAGEM..., 2012).

O presente trabalho proporcionará uma visão sobre os sistemas de freio aplicados na indústria automotiva e apresentará as vantagens da implementação do ABS nos veículos nacionais, visto que a Resolução nº 380, de 28 de abril de 2011, do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2011), que dispõe sobre a obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas, afirma que todos os veículos produzidos a partir de 1º de janeiro de 2014, veículos nacionais e importados, somente serão registrados e licenciados se dispuserem do ABS.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo Geral

Demonstrar a importância da implantação do ABS nos veículos nacionais que se tornou obrigatório a partir de 2014. Através da norma NBR 10966 – 2:2013 serão realizados ensaios para análise do desempenho do sistema de freio de um veículo rodoviário automotor.

1.1.3 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios utilizando o veículo Ford New Fiesta Hatch, motor 1,6 litros, ano 2012, para obter dados referentes a distância de frenagem e desaceleração;
- Comparar os dados dos testes obtidos com o sistema ABS ativo e com o sistema inativo com condições de via seca e molhada;
- Disponibilizar aos usuários informações que comprovem o benefício de ter ABS em seus veículos. A fim de justificar o investimento na hora de adquirir o automóvel.

2. SISTEMAS DE FREIO

Assim como todo o veículo necessita de um sistema de tração composto por motor e transmissão, também é necessário um sistema capaz de controlar a velocidade. Segundo a NBR 10.966, de março de 1990, o sistema de freio consiste em uma combinação de peças cuja função é reduzir progressivamente a velocidade do veículo em movimento, fazê-lo parar ou conservá-lo imóvel se estiver parado.

Os sistemas de freio podem ser definidos conforme seu funcionamento, por exemplo, o freio de serviço permite ao motorista, com atuação progressiva, reduzir a velocidade do veículo ou leva-lo à imobilidade. O freio de estacionamento possibilita por meios mecânicos ou eletromecânicos manter o veículo imóvel mesmo em pista inclinada e na ausência de motorista. O sistema de freio auxiliar permite ao motorista, em uma eventual pane, reduzir a velocidade do veículo ou torná-lo imóvel. Por último, o sistema de freio de atuação contínua permite ao motorista reduzir a velocidade do veículo ou em longos trechos de declive manter a velocidade quase constante (BOSCH, 2005).

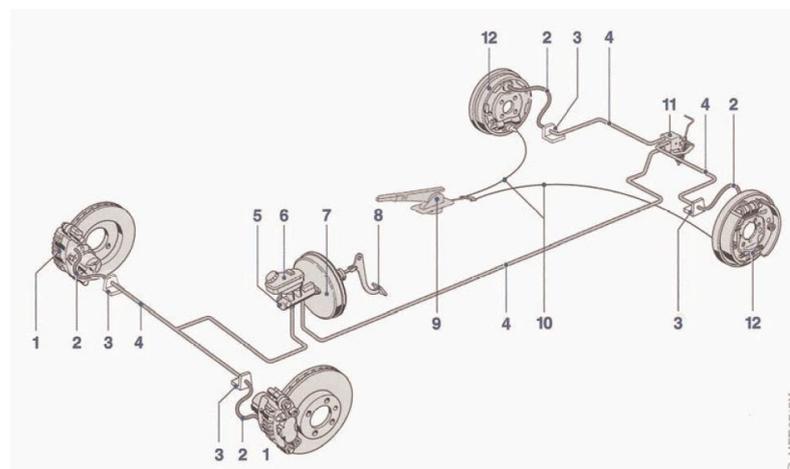
Durante a frenagem, a energia cinética do veículo é transformada em energia térmica e energia sonora, devido ao atrito gerado entre os componentes do sistema de freio. Os principais componentes são o rotor, componente girante acoplado a roda que recebe a maior parte da energia térmica no processo de frenagem, o material de fricção, componente estacionário que é pressionado contra o rotor, e o sistema de acionamento, que transmite e amplia a força aplicada no pedal de freio. (PIETRO, 2014).

2.1 SISTEMA DE FREIO HIDRÁULICO CONVENCIONAL

Nos sistemas de freio convencionais, a energia muscular do condutor é amplificada e transferida para os componentes de frenagem por meio puramente mecânico e hidráulico, assim, quando uma força é aplicada sobre o pedal de freio, outra força atuará na área do êmbolo do cilindro mestre gerando pressão no sistema. Pela Lei de Pascal, essa pressão será igual em todos os pontos no sistema. O cilindro mestre é ligado às pinças e sapatas através de tubulações que conduzirão o fluido de freio. Com isso a pressão gerada no cilindro mestre atuará sobre a área dos êmbolos gerando força e empurrando as pastilhas e sapatas contra os discos e tambores fazendo com que a rotação dos mesmos seja reduzida. Como as rodas são solidárias aos discos e tambores, suas rotações também serão reduzidas (PIETRO, 2014).

A Figura 2 mostra os principais componentes do sistema e freio hidráulico convencional.

Figura 2. Sistema de freio hidráulico convencional.



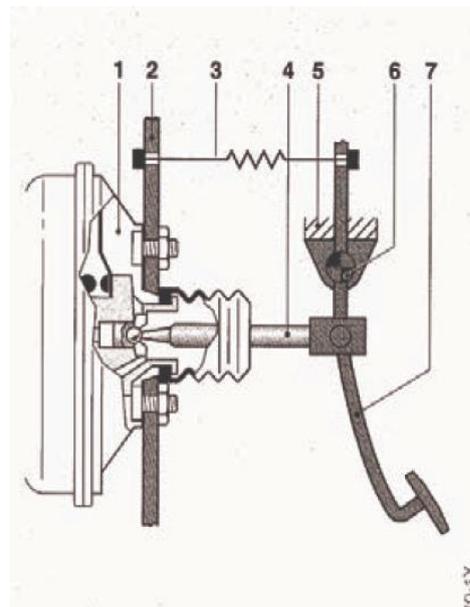
Fonte: Gardinalli (2005, p. 26).

Na Figura 2, (1) representa o freio a disco dianteiro; (2) o flexível de freio; (3) uma conexão hidráulica; (4) tubo; (5) o cilindro mestre; (6) o reservatório; (7) o servo-freio; (8) o pedal de acionamento; (9) alavanca de freio de estacionamento; (10) o cabo de acionamento do freio de estacionamento; (11) válvula proporcional sensível à carga e (12) o freio a tambor traseiro.

(a) Pedal de freio

O pedal de freio é uma alavanca do tipo inter-resistente, podendo ser suspensa como na Figura 3, ou modular. No momento da frenagem, o motorista aplica uma força no pedal de freio e a alavanca transmite a força para o servo-freio e o cilindro mestre, assim a força é convertida em pressão hidráulica. A intensidade da frenagem vai depender da força aplicada pelo condutor no pedal de freio, o desenho da alavanca é um dos fatores que influenciam na sensação que o motorista experimenta ao acionar o freio (GARDINALLI, 2005).

Figura 3. Conjunto do pedal de freio.

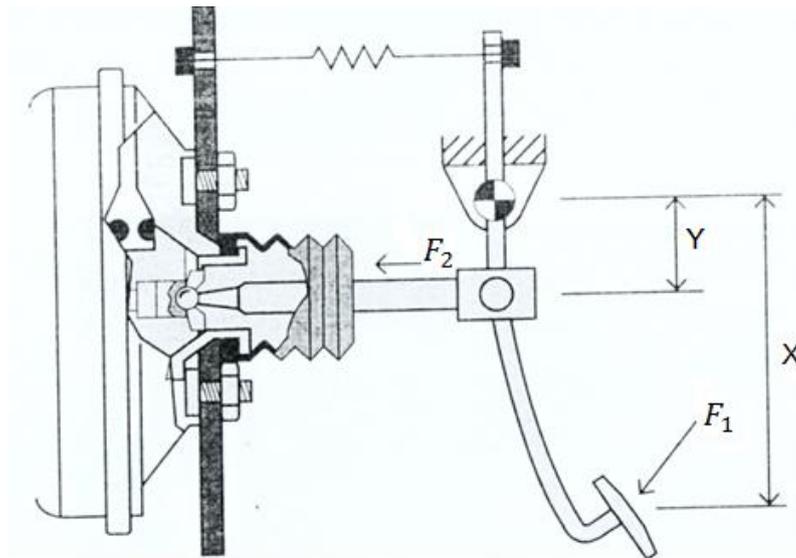


Fonte: Gardinalli (2005, p. 27).

Os componentes mostrados na Figura 3 são: (1) servo-freio; (2) parede de proteção; (3) mola de retorno; (4) haste de acionamento; (5) fixação; (6) pinos de articulação; (7) pedal de freio.

Na Figura 4 é possível observar o sistema de multiplicação de força gerado pela alavanca do pedal de freio.

Figura 4. Multiplicação de força pelo sistema de alavancamento do pedal.



Fonte: Pietro (2014, p. 84).

A força de entrada no servo freio é determinada pela seguinte equação:

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{X}{Y} \quad (1)$$

Onde:

- F_2 é a força na entrada do servo-freio;
- F_1 é a força aplicada no pedal de freio;
- X é a distância entre o centro do pedal e a linha de centro do eixo do pedal;
- Y é a distância entre a posição da haste de acionamento e a linha de centro do eixo do pedal.

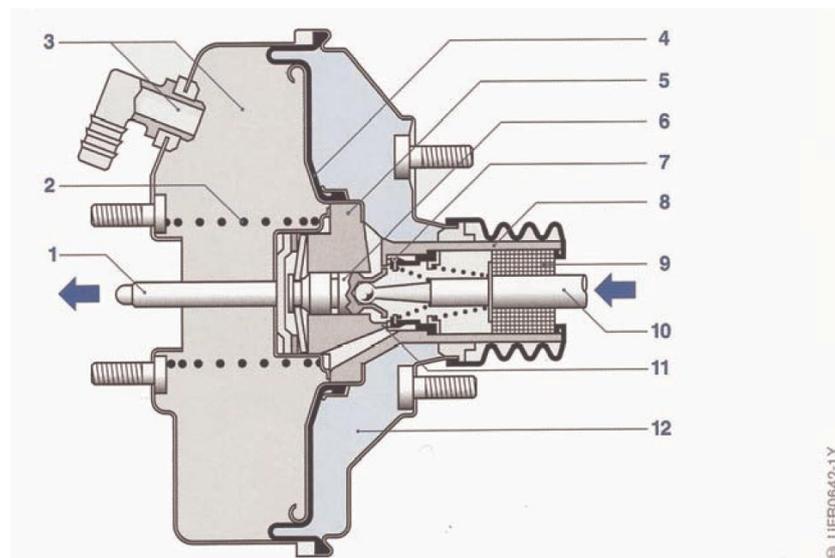
(b) Servo-freio

O servo-freio é um dispositivo que utiliza a diferença de pressão entre a pressão atmosférica e a pressão no coletor de admissão do motor para aumentar a força aplicada no pedal de freio. O aumento da força gerada pelo servo-freio é proporcional à força aplicada pelo motorista no pedal de freio (PIETRO, 2014).

No servo-freio a vácuo representado na Figura 5, uma membrana de borracha (4) está fixada a um disco metálico e separa as duas câmaras de vácuo (3) e de trabalho (12). Quando o pedal de freio não está pressionado, as duas câmaras estão conectadas através de condutos pelo interior do corpo da válvula (8). É estabelecido, dessa forma, vácuo em ambas as câmaras (GARDINALLI, 2005).

Ao iniciar o acionamento do pedal de freio, a haste de conexão (10) se move afastando o êmbolo do sensor (6), que abre a passagem do ar atmosférico via filtro (9) para a câmara de trabalho (12). Nesse instante, o movimento da haste de conexão (10) força o isolamento entre as duas câmaras, pela ação da válvula dupla (7) e seu assento (11), para impedir que o ar atmosférico atinja a câmara de vácuo, assim a diferença de pressão entre as duas câmaras gera uma força resultante sobre o disco (5) que atua sobre a haste do cilindro mestre (1), promovendo assim assistência ao condutor na atuação do freio. Quando o pedal de freio é liberado, a membrana retorna pela ação da mola (2) e as câmaras de vácuo (3) e de trabalho (12) são novamente conectadas, possibilitando que o dispositivo esteja apto para uma nova frenagem assistida (GARDINALLI, 2005).

Figura 5. Servo-freio a vácuo de câmara dupla.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 28).

(c) Válvula de retenção de vácuo

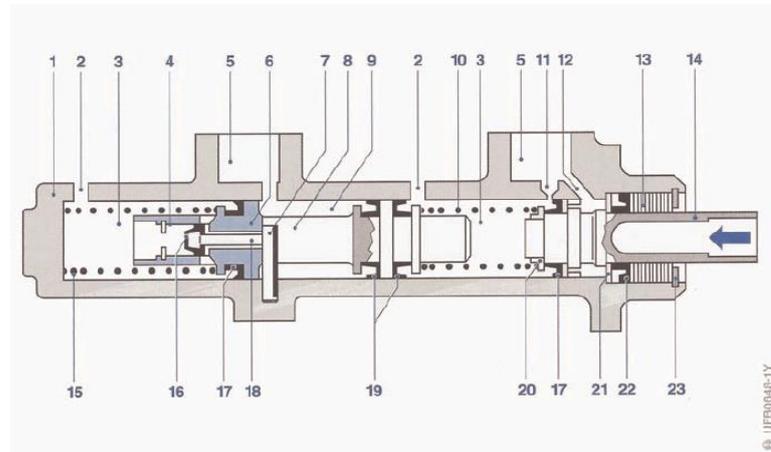
É instalada entre o coletor de admissão e o servo-freio. Enquanto o vácuo for produzido pelo motor ela permanece aberta. Quando o motor é desligado, a válvula de retenção de vácuo se fecha, de modo a manter a pressão negativa dentro do servo-freio, possibilitando assim, que o motorista ainda possua a assistência desse componente por alguns acionamentos do pedal de freio, mesmo com o motor desligado (PIETRO, 2014).

(d) Cilindro mestre

O cilindro mestre é responsável pela conversão da força aplicada pelo motorista no pedal de freio, já amplificada pelo servo-freio, em pressão hidráulica no fluido para acionamento dos freios das rodas. Na Figura 6 é possível observar o desenho de um cilindro mestre frequentemente adotado para veículos equipados com ABS, o qual requer a presença de uma válvula central (16). Na ausência desta válvula ocorreriam danos ao corpo principal (17) durante as reduções de pressão promovidas pelo módulo hidráulico (GARDINALLI, 2005).

No momento em que o pedal de freio é acionado, o movimento é transmitido para o êmbolo primário (14) através da haste do cilindro mestre, via servo-freio. Quando o êmbolo primário ultrapassa o furo de compensação (11) começa a gerar pressão no fluido, que irá movimentar o êmbolo intermediário (8) e o secundário (6). Como consequência deste movimento, o pino (18) se afasta do batente (7) e o selo (16) impede o retorno do fluido. A geração de pressão também é iniciada na câmara secundária, assim os freios dos circuitos primários e secundários são acionados pelo deslocamento de fluido gerados nas respectivas câmaras. Uma vez que o pedal de freio é desaplicado, ocorre o retorno do fluido para o reservatório via câmara intermediário (9) e furo de retorno (12), por ação das molas (10) e (15) (GARDINALLI, 2005).

Figura 6. Cilindro mestre hidráulico com válvula central.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 30).

A Figura 6, (1) representa o corpo do cilindro mestre; (2) saída para o circuito secundário de freio; (3) câmara secundária; (4) mola da válvula central; (5) conexão com o reservatório de fluido; (6) êmbolo flutuante; (7) batente da válvula central; (8) êmbolo intermediário; (9) câmara intermediária; (10) mola da câmara primária; (11) furo de compensação; (12) furo de retorno; (13) bucha; (14) êmbolo primário; (15) mola da câmara secundária; (16) selo da válvula central; (17) copo principal; (18) pino da válvula central; (19) copos de isolamento; (20) anel suporte; (21) disco de encosto; (22) copo secundário; e (23) o anel elástico.

(e) Reservatório de fluido de freio

Este reservatório é instalado sobre o cilindro mestre e faz o abastecimento dele através de duas ligações. Um certo volume de fluido de freio deve ser armazenado, de modo que o nível esteja sempre entre as marcações de máximo e mínimo, pois o reservatório compensa as oscilações de volume de fluido que ocorrem no sistema durante acionamentos, diferenças de temperaturas, e intervenções do sistema de ABS. Esse reservatório possui, normalmente, uma divisão interna, de modo a isolar a alimentação do circuito primário da alimentação do circuito secundário, evitando que, em caso de vazamento externo de um dos circuitos, ocorra a falta de fluido de freio para o circuito que encontra-se intacto (PIETRO, 2014).

(f) Fluido de freio

O item 3.1 da norma ABNT NBR 9.292 de 2011, estabelece requisitos e métodos de análise dos líquidos do tipo não mineral e não siliconados para freios hidráulicos do tipo 3, 4 e 5, destinados ao uso em condições de operação não inferiores a -40°C e define fluido de freio como um líquido destinado a transmitir pressões em circuitos hidráulicos de freio e embreagem automotiva.

Como requisitos gerais, o fluido de freio:

- Deve apresentar aspecto homogêneo e límpido, além de não conter sedimentos ou materiais estranhos em suspensão;
- Não pode conter óleo mineral nem outro material que prejudique o funcionamento do freio hidráulico ou da embreagem;
- Pode sofrer a adição de corantes desde que suas propriedades não sejam alteradas.

(g) Tubulações e circuito de freio

São necessários para promover a condução do fluido de freio do cilindro mestre até os freios das rodas, podendo ser confeccionada de tubos rígidos ou flexíveis (PIETRO, 2014).

Os tubos rígidos são, normalmente, instalados na parte inferior do veículo indo do cilindro mestre até próximo dos freios das rodas, interligando os componentes que não possuem movimento relativo entre si. São fabricados de aço, geralmente com diâmetro externo de 4,5 mm e diâmetro interno de 2,5 mm, podem ser revestidos externamente com plástico e ambas as extremidades possuem conexão por rosca (PIETRO, 2014).

Os flexíveis fazem a ligação entre os tubos rígidos e os freios das rodas, ligando assim um componente fixo da carroceria a um componente móvel. É constituído por uma mangueira de borracha revestida com duas camadas de raiom para dar reforço e suportar a pressão de trabalho (PIETRO, 2014).

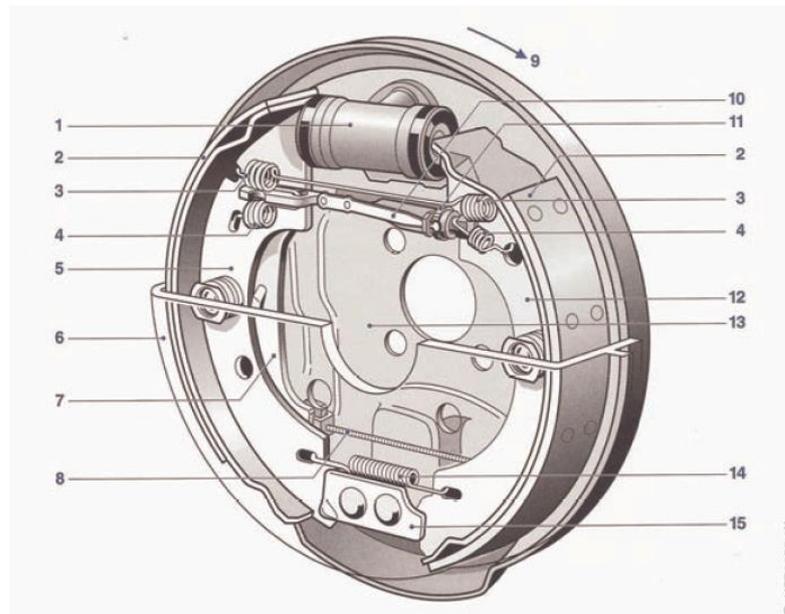
2.2 CLASSIFICAÇÃO COM RELAÇÃO A GEOMETRIA DO ROTOR

2.2.1 Freio a tambor

Os freios a tambor são utilizados nos veículos nacionais, principalmente nas rodas traseiras, devido principalmente a seu baixo custo quando comparamos com o freio a disco (GARDINALLI, 2005).

Na Figura 7 é mostrado um exemplo de feio a tambor, onde (1) é o cilindro de roda; (2) a sapata e lona ; (3) a mola de retorno da sapata; (4) a mola de retorno do auto ajuste; (5) o patim de freio; (6) o tambor de freio; (7) a alavanca do freio de estacionamento; (8) o cabo do freio de estacionamento; (9) é o sentido de rotação do tambor; (10) a lâmina bi metálica do auto ajuste; (11) a porca do auto ajuste; (12) o patim de freio; (13) prato e (14) a mola de retorno; e (15) o pino de articulação.

Figura 7. Freio a Tambor.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 31).

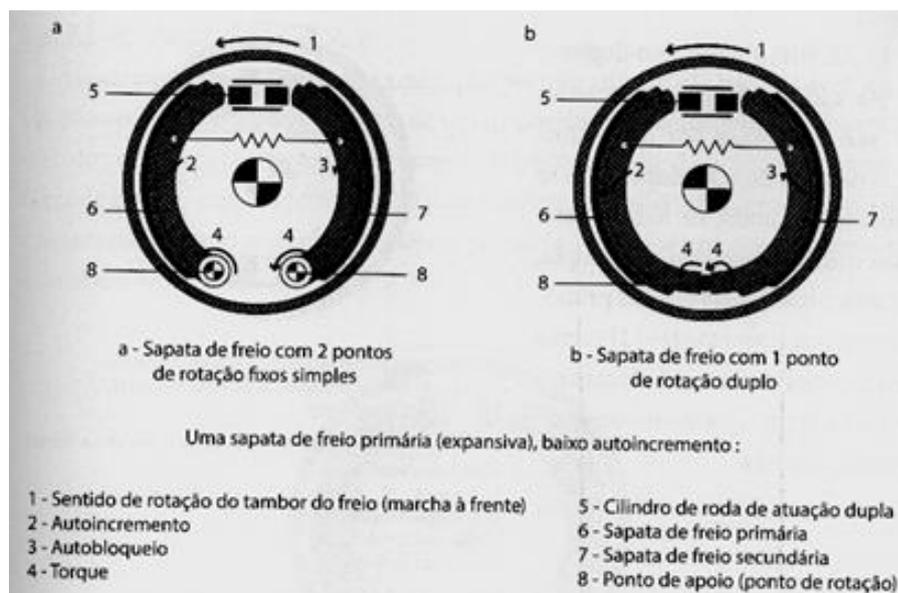
Quando o pedal de freio é acionado, a pressão gerada pelo cilindro mestre atua na área dos êmbolos do cilindro de roda (1) gerando uma força. Ao avançarem, os êmbolos afastam os patins (5 e 12), que giram em torno dos pinos de articulação (15), o que provoca a compressão das sapatas e lonas (2) contra a superfície interna do tambor de freio (6). Com o contato das lonas no tambor ocorre a geração do torque de frenagem utilizado para reduzir a velocidade do veículo (PIETRO, 2014).

Quando o pedal de freio é solto, deixa de existir pressão hidráulica no sistema e as sapatas (2) retornam a posição de repouso por intermédio da mola de retorno da sapata (3) e pela mola de retorno (14). Quando a alavanca ou pedal de freio de estacionamento é acionado, o cabo do freio puxa a alavanca do freio de estacionamento (7) que pressiona as sapatas contra a superfície interna do tambor (PIETRO, 2014).

(a) Freio a tambor simplex

Para ocorrer o acionamento das sapatas de freio (6 e 7), como visto na Figura 8, é utilizado um cilindro de roda de ação dupla (5). Os pontos de apoio (8) das sapatas são pontos de rotação, podendo ser dois pontos de rotação simples ou um duplo. Quando o veículo se desloca para frente, o auto incremento (2) atua na sapata primária (6) enquanto o auto bloqueio (3) atua na sapata secundária (7). Esse comportamento se repete quando o veículo se desloca para trás. Com isso, a sapata primária aplica força no sentido de rotação do tambor e a sapata secundária aplica força no sentido contrário a rotação do tambor (PIETRO, 2014).

Figura 8. Freio a tambor simplex.



Fonte: Pietro (2014, p. 131).

(b) Freio a tambor duplex

Nesse sistema, conforme a Figura 9, cada uma das sapatas de freio flutuante (6) é acionada por um cilindro de roda de ação simples (4) e se apoiam na parte traseira do cilindro de roda oposto. Essa configuração possui ação simples, ou seja, com o deslocamento do veículo para frente, o sistema possui duas sapatas primárias autoincrementantes (2), mas quando se desloca para trás não existe o auto incremento. Assim, devido a essa configuração, as duas sapatas aplicam força no sentido de giro do tambor, contudo, se o sentido de rotação da roda for invertido, as forças aplicadas pelas sapatas ficam contrárias ao sentido de giro do tambor (PIETRO, 2014).

Figura 9. Freio a tambor duplex.



Fonte: Pietro (2014, p. 131).

(c) Freio a tambor duo-servo

Nessa configuração, conforme a Figura 10, as sapatas de freio (5 e 6) são acionadas por um cilindro de roda de ação dupla (4) e se apoiam em ambos os lados de um dispositivo de regulação (7). Quando ocorre o deslocamento do veículo tanto para frente quanto para trás, esse dispositivo transmite força de apoio da sapata primária (6) para a sapata secundária (5), produzindo nela um auto incremento. Neste

caso, a sapata aplica força no sentido de rotação do tambor, independente do sentido de giro das rodas (PIETRO, 2014).

Figura 10. Freio a tambor duo-servo.



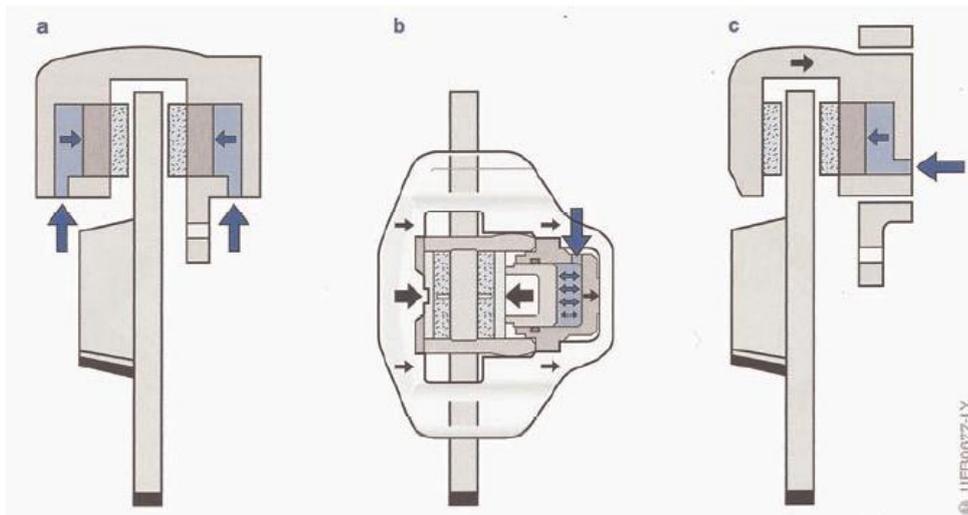
Fonte: Pietro (2014, p. 133).

2.2.2 Freio a disco

O freio a disco passou a ser utilizado em automóveis a partir de 1960 e apresenta maior eficiência e linearidade que o freio a tambor, podendo ser utilizado tanto no eixo dianteiro como no eixo traseiro. Contudo, principalmente por questões de custo, no Brasil é utilizado com maior frequência no eixo dianteiro. É composto basicamente pelo disco de freio, que gira solidário as rodas, pela pinça de freio ou caliper, que sustenta as pastilhas e por anéis de vedação hidráulica e guarda-pós de proteção (GARDINALLI, 2005).

Na Figura 11 é possível observar os tipos construtivos mais comuns de freio a disco, (a) mostra um caliper fixo, (b) um caliper flutuante e (c) um caliper do tipo deslizante.

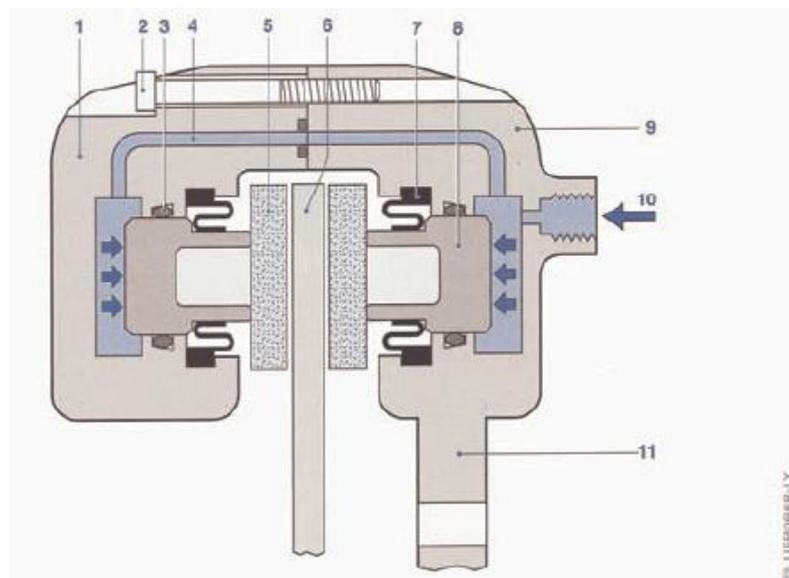
Figura 11. Freio a disco.



Fonte: Gardinalli (2005, p.34).

O sistema com caliper fixo, conforme apresentado na Figura 12, apresenta como principal vantagem a robustez, tornando-o mais indicado para aplicações em veículos esportivos ou pesados (GARDINALLI, 2005).

Figura 12. Caliper fixo.



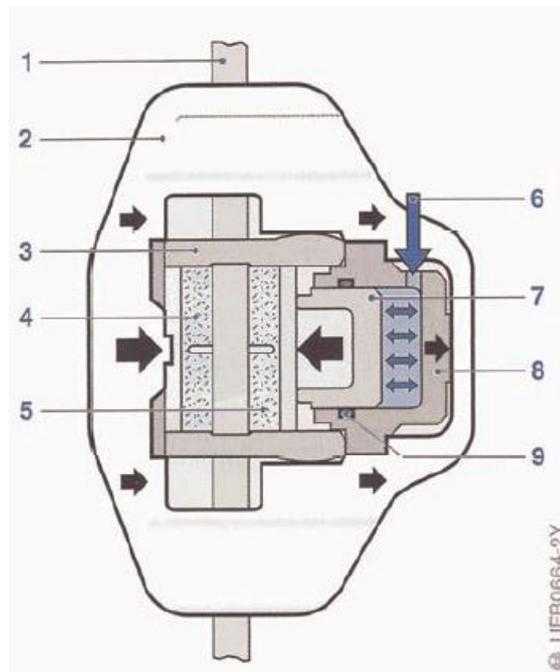
Fonte: Gardinalli (2005, p. 34).

O caliper fixo é composto pelos seguintes componentes: (1) a capa; (2) o parafuso de junção; (3) o anel de vedação; (4) o canal de fluido; (5) a pastilha de freio; (6) o disco de freio; (7) o guarda-pó de borracha; (8) o êmbolo; (9) o corpo flangeado; (10) o orifício de entrada de fluido; e (11) flange.

O freio a disco com caliper flutuante tem seu funcionamento de forma similar, porém mais simples, por apresentar apenas um êmbolo, conforme visto na Figura 13.

Em que em (1) é o disco de freio; (2) o caliper; (3) o suporte; (4) a pastilha de freio externa; (5) a pastilha de freio interna; (6) o orifício de entrada de fluido; (7) o êmbolo; (8) o cilindro; e (9) o anel de vedação (GARDINALLI, 2005).

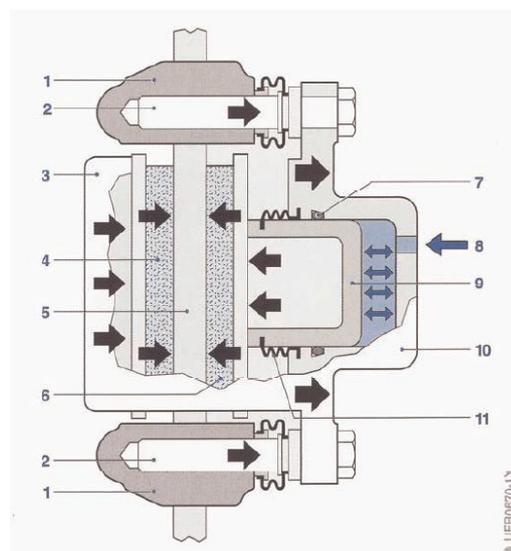
Figura 13. Caliper flutuante.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 35).

O caliper do tipo deslizante é comumente encontrado em veículos de passeio produzidos no Brasil. Esse caliper funciona de maneira similar ao flutuante, contudo, ele desliza sobre pinos guia ao invés de mover-se sobre as guias do suporte. Conforme mostra a Figura 14 (GARDINALLI, 2005).

Figura 14. Caliper deslizante.



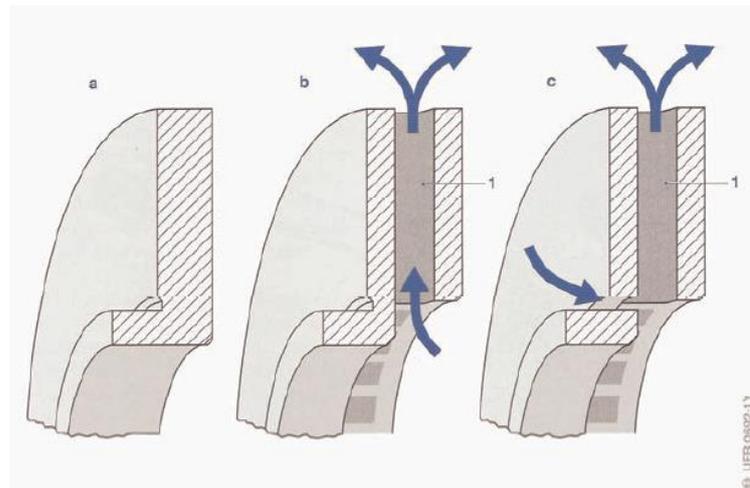
Fonte: Gardinalli (2005, p. 36).

Na Figura 14, (1) é o suporte do caliper deslizante; (2) o pino-guia; (3) o corpo do caliper; (4) pastilha de freio externa; (5) disco de freio; (6) pastilha de freio interna; (7) anel de vedação; (8) orifício de entrada de fluido; (9) êmbolo; (10) corpo do êmbolo; e (11) o guarda-pó de borracha.

(a) Tipos de disco

Os discos de freio são comumente fabricados em ferro ou aço fundido e podem ser do tipo sólido, ventilado ou ranhurado. Os freio a disco apresentam maior força de contato entre o disco e pastilha quando comparamos o contato entre lona e tambor no sistema de freio a tambor. Devido à alta geração de calor, a capacidade de dissipação convectiva do disco é fundamental para um bom desempenho. Os discos do tipo sólido, Figura 15 (a) são mais baratos e dissipam menos calor, assim são aplicados normalmente em veículos pequenos com baixa potência. Enquanto os discos ventilados (b, c) apresentam maior capacidade de dissipação de calor por possuírem aletas internas aumentando a área de troca convectiva, sendo comumente utilizados em veículos com maior peso bruto e maior potência (BOSCH, 2003).

Figura 15. Discos de freio.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 38).

2.3 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO MATERIAL DE FRICÇÃO

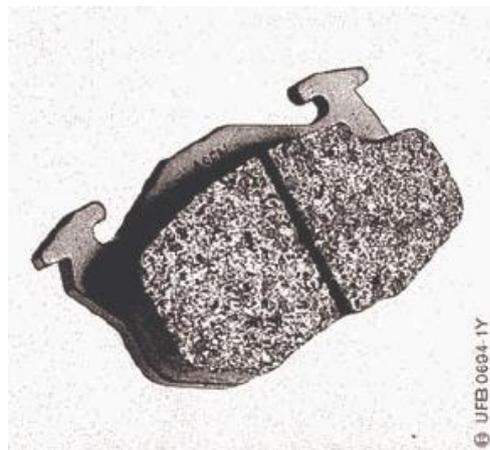
2.3.1 Pastilhas de freio

Utilizada na configuração de freio a disco, é constituída por uma placa metálica revestida em uma de suas faces pelo material de atrito, que entra em contato com o disco de freio quando o sistema é acionado (PIETRO, 2014).

Em geral, a composição do material de atrito baseia-se em partículas de limalha, cobre em pó, óxido de alumínio, resinas, grafite, antimônio, além de aglutinantes e redutores de ruído (GARDINALLI, 2005).

Na Figura 16 é possível verificar um exemplo de pastilha de freio.

Figura 16. Pastilha de freio.



Fonte: Gardinalli (2005, p. 38).

Normas internacionais estabelecem seis níveis de coeficiente de fricção, que variam de 0,15 a 0,55 conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de atrito.

Código	Acima de	Até
C		0,15
D	0,15	0,25
E	0,25	0,35
F	0,35	0,45
G	0,45	0,55
H	0,55	

Fonte: Pietro (2014, p. 137).

2.3.2 Lonas de freio

As lonas, materiais de atrito que revestem as sapatas dos sistemas de freio a tambor, possuem seu coeficiente de atrito calculado levando em conta a relação da área de atrito entre elas, o tambor, o peso, a potência e a finalidade de aplicação do veículo. E possuem composição similar as pastilhas de freio (PIETRO, 2014).

Na Figura 17 é possível observar um exemplo de sapata de freio com lona.

Figura 17. Sapatas de freios com lonas.



Fonte: Pietro (2014, p. 124).

2.4 FORÇA DE FRENAGEM E DESLIZAMENTO DAS RODAS

Quando as rodas de um veículo estão livres para rotacionar, torna-se fácil move-lo para frente e para trás, contudo, quando as rodas estão bloqueadas, a dificuldade para movimentar para frente e para trás ou para os lados é a mesma. A força de frenagem deve ser tal que não permita o bloqueio das rodas, caso isso ocorra, o veículo poderá perder a dirigibilidade e/ou a estabilidade (PIETRO, 2014).

A força máxima de frenagem para que a roda não seja bloqueada é dada por:

$$F_{Ft} = P \cdot \mu \quad (2)$$

Onde: P é o peso do veículo e μ é o coeficiente de atrito.

Se analisarmos um caso com o coeficiente de atrito constante, quanto maior for o peso sobre determinada roda, maior será a força de frenagem sobre a roda sem que ela seja bloqueada. Se o peso sobre a roda for reduzido, a força de frenagem também deverá ser reduzida para que não ocorra o bloqueio das rodas, ou seja, o torque de frenagem, gerado pelo sistema de freio, dividido pelo raio dinâmico do pneu, não deve superar a força máxima de frenagem (PIETRO, 2014).

Para que o bloqueio das rodas seja evitado e conseguir melhor aderência entre o pneu e o solo no decorrer da frenagem, garantindo menor distância de parada e dirigibilidade, o sistema antibloqueio (ABS) controla a pressão hidráulica do sistema de freio em cada uma das rodas, a fim de manter o coeficiente de deslizamento ou escorregamento (λ) entre 8% e 35% (PIETRO, 2014).

O coeficiente de deslizamento (λ) representa quanto um pneu percorreu a mais que seu perímetro no decorrer de uma volta, sendo definido como:

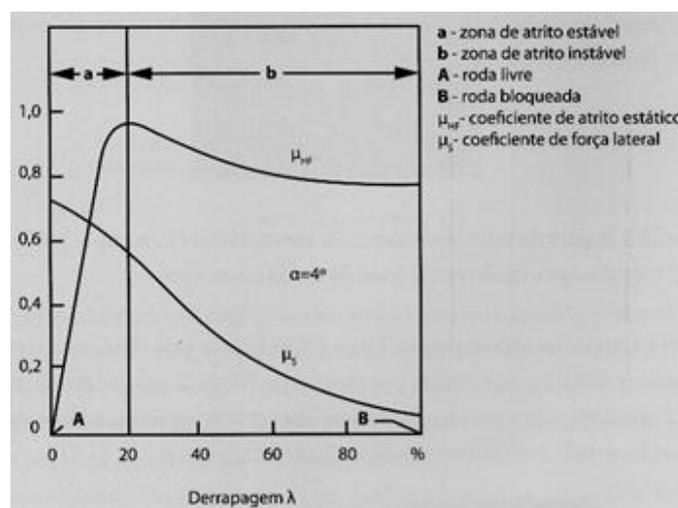
$$\lambda\% = \frac{V_V - V_R}{V_V} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: V_V é a velocidade do veículo e V_R é a velocidade da roda.

Quando o pedal de freio é acionado, inicia-se a força de frenagem, com isso, a velocidade tangencial da roda começa a diminuir, fazendo com que a velocidade do veículo também diminua. Uma vez que a velocidade tangencial da roda seja menor que a velocidade do veículo, a roda ficará deslizando, o que é tolerável, desde que fique entre 8% e 35% (PIETRO, 2014).

A Figura 18 mostra a variação do coeficiente de atrito em função do coeficiente de escorregamento (λ).

Figura 18. Coeficiente de atrito estático.



Fonte: Pietro (2014, p. 62).

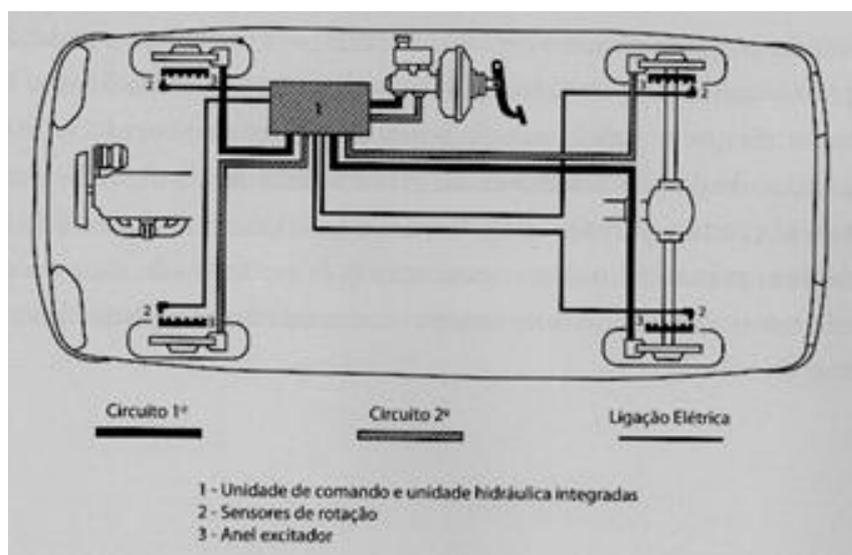
2.5 FREIO ABS

Em uma situação de emergência, é natural que a reação do motorista seja pressionar o pedal de freio com grande intensidade, para evitar uma possível colisão. Se o veículo trafega sobre pavimento seco ou molhado, o efeito da aplicação violenta do freio resulta, na maioria dos casos, no bloqueio das rodas. Na medida que o escorregamento aumenta, a capacidade de aderência lateral cai rapidamente conforme o ângulo de deriva, tornando o veículo inerte aos comandos do motorista. De forma análoga, a aderência longitudinal, responsável pela distância necessária para parar o veículo, é significativamente reduzida (GARDINALLI, 2005).

Para que esse fenômeno seja evitado, é necessário controlar a pressão hidráulica do freio, de modo que o pneu opere dentro de uma faixa de escorregamento ideal, permitindo o veículo parar na menor distância possível e mantendo a dirigibilidade. Essa é justamente a função do sistema de ABS (PIETRO, 2014).

Na Figura 19 é possível observar um sistema de ABS implantado sobre um sistema de freio convencional, onde o ABS só entrará em funcionamento se uma das rodas tender ao travamento.

Figura 19. Circuito de freio com sistema ABS.



Fonte: Pietro (2014, p. 173).

2.5.1 Componentes do sistema de freio ABS

O sistema de freio ABS é composto pelos seguintes componentes: sensores de velocidade, unidade hidráulica e unidade de comando ou módulo de controle eletrônico.

(a) Sensores de velocidade

Estão localizados nas rodas dianteiras e traseiras e fornecem à unidade de comando um sinal elétrico cuja frequência é diretamente proporcional ao número de rotação das rodas, ou seja, quanto maior for a rotação da roda, maior será a frequência do sinal (PIETRO, 2014).

Esse sensor opera em conjunto com um anel excitador, roda fônica, solidário à roda, que pode ser do tipo indutivo como apresentado na Figura 20.

Figura 20. Sensor indutivo e roda fônica.



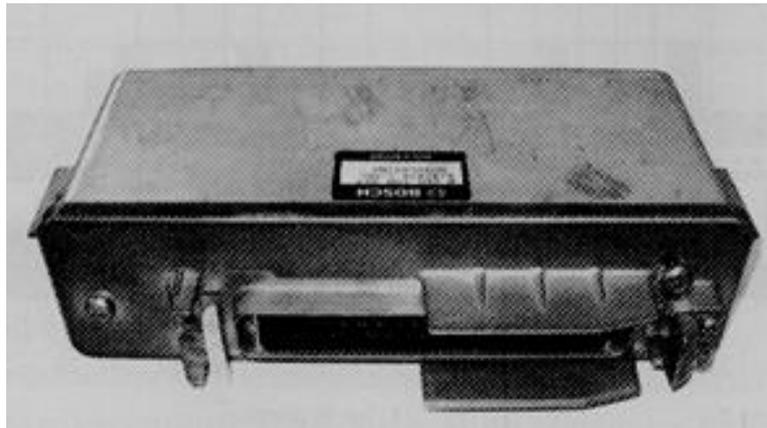
Fonte: Pietro (2014, p. 178).

O tipo indutivo é composto por um ímã envolto por uma bobina. Conforme a rotação do anel excitador, as linhas do campo magnético do ímã sofrem alterações, o que causa a indução de tensão elétrica na bobina. Essa tensão possui amplitude e frequência diretamente proporcional à rotação das rodas (PIETRO, 2014).

(b) Unidade de comando

Essa unidade recebe os sinais elétricos de rotação das rodas e calcula a velocidade de cada uma das rodas. Caso o escorregamento em uma das rodas esteja acima do ideal, a unidade de comando fará uso da unidade hidráulica para controlar a pressão do fluido de freio nessa roda, mantendo-a dentro da faixa de escorregamento ideal para melhor aderência entre e contato pneu/solo (PIETRO, 2014). Na Figura 21 é possível observar um exemplo de unidade de comando.

Figura 21. Unidade de comando do sistema ABS 2.0 da Bosch.



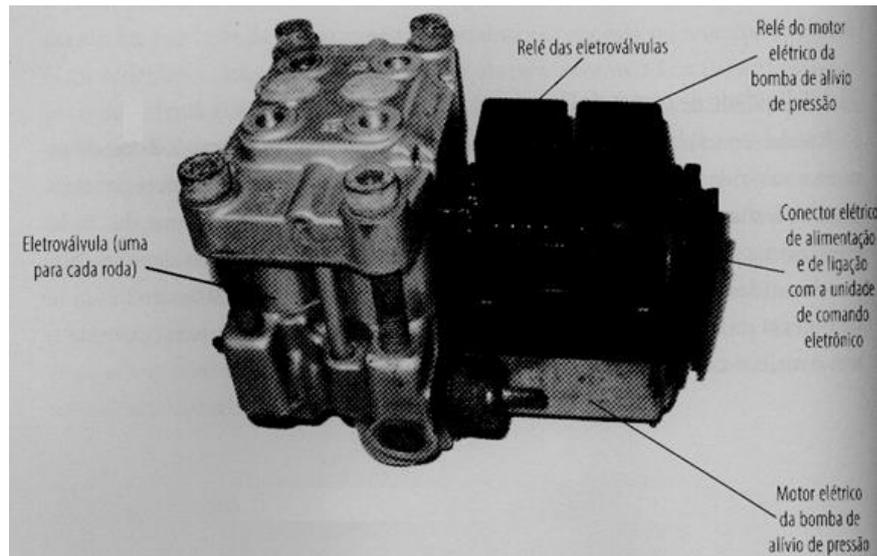
Fonte: Pietro (2014, p. 176).

(c) Unidade hidráulica

Essa unidade é composta por um conjunto de eletroválvulas, acumuladores e eletrobomba. Possui a função de controlar a pressão do fluido de freio em cada roda de acordo com os sinais enviados pela unidade de comando (PIETRO, 2014).

Na Figura 22 é possível observar um exemplo de unidade hidráulica.

Figura 22. Unidade hidráulica do sistema ABS 2s da Bosch.



Fonte: Pietro (2014, p. 176).

2.5.2 Tipos de ABS

O sistema de ABS pode ser classificado em diferentes tipos, dependendo da quantidade de válvulas, canais e sensores de velocidade utilizados:

- Quatro canais e quatro sensores: este é o melhor sistema, em que cada uma das rodas possui o seu próprio sensor de velocidade e a sua válvula de controle de frenagem independente, fazendo com que a eficiência do sistema seja maximizada (GUIMARÃES, 2011);
- Três canais e três sensores: este sistema é encontrado, normalmente, em pick-ups. As rodas dianteiras possuem sensores e válvulas independentes, porém as rodas traseiras possuem um único sensor de velocidade e uma única válvula de controle de frenagem, localizados no eixo traseiro (GUIMARÃES, 2011);
- Três sensores e dois canais: apresenta uma configuração com dois sensores de rotação no eixo dianteiro e uma eletroválvula para controle de pressão, um sensor de rotação no diferencial do eixo traseiro e uma eletroválvula para as rodas traseiras (PIETRO, 2014);

- Um canal e um sensor: esta configuração é normalmente encontrada e pick-ups com freio ABS nas rodas traseiras. Essas rodas possuem um único sensor de velocidade e uma única válvula de controle de frenagem, localizados no eixo traseiro (GUIMARÃES, 2011).

2.5.3 Fases de controle de pressão

O sistema de ABS atua de três formas distintas para o controle de pressão do fluido de freio em cada roda do veículo, conforme pode ser analisado a seguir:

- Fase de aumento de pressão: nesta fase a pressão do fluido de freio, gerada no cilindro mestre quando o freio é acionado, atua na pinça ou sapata de freio. Deste modo, a rotação da roda é reduzida assim como a velocidade veículo;
- Fase de manutenção de pressão: a unidade de comando monitora os sinais elétricos enviados pelos sensores de rotação a todo o instante. O escorregamento das rodas (λ) deve se manter dentro de um intervalo ideal (8% a 35%). Se houver a tendência do intervalo ideal ser extrapolado, roda tendendo ao travamento, a unidade de comando faz com que a pressão do fluido de freio atuante nas pinças ou sapatas seja constante, independente da força aplicada pelo motorista no pedal de freio;
- Fase de redução de pressão: se a velocidade da roda aumentar após a fase de redução de pressão, a unidade de comando permite a fase de aumento de pressão. Se a roda tender ao travamento, a unidade de comando de pressão promove o alívio da pressão atuante nas pinças ou lonas, isolando-as do cilindro mestre através da eletroválvula de descarga. Assim, a velocidade da roda aumenta e a aderência entre pneu e solo fica dentro de valores aceitáveis (PIETRO, 2014).

2.6 TRABALHOS RELACIONADOS

Os autores Ján Ondrus e Peter Hockicko realizaram ensaios para determinar a desaceleração de um veículo em frenagem através de dois métodos, utilizando um acelerômetro, *Decelograph – Inventure XL Meter™ Pro*, e também um sistema de vídeo sincronizado, câmera digital Casio Exilim EX-FH25. O veículo analisado foi o Mazda 3 MPS 2,3 litros ano modelo 2011, com massa total de 1385kg.

O acelerômetro analisa as variações de tensão geradas no dispositivo mediante a desaceleração e realiza o cálculo de aceleração de acordo com o método apresentado pela norma ABNT NBR 10966-2. O ensaio foi realizado em pista pavimentada e seca e os resultados podem ser observados na Tabela 2:

Tabela 2. Medições utilizando um acelerômetro.

Medições	Resultados				
	V [km.h ⁻¹]	v [m.s ⁻¹]	s [m]	d [m.s ⁻²]	t [s]
7	96.80	26.89	50.10	7.93	3.53
6	84.96	23.60	39.29	8.03	3.13
5	79.51	22.09	33.07	7.89	2.91
4	59.01	16.39	18.43	7.92	2.13
3	56.41	15.67	16.75	8.22	2.02
2	41.66	11.57	9.35	7.71	1.56
1	20.89	5.80	2.52	8.08	0.84

Fonte: Adaptado de Ondrus (2015, p. 8).

Onde:

- V é a velocidade inicial do veículo em km/h;
- v é a velocidade inicial do veículo em m/s;
- s é a distância de frenagem;
- d é a desaceleração;
- t é o tempo de frenagem.

O método de vídeo utiliza câmeras sincronizadas, estrategicamente posicionadas e através de um programa computacional de análise determina os parâmetros necessários para o cálculo da desaceleração, conforme proposto pela norma ABNT NBR 10966-2. Também determina o tempo e a distância percorrida pelo veículo durante a frenagem. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Medições utilizando câmeras de vídeo sincronizadas.

Medições	Resultados				
	V [km.h ⁻¹]	v [m.s ⁻¹]	s [m]	d [m.s ⁻²]	t [s]
7	83.88	23.30	40.40	7.88	3.53
6	78.12	21.70	34.40	8.02	3.07
5	73.80	20.50	30.40	7.80	2.87
4	58.68	16.30	18.10	7.56	2.16
3	55.80	15.50	15.01	7.73	2.01
2	39.78	11.05	8.39	7.37	1.53
1	18.11	5.03	2.56	7.36	0.86

Fonte: Adaptado de Ondrus (2015, p. 8).

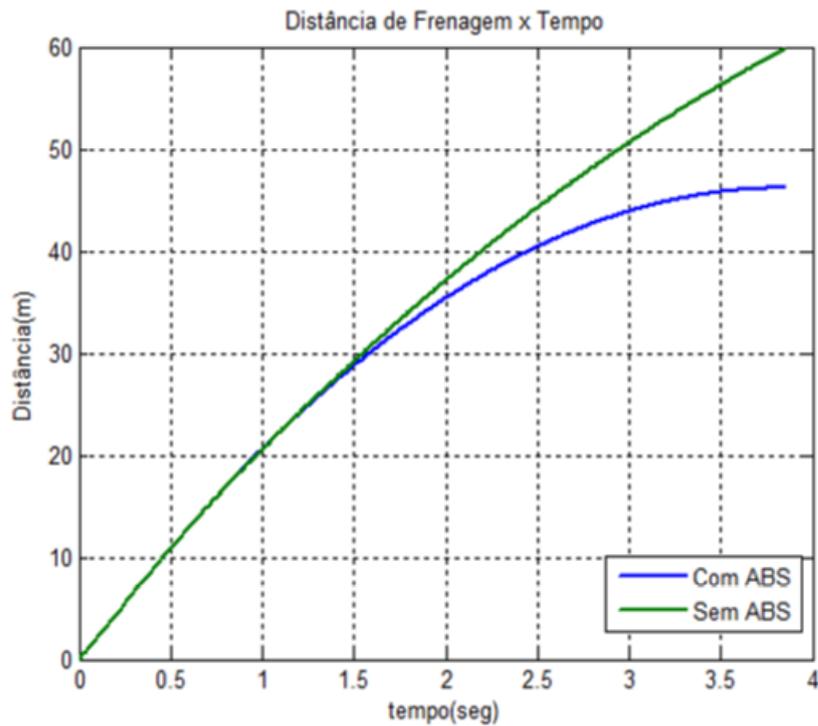
Onde:

- V é a velocidade inicial do veículo em km/h;
- v é a velocidade inicial do veículo em m/s;
- s é a distância de frenagem;
- d é a desaceleração;
- t é o tempo de frenagem.

O autor Hugo Ferreira Moore realizou uma simulação numérica para obter o tempo e a distância de frenagem de um veículo com o sistema de ABS ativo e inativo. O veículo utilizado como parâmetro foi o Gol geração VI com motor de 1.6 litros, possuindo uma massa total de 1219kg. Foram utilizados como parâmetro de testes uma configuração com pista pavimentada e seca, com o veículo a uma velocidade inicial de 80km/h e um coeficiente de deslizamento da roda de 0,1.

Na Figura 23 é possível observar os resultados obtidos referente a tempo e distância de frenagem.

Figura 23. Distância de frenagem x tempo.



Fonte: Moore (2014, p. 68).

A partir da simulação foi possível evidenciar que a distância de frenagem sem ABS apresentou um valor de 59,76 metros, porém com o uso do ABS essa distância foi reduzida para 46,18 metros. O tempo de frenagem foi de 3,8 segundos.

3. METODOLOGIA

Durante uma situação de emergência, a reação natural do motorista é pressionar o pedal de freio com a maior intensidade possível. A pressão gerada no fluido de freio então é transmitida até os freios das rodas ocasionando, na maioria dos casos, o travamento das rodas, provocando perda de aderência e um aumento significativo do escorregamento das rodas. O sistema de ABS atua nessas situações modulando a pressão atuante no sistema de freio de modo que o grau de escorregamento não supere a faixa ideal de operação. Assim é possível que o veículo possua uma maior dirigibilidade e estabilidade, contudo, também ocorrerão mudanças significativas no tempo e distância de frenagem.

Nesse trabalho foram realizados testes de desempenho do sistema de freio com o objetivo de comparar a distância de frenagem e a desaceleração de um mesmo veículo com o sistema de ABS ativo e com o sistema de ABS inativo variando as condições de pista e peso do veículo. Os testes foram realizados segundo os procedimentos de ensaio da norma ABNT NBR 10966-2: 2013, para validação dos resultados. A realização dos ensaios ocorreram em pista pavimentada em condições de via seca e molhada com 2 ocupantes, somando em média 140kg e com 4 ocupantes, totalizando em média 280kg, com velocidades de 60 km/h e 80km/h respectivamente.

3.1 PROCEDIMENTO DE DESEMPENHO

Segundo a norma ABNT NBR 10966-2: 2013, o desempenho de um sistema de freio deve ser determinado medindo-se a distância de parada em relação à velocidade inicial ou medindo-se a desaceleração média plenamente desenvolvida durante o ensaio.

3.1.1 Cálculo utilizando a norma

A desaceleração média é definida como:

$$d_M = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(S_e - S_b)} \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (4)$$

Onde:

- V_o é a velocidade inicial do veículo, expressa em quilômetros por hora;
- V_b é a velocidade do veículo a $0,8V_o$, expressa em quilômetros por hora;
- V_e é a velocidade do veículo a $0,1V_o$, expressa em quilômetros por hora;
- S_b é a distância percorrida entre V_o e V_b , expressa em metros;
- S_e é a distância percorrida entre V_o e V_e , expressa em metros.

3.1.2 Cálculo utilizando Torricelli

Devido a limitação de equipamentos necessários para a obtenção dos valores de S_b e S_e os cálculos das desacelerações foram realizados a partir da equação de Torricelli, que é definida como (Halliday, 2008):

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s \quad (5)$$

Onde:

- V_f é a velocidade final em m/s;
- V_i é a velocidade inicial em m/s;
- a é a aceleração (positiva ou negativa) em m/s²;
- Δs é a variação do espaço (deslocamento) ou distância de parada do veículo em metros.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os testes ocorreram em via pavimentada e foram utilizados cones de sinalização juntamente com uma fita de sinalização no solo para marcar o local onde a frenagem se iniciaria, como pode ser visualizado na Figura 24, assim quando a roda dianteira cruzava a indicação os freios eram acionados vigorosamente.

Com a utilização de uma fita métrica, com escala de 50 metros e resolução de 1 centímetro, foi obtido a distância entre a fita de sinalização, ponto onde a frenagem teve início, até o cubo das rodas dianteiras do veículo, obtendo-se assim a distância de frenagem. Os testes foram repetidos 11 vezes para cada configuração descartando sempre a primeira medição devido a sensibilidade do piloto.

Para auxiliar esse procedimento a norma ABNT NBR 10966-2: 2013 apresenta algumas recomendações:

- Os ensaios devem ser realizados quando não houver vento que possa afetar os resultados;
- No início dos ensaios os pneus devem estar frios e na pressão descrita pelo fabricante;
- O desempenho deve ser descrito sem desvio do curso;
- A velocidade mínima dos testes deve ser 30% da velocidade máxima do veículo e a velocidade máxima dos testes deve ser 80% da velocidade máxima do veículo.

Figura 24. Equipamentos utilizados.



Fonte: Autor (2016).

3.2.1 Pista seca 2 passageiros a 60km/h

Os testes ocorreram em pista pavimentada em condições de via seca e foram utilizados 2 passageiros totalizando 140kg.

Com os passageiros acomodados nos bancos frontais do veículo, a velocidade do mesmo foi sendo gradualmente acrescentada e após atingir 60km/h, com o veículo em 3ª marcha, a velocidade era mantida constante até a linha que demarcava o local de frenagem. Quando a roda dianteira cruzava a linha de marcação, o pedal de freio era pressionado fortemente até a parada total do veículo. Após a parada total, o freio de estacionamento era acionado e com a utilização da fita métrica era aferido a distância entre o cubo da roda dianteira até a fita de sinalização obtendo se assim a distância de frenagem.

3.2.2 Pista seca 4 passageiros a 60km/h

Os ensaios foram realizados em pista pavimentada em condições de via seca e foram utilizados 4 passageiros totalizando 280kg, com o objetivo de avaliar o desempenho em frenagem com o aumento do peso total do veículo.

Com dois passageiros acomodados na frente e dois atrás, a velocidade do veículo foi sendo gradualmente acrescentada e após atingir 60km/h, com o veículo em 3ª marcha, a velocidade era mantida constante até a linha que demarcava o local de frenagem. Quando a roda dianteira cruzava a linha de marcação, o pedal de freio era pressionado fortemente até a parada total do veículo. Após a parada total, o freio de estacionamento era acionado e com a utilização da fita métrica era aferido a distância entre o cubo da roda dianteira até a fita de sinalização obtendo se assim a distância de frenagem.

3.2.3 Pista molhada 2 passageiros a 60km/h

Os testes ocorreram em pista pavimentada em condições de via molhada e foram utilizados 2 passageiros totalizando 140kg, com o intuito de analisar o desempenho em frenagem com a redução no coeficiente de atrito pneu/pista.

Com os passageiros acomodados nos bancos frontais do veículo a velocidade do mesmo foi sendo gradualmente acrescentada e após atingir 60km/h, com o veículo em 3ª marcha, a velocidade era mantida constante até a linha que demarcava o local de frenagem. Quando a roda dianteira cruzava a linha de marcação, o pedal de freio era pressionado fortemente até a parada total do veículo. Após a parada total, o freio de estacionamento era acionado e com a utilização da fita métrica era aferido a distância entre o cubo da roda dianteira até a fita de sinalização obtendo se assim a distância de frenagem.

3.2.4 Pista molhada 4 passageiros a 60km/h

Os ensaios foram realizados em pista pavimentada em condições de via seca e foram utilizados 4 passageiros totalizando 280kg, com o propósito de avaliar o desempenho em frenagem com o aumento no peso total do veículo e a redução no coeficiente de atrito pneu/pista.

Com dois passageiros acomodados na frente e dois atrás, a velocidade do veículo foi sendo gradualmente acrescentada e após atingir 60km/h, com o veículo em 3ª marcha, a velocidade era mantida constante até a linha que demarcava o local de frenagem. Quando a roda dianteira cruzava a linha de marcação, o pedal de freio era pressionado fortemente até a parada total do veículo. Após a parada total, o freio de estacionamento era acionado e com a utilização da fita métrica era aferido a distância entre o cubo da roda dianteira até a fita de sinalização obtendo se assim a distância de frenagem.

3.2.5 Pista seca 2 passageiros a 80km/h

Os testes ocorreram em pista pavimentada em condições de via seca e foram utilizados 2 passageiros totalizando 140kg, tendo como objetivo analisar o desempenho em frenagem com o aumento na velocidade.

Com os passageiros acomodados nos bancos frontais do veículo a velocidade do mesmo foi sendo gradualmente acrescentada e após atingir 80km/h, com o veículo em 4ª marcha, a velocidade era mantida constante até a linha que demarcava o local de frenagem. Quando a roda dianteira cruzava a linha de marcação, o pedal de freio era pressionado fortemente até a parada total do veículo. Após a parada total, o freio de estacionamento era acionado e com a utilização da fita métrica era aferido a distância entre o cubo da roda dianteira até a fita de sinalização obtendo se assim a distância de frenagem.

3.3 DADOS DO VEÍCULO

Os ensaios foram realizados utilizando um veículo do modelo Ford New Fiesta hatch ano/modelo 2012, a Tabela 4 apresenta o peso do veículo e sua distribuição sobre os eixos.

Tabela 4. Peso do veículo.

Peso do veículo (Kg)	
Peso	1145
Carga útil	375
Peso bruto total	1579
Distribuição no eixo dianteiro	710
Distribuição no eixo traseiro	494

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A Tabela 5 mostra dados referente as principais dimensões do veículo.

Tabela 5. Principais dimensões do veículo.

Dimensões do veículo	
Comprimento total	4064 mm
Largura total	1972 mm
Altura total	1446 mm
Distância entre eixos	2489 mm
Bitola dianteira	1479 mm
Bitola traseira	1467 mm

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A Tabela 6 apresenta os principais dados referente ao motor utilizado no veículo do modelo Ford New Fiesta hatch ano/modelo 2012.

Tabela 6. Características do motor.

Motor 1.6 L Sigma 1.6 L Sigma Flex	
Posição	Dianteiro transversal
Ciclo/tempos	Otto/ 4 tempos
Cilindros	4 em linha
Diâmetro do cilindro	79,00 mm
Curso do pistão	81,40 mm
Relação de compressão	11:01
Cilindrada	1596 cm ³
Torque máximo	155 Nm à 4250 rpm
Pontência	110 cv à 6250 rpm
Combustível	Gasolina tipo C

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A Tabela 7 exibe o modelo de suspensão aplicado no eixo dianteiro e traseiro assim como o tipo de auxílio na direção.

Tabela 7. Tipo de suspensão e direção.

Suspensão/Direção	
Dianteira	Independente, tipo MacPherson
Traseira	Eixo auto estabilizante " Twist Beam "
Direção	Tipo elétrica

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A Tabela 8 retrata os principais dados referente ao sistema de freio presente no veículo.

Tabela 8. Sistema de freio.

Sistema de freio	
Acionamento	Hidráulico convencional
Rodas dianteiras	Freio a disco com pinça flutuante e disco ventilado
Rodas traseiras	Freio a tambor do tipo duo-servo
Fluido de freio	DOT 3 WSS-M6C62-A
ABS	Fabricante: FoMoCo

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A Tabela 9 exibe os dados julgados mais relevantes sobre os pneus apresentados pelo fabricante, assim como informações que demonstram o seu estado de uso no momento em que ocorreram os ensaios.

Tabela 9. Especificações do pneu.

Pneu	
Marca	Kumho
Medida	185/60 R15
Pressão	32 Lb/pol ²
Tempo de uso	3 anos
Quilometragem	25972 km

Fonte: Manual do proprietário (2011).

A norma ABNT NBR 10966-2: 2013 orientou que a distância de frenagem fosse obtida a partir da frenagem total do veículo, de uma velocidade inicial até o repouso. Esse procedimento foi realizado 11 vezes para cada situação anteriormente descrita, sendo eliminado sempre o primeiro valor obtido. Gerando assim um total de 100 medições que foram utilizadas para as análises posteriores.

4. RESULTADOS

Após a realização dos ensaios, ou seja, aferidas as 100 distâncias de frenagem nas diferentes situações, foi possível realizar a comparação dos resultados para avaliar o desempenho em frenagem do veículo.

4.1 DISTÂNCIA DE FRENAGEM, 2 PESSOAS, PISTA SECA, A 60KM/H

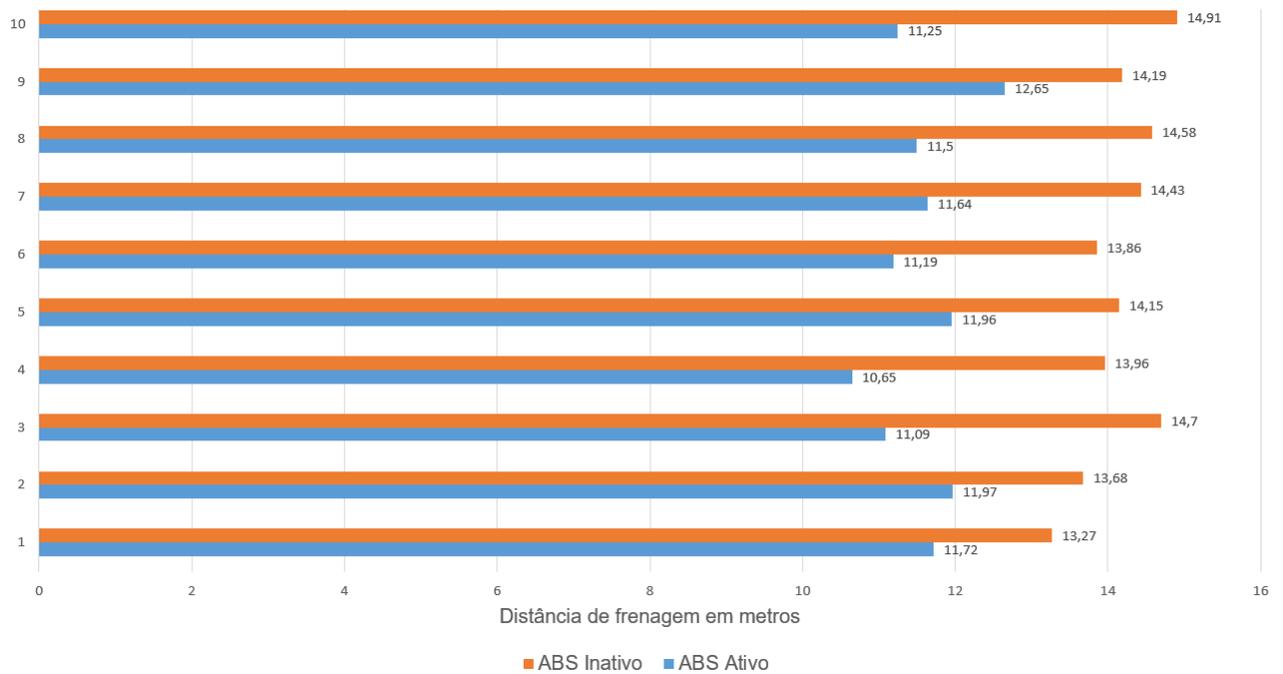
A Tabela 10 e a Figura 25 apresentam as distâncias de frenagem em condições de via seca, com 2 ocupantes, com o ABS ativo e inativa, a 60 km/h.

Tabela 10. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 60km/h.

Configuração		Distância de Frenagem em metros										\bar{X}	S
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
2 Pessoas, Pista Seca, 60Km/h	ABS Ativo	11,72	11,97	11,09	10,65	11,96	11,19	11,64	11,50	12,65	11,25	11,56	0,56
	ABS Inativo	13,27	13,68	14,70	13,96	14,15	13,86	14,43	14,58	14,19	14,91	14,18	0,50

Fonte: Autor (2016).

Figura 25. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 60km/h.



Fonte: Autor (2016).

A partir da Tabela 10 foi possível analisar um aumento significativo no desempenho em frenagem do veículo com a utilização do ABS, pois as medições com o ABS inativo apresentaram na média um aumento de 2,62 metros, refletindo assim um aumento de 22,66% na distância quando comparamos com a média das distâncias obtidas com o ABS ativo. A desaceleração média com o sistema ativo atingiu $12,01\text{m/s}^2$, já com o sistema inativo foi alcançado $9,8\text{m/s}^2$.

4.2 DISTÂNCIA DE FRENAGEM, 4 PESSOAS, PISTA SECA, A 60KM/H

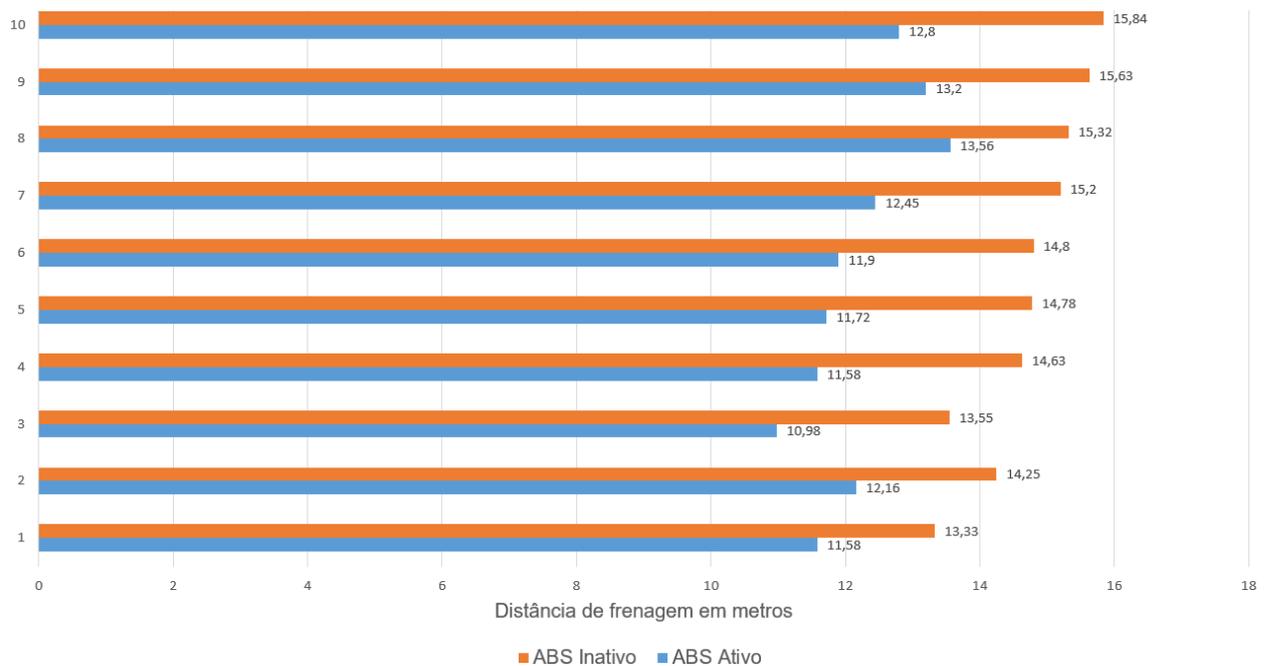
A Tabela 11 e a Figura 26 exibem as distâncias de frenagem em condições de via seca, com 4 ocupantes, com o ABS ativo e inativo, a 60 km/h.

Tabela 11. Distância de frenagem, 4 pessoas, pista seca, a 60km/h.

Configuração		Distância de Frenagem em metros										\bar{X}	S
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
4 Pessoas, Pista Seca, 60Km/h	ABS Ativo	11,58	12,16	10,98	11,58	11,72	11,90	12,45	13,56	13,20	12,80	12,19	0,80
	ABS Inativo	13,33	14,25	13,55	14,63	14,78	14,80	15,20	15,32	15,63	15,84	14,73	0,83

Fonte: Autor (2016).

Figura 26. Distância de frenagem, 4 pessoas, pista seca, a 60km/h.



Fonte: Autor (2016).

A Tabela 11 mostra um incremento significativo nas distâncias de frenagem realizadas com ABS inativo, apresentando na média um aumento de 2,54 metros, ou seja, um acréscimo de 20,84%. A desaceleração com o sistema ativo atingiu $11,4\text{m/s}^2$, já com o sistema inativo foi alcançado $9,43\text{m/s}^2$.

Outra análise que pode ser evidenciada de acordo com as Tabelas 10 e 11, é que as frenagens realizadas em pista seca com 2 ocupantes apresentaram valores mais próximos da média, ou seja, com menor desvio padrão, evidenciando que nessa configuração, tanto com ABS ativo quanto com o ABS inativo, o sistema apresenta menores variações. A partir da Figura 26 é possível evidenciar que com a ocorrência das frenagens o sistema tende a aquecer e a eficiência é reduzida, assim, as últimas medições apresentaram as maiores distâncias de frenagem.

4.3 DISTÂNCIA DE FRENAGEM, 2 PESSOAS, PISTA MOLHADA, A 60KM/H

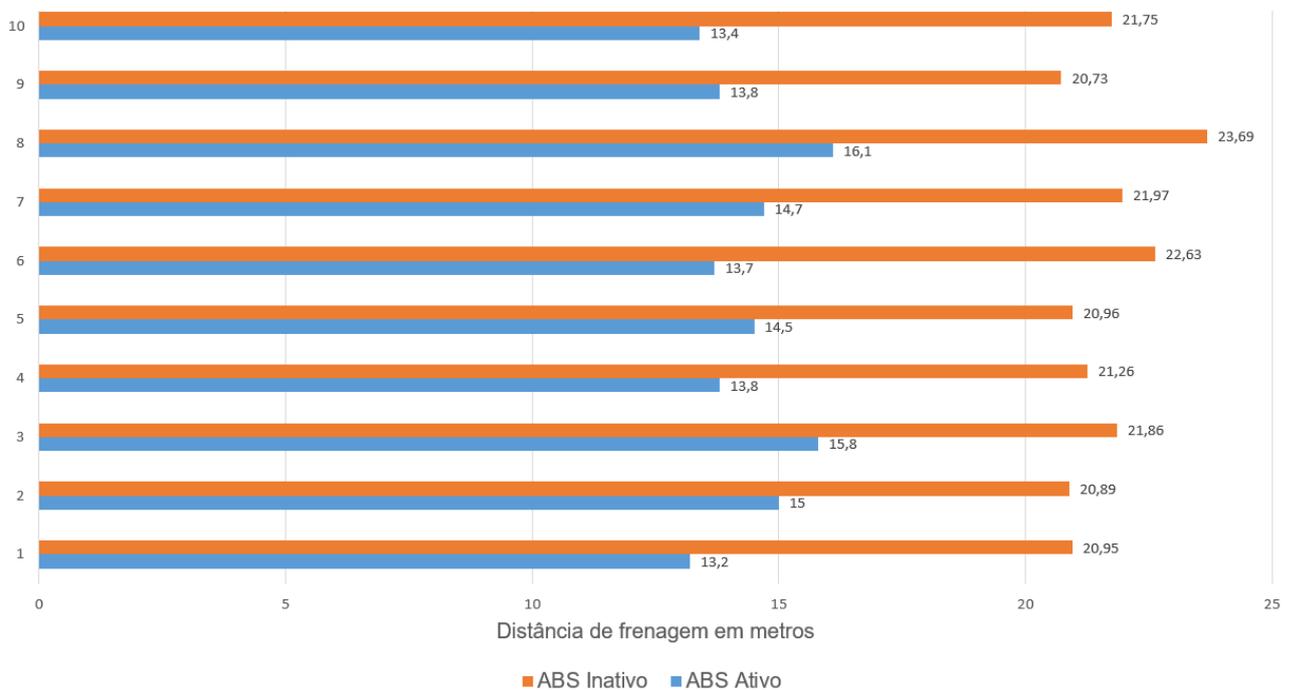
A Tabela 12 e a Figura 27 mostram as distâncias de frenagem em condições de via molhada, com 2 ocupantes, com o ABS ativo e inativa, a 60 km/h.

Tabela 12. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista molhada, a 60km/h.

Configuração		Distância de Frenagem em metros											\bar{X}	S
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2 Pessoas, Pista Molhada, 60Km/h	ABS Ativo	13,20	15,00	15,80	13,80	14,50	13,70	14,70	16,10	13,80	13,40	14,40	0,99	
	ABS Inativo	20,95	20,89	21,86	21,26	20,96	22,63	21,97	23,69	20,73	21,75	21,67	0,93	

Fonte: Autor (2016).

Figura 27. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista molhada, a 60km/h.



Fonte: Autor (2016).

De acordo com a Tabela 12 é possível evidenciar um acréscimo acentuado nas distâncias de frenagem com o ABS inativo, apresentando na média um aumento de 7,27 metros, ou seja, um acréscimo de 50,49%. A desaceleração com o sistema ativo atingiu $9,64\text{m/s}^2$, já com o sistema inativo foi alcançado $6,41\text{m/s}^2$.

4.4 DISTÂNCIA DE FRENAGEM, 4 PESSOAS, PISTA MOLHADA, A 60KM/H

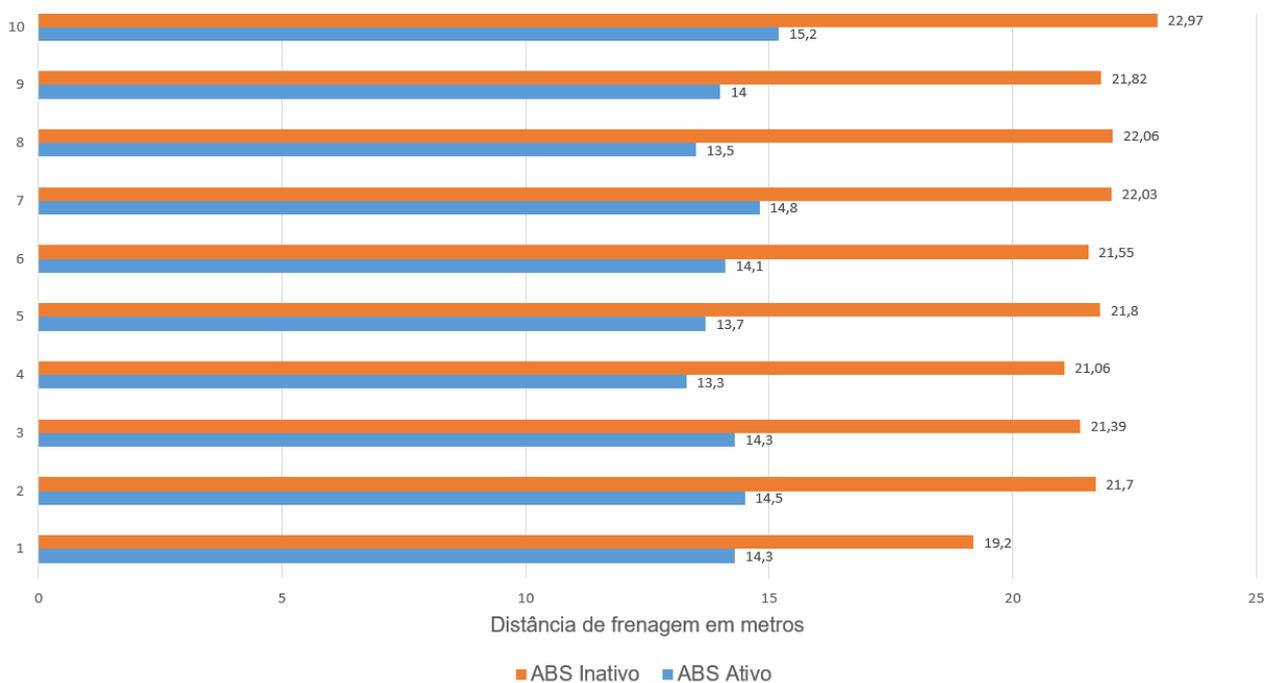
A Tabela 13 e a Figura 28 expõem as distâncias de frenagem em condições de via molhada, com 4 ocupantes, com o ABS ativo e inativa, a 60 km/h.

Tabela 13. Distância de frenagem, 4 pessoas, pista molhada, a 60km/h.

Configuração		Distância de Frenagem em metros										\bar{X}	S
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
4 Pessoas, Pista Molhada, 60Km/h	ABS Ativo	14,30	14,50	14,30	13,30	13,70	14,10	14,80	13,50	14,00	15,20	14,17	0,58
	ABS Inativo	19,20	21,70	21,39	21,06	21,80	21,55	22,03	22,06	21,82	22,97	21,56	0,97

Fonte: Autor (2016).

Figura 28. Distância de frenagem, 4 pessoas, pista molhada, a 60km/h.



Fonte: Autor (2016).

A partir da Tabela 13 verifica-se um prolongamento de 7,39 metros, na média, na distância de frenagem com o ABS inativo quando comparamos com o sistema ativo. Isso representa um incremento de 52,15% no deslocamento do veículo. A desaceleração com o sistema ativo atingiu 9,8m/s², já com o sistema inativo foi alcançado 6,44m/s².

Outro fato que pode ser verificado a partir das Tabelas 12 e 13, é que as frenagens em pista molhada com o ABS ativo apresentaram valores mais próximos da média, menor desvio padrão, quando realizadas com 4 ocupantes. Assim pode ser evidenciado um comportamento mais linear do ABS nessa configuração.

4.5 DISTÂNCIA DE FRENAGEM, 2 PESSOAS, PISTA SECA, A 80KM/H

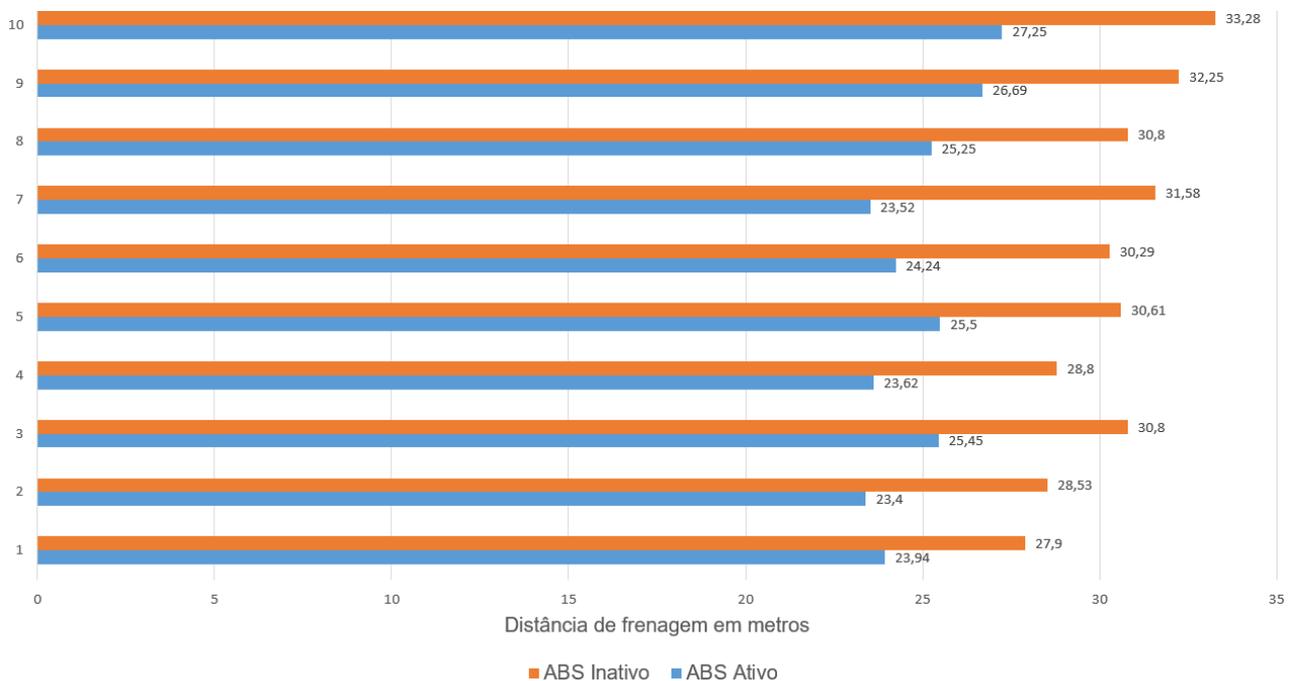
A Tabela 14 e a Figura 29 apresentam as distâncias de frenagem em condições de via seca, com 2 ocupantes, com o ABS ativo e inativo, a 80 km/h.

Tabela 14. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 80km/h.

Configuração		Distância de Frenagem em metros											\bar{X}	S
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
2 Pessoas, Pista Seca, 80Km/h	ABS Ativo	23,94	23,40	25,45	23,62	25,50	24,24	23,52	25,25	26,69	27,25	24,88	1,36	
	ABS Inativo	27,90	28,53	30,80	28,80	30,61	30,29	31,58	30,80	32,35	33,28	30,49	1,70	

Fonte: Autor (2016).

Figura 29. Distância de frenagem, 2 pessoas, pista seca, a 80km/h.



Fonte: Autor (2016).

Segundo a Tabela 14 é possível verificar um acréscimo de 5,61 metros, na média, na distância de frenagem do veículo com velocidade inicial de 80km/h com ABS inativo. Esse fato representa um aumento de 22,54% no espaço percorrido pelo automóvel durante a frenagem. A desaceleração com o sistema ativo atingiu $9,92\text{m/s}^2$, já com o sistema inativo foi alcançado $8,1\text{m/s}^2$.

Outro fato observado durante os testes com o sistema inativo foi a tendência de rotação do veículo durante a frenagem, conforme apresenta a Figura 30, e a capacidade reduzida de correção de trajetória, fato que não ocorreu com o ABS ativo, pois além de apresentarem um trajeto retilíneo durante a frenagem, a manobrabilidade se mantia preservada.

Figura 30. Tendência de rotação do veículo.



Fonte: Autor (2016).

Do mesmo modo foi possível evidenciar, através das marcas deixadas na pista, a grande quantidade de material que foi removido dos pneus durante as frenagens com o ABS inativo, como pode ser visualizado na Figura 31, fato que não ocorreu nas frenagem com o sistema ABS ativo, gerando assim um aumento

significativo do desgaste nos pneus, que por sua vez resulta em maiores gastos ao usuário.

Figura 31. Desgaste dos pneus.



Fonte: Autor (2016).

4.6 VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

A partir dos resultados foi possível evidenciar um aumento significativo na distância de frenagem dos testes realizados em pista molhada quando comparado aos testes realizados em via seca. Esse fenômeno ocorreu devido a diminuição do coeficiente de atrito pneu/pista.

Assim como apresentado na Equação 2, com a redução do coeficiente de atrito, a força máxima de frenagem capaz de ser gerada torna-se menor, ocasionando um aumento na distância de frenagem.

4.7 TRANSFERÊNCIA DE CARGA DEVIDO A VARIAÇÃO DE 2 PARA 4 PESSOAS

Devido à aplicação da força de frenagem a inércia produz uma reação igual e de sentido contrário no centro de gravidade, essas forças geram um torque no centro de gravidade que produz a transferência de carga do eixo traseiro para o eixo dianteiro (PIETRO, 2014).

A carga atuante no eixo dianteiro e no eixo traseiro pode ser calculada a partir das seguintes equações:

$$W_f = \frac{PB}{l} + \frac{md_M h}{l} \quad (6)$$

$$W_r = \frac{PA}{l} - \frac{md_M h}{l} \quad (7)$$

Onde:

- P é o peso total do veículo (N);
- B é a distância do centro de gravidade ao eixo traseiro (m);
- A é a distância do centro de gravidade ao eixo dianteiro (m);
- l é a distância entre eixos (m);
- h é a altura do centro de gravidade (m);
- d_M é a desaceleração média (m/s²).

Considerando um peso total do veículo com 2 pessoas de 13184,64N, uma distância do centro de gravidade ao eixo traseiro de 1,468m, uma distância do centro de gravidade ao eixo dianteiro de 1,021m, uma distância entre eixos de 2,489m, uma massa de 1344kg, uma altura do centro de gravidade de 0,5m e uma desaceleração média de 6m/s², foi possível obter um valor de carga atuante no eixo dianteiro de 9396,16N e 3788,48N no eixo traseiro.

Para um peso total do veículo com 4 pessoas de 14558,04N, uma distância do centro de gravidade ao eixo traseiro de 1,468m, uma distância do centro de gravidade ao eixo dianteiro de 1,021m, uma distância entre eixos de 2,489m, uma

massa de 1484kg, uma altura do centro de gravidade de 0,5m e uma desaceleração média de 6m/s^2 , foi possível obter um valor de carga atuante no eixo dianteiro de 10374,93N e 4183,11N no eixo traseiro.

Assim, é possível evidenciar uma maior transferência de carga quando o veículo comporta 4 pessoas, fazendo com que ocorra um aumento na carga atuante no eixo dianteiro, causando uma maior exigência dos freios dianteiros.

5. CONCLUSÃO

Após a realização das análises ficou evidente a melhora no desempenho em frenagem do veículo com a utilização do ABS. As frenagens realizadas em pista molhada com o sistema inativo apresentaram um aumento superior a 50% na distância de parada, já em pista seca houve um aumento superior a 20% na distância de frenagem, tal fato comprova a segurança ao condutor proporcionada pelo ABS.

Com a utilização do ABS as frenagens apresentaram uma desaceleração média 33,67% maior que as realizadas com o sistema inativo. Tal fato comprovou o aumento na eficiência das frenagens devido a não ocorrência do bloqueio total das rodas.

Os testes realizados com um aumento no peso total do veículo, 4 ocupantes, apresentaram em pista molhada uma menor distância de frenagem, já em pista seca a configuração com 2 ocupantes apresentou na média uma menor distância de frenagem. Demonstrando assim, a influência do peso na atuação do ABS.

Com o aumento da velocidade foi possível destacar um acréscimo superior a 215% na distância de frenagem. Isso se deve ao fato de que a energia cinética de um corpo em movimento aumenta com o quadrado da velocidade e do mesmo modo a distância de frenagem também varia com o quadrado da velocidade.

O fato de possibilitar grande redução na distância de frenagem já justifica o investimento a mais para possuir esse equipamento. Contudo, através dos testes, foi possível evidenciar a manutenção da dirigibilidade e manobrabilidade durante a ocorrência da frenagem com o sistema de ABS ativo, fato que traz grande segurança ao usuário, pois, em uma situação de emergência, o possibilita mudar a trajetória do veículo com segurança.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Em um trabalho futuro, a comparação do comportamento de um veículo em variadas formas de condução e diferentes condições de pista, utilizando o sistema eletrônico de estabilidade e um veículo sem esse sistema, pode ser realizada para determinar as influências desse dispositivo na manutenção da estabilidade do mesmo, que opera em conjunto do sistema ABS.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10966: 1990**. Desempenho de sistemas de freio para veículos rodoviários - Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10966-2: 2013**. Veículos rodoviários automotores – Sistema de freio, parte 2: ensaio de frenagem e desempenho para veículos categorias M, N e O. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9292: 2011**. Veículos rodoviários automotores – Líquido para freios hidráulicos, tipos 3, 4 e 5 – Requisitos e métodos de análise. Rio de Janeiro, 2011.
- BOSCH, Robert. **Conventional and electronic braking systems**. 3.ed. Plochingen: Robert Bosch GmbH, 2003.
- BOSCH, Robert. **Manual de tecnologia automotiva**. 25. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- BREUER, Bert; KARLHEINZ H., Bill. **Brake Technology Handbook**. Warrendale: SAE Internacional, 2008.
- CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CNT). **Resolução n. 380**. Dispõe sobre obrigatoriedade do uso do sistema antitravamento das rodas – ABS. 2011.
- GARDINALLI, Geraldo José. **Comparação do Desempenho de Frenagem Simulada x Experimental de um Veículo de Passeio com Freios Hidráulicos e ABS**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de mestrado em Engenharia Automotiva, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- GONÇALVES, Sérgio. **A Evolução do ABS**. 19.ago.2012. Disponível em <<http://www.autoblog.pt/a-evolucao-do-abs/>>. Acesso em: 05.out.2015.
- GUIMARÃES, Alexandre de Almeida. **Eletrônica embarcada automotiva**. São Paulo: Érica Ltda., 2011.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física, volume 1: mecânica**. 8 ed. Rio de Janeiro: LCT, 2008.

MANUAL DO PROPRIETÁRIO. **Fiesta**. Seu ford de A à Z. 2011.

MOORE, Hugo Ferreira. **Análise de desempenho de um controlador Bang-Bang em um sistema de freio ABS**. 2014. 87 p. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

ONDRUS, Ján; HOCKICKO, Peter. Braking deceleration measurement using the video analysis of motions by SW Tracker. Zilina, **Transport and Telecommunication**, v.16, n.2, p. 127-137, 2015.

PIETRO, Ronaldo Deziderio. **Freios Hidráulicos: da física básica à dinâmica veicular, do sistema convencional aos sistemas eletrônicos**. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.

SEGURANÇA NA FRENAGEM: identificando veículos com ABS e ESP. CESVI. São Paulo, ano 15, n.77, p. 12-14, jan./fev. 2012.