

**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia Automotiva**

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO TESTE DE
DURABILIDADE DE UM CAMINHÃO LEVE EM UMA
MONTADORA DE VEÍCULOS**

**Autor: Leandro Fernandes Lins de Vasconcelos
Orientador: Saleh Barbosa Khalil
Co-Orientador: Henrique Gomes de Moura**

**Brasília, DF
de 2015**



LEANDRO FERNANDES LINS DE VASCONCELOS

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO TESTE DE DURABILIDADE DE UM CAMINHÃO LEVE EM UMA MONTADORA DE VEÍCULOS

Monografia submetida ao curso de graduação em engenharia automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: (MSc, Saleh Barbosa Khalil)

Co-Orientador: (DSc, Henrique Gomes de Moura)

**Brasília, DF
2015**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Fernandes Lins de Vasconcelos, Leandro.

Caracterização e análise do teste de durabilidade de um caminhão leve em uma montadora de veículos: Teste de durabilidade / Leandro Fernandes Lins de Vasconcelos. Brasília: UnB, 2015. 46 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2015. Orientação: Saleh Barbosa Khalil.

1. Teste de durabilidade. 2. teste de degradação. 3. MCC. I. Khalil, Saleh. II. Caracterização do teste de durabilidade de uma montadora de um caminhão leve.

CDU Classificação



**Caracterização e análise do teste de durabilidade de um caminhão leve em
uma montadora de veículos**

Leandro Fernandes Lins de Vasconcelos

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 27/11/2015 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. MSc. Saleh Barbosa Khalil, UnB/ FGA

Orientador

Prof. DSc. Henrique Gomes de Moura, UnB/ FGA

Co-Orientador

Prof. DSc. Suzana Ávila, UnB/ FGA

Membro Convidado

Prof. DSc. Evandro Leonardo Silva Teixeira, UnB/ FGA

Membro Convidado

Brasília, DF
2015

Dedico este trabalho à Deus, que nos criou.
Aos meus professores pela paciência na
orientação. A minha família e à minha noiva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me abençoar com a possibilidade de fazer este TCC. Agradeço também à minha família pelo suporte dado á mim, principalmente à minha mãe por acreditar e me apoiar sempre. À minha noiva Larissa, pela dedicação e incentivo. Aos meus orientadores Prof. Saleh e Prof. Henrique, por me repassar seus conhecimentos, tão necessários para realização desse trabalho. Sou grato também ao gerente da empresa onde desempenhei estágio, Henrique Steckelberg, por abrir as portas do depto. de Engenharia e por me ter dado toda a liberdade para o desenvolvimento do trabalho. E por fim, agradeço aos meus colegas de trabalho por me ajudarem nesta jornada.

“O pessimista reclama do vento. O otimista espera que ele mude. O sábio ajusta as velas” - John Calvin Maxwell.

RESUMO

Este trabalho aborda um tópico bastante relevante na indústria automobilística: testes de durabilidade. Os testes são realizados por montadoras que buscam atender aos parâmetros normativos específicos de emissões de poluentes e de segurança, além de buscarem maior aceitação no mercado, o que torna o veículo mais competitivo. Com a aquisição dos dados dos veículos testados e utilizando-se de ferramentas estatísticas e análises de desgastes, é possível determinar de maneira mais precisa os componentes mecânicos que irão compor o veículo. Outro fator que os testes permitem, é o de prever o período para execução de manutenções preventivas. O motor foi um dos principais itens avaliados, onde fornecedor e montadora, em parceria, realizaram os testes a fim de comprovar se os níveis de emissões exigidos nas normas brasileiras foram cumpridos, bem como a evolução do desgaste dos componentes. Para outros componentes, como pneus e bateria, o teste foi necessário para definir o melhor fornecedor. Como sugestão na determinação dos fornecedores de pneus e baterias, foi apresentada a metodologia teste de degradação, que com os dados extraídos do teste de durabilidade permite projetar a vida útil destes componentes.

Palavras-chave: teste de durabilidade, teste de degradação, MCC.

ABSTRACT

This paper aims to analyze a very important topic in the automotive industry: durability tests. The tests are performed by automakers that are seeking to obey specific laws about pollutant emissions and automobile safety. Besides that, the automakers seek for greater market acceptance. It will be possible to determine accurately the new mechanical components that will be part of the trucks, with the data acquisition and by using statistical tools and degradation testing. The tests also allow to predict the time interval needed to perform preventive maintenances. The engine was one of the most evaluated items, the supplier and the automaker worked together to perform the durability tests, to verify the compliance to the brazilian pollutant emissions laws and to analyze the mechanical components wastage. The tests were also necessary to determinate the best suppliers for the other components, tires and battery. It was suggested to use the degradation testing methodology to determinate the tires and battery suppliers, because using this methodology with the data acquired from the tests, will be possible to calculate the components life cycle.

Keywords: durability tests, degradation testing, RCM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.: Montadoras de autoveículos.....	12
Figura 2.: A) Hyundai HD78, B) Mercedes-Benz, C) Ford Cargo 816, D) Iveco Daily Chassi e E)Volksvagem 8.160	13
Figura 3.: Função densidade de falha hipotética e as funções Q(t) e R(t).	16
Figura 4.: Variação do parâmetro de forma	17
Figura 5.: Variação do parâmetro de escala	18
Figura 6.: Processo do ferrograma analítico (A), imagem microscópica de um ferrograma (B).....	26
Figura 7.: Evolução da manutenção.....	26
Figura 8.: Fases dos testes	31
Figura 9.: Ciclo de condução para ensaio de consumo rodoviário, conforme NBR 7024	32
Figura 10.: A) Carga composta por galões de água. B) Carga de sucata de aço prensado	36
Figura 11.: A) Catraca e cinta. B) Lona.....	36
Figura 12.: Unidade de Controle do Motor (ECU) dos caminhões de teste	39
Figura 13.: Dispositivo para leitura da ECU, <i>Samtec</i>	39
Figura 14.: A) Dispositivo DPF; B) Detalhamento dos filtros de partículas do DPF	40
Figura 15.: Dispositivo ES715, do fabricante ETAS.	41
Figura 16.: A) Pneu do fabricante Pirelli, B) Pneu do fabricante Continental e C) Pneu do fabricante Michelin.	42
Figura 17.: A) Procedimento de medição e B) DOT do pneu	42
Figura 18.: A) Bateria Moura e B) Bateria Heliar	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Concorrentes na categoria caminhões leves	13
2 OBJETIVO	14
2.1 Obejtivo Global	14
2.2 Objetivo Específico	15
3 FERRAMENTA ESTATÍSTICA	15
3.1 Confiabilidade ou função confiabilidade	15
3.2 Distribuição Weibull	16
3.3 Estimativa de parâmetros	19
3.3.1 Máxima Estimativa de semelhança	19
3.3.2 Hazard Plotting	20
3.4 Teste de degradação	21
3.5 Manutenção Preditiva	22
3.5.1 Análise de óleo	23
3.5.2 Ferrografia	25
3.6 Manutenção Centrada em Confiabilidade	26
4 NORMAS	29
4.1 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas	30
4.1.1 NBR - Veículos rodoviários automotres leves: Determinação de hidrocarboneto, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento	30
4.1.2 NBR - 7024 - Veículos rodoviários automotores leves: Medição do consumo de combustível	32
4.1.3 Resolução n° 558/80 (art.4°) do CONTRAN	33
5 ESTUDO DE CASO	34
5.1 O teste de durabilidade	34
5.2 Equipe de Trabalho	34
5.3 Os caminhões (Protótipos)	35
5.4 Combustível utilizado nos testes	35
5.5 Cargas de teste	35
5.6 Rotas dos testes	37
5.6.1 Rota Highway	37
5.6.2 Rota Extra Urban	37
5.6.3 Rota Heavy Urban	38
5.6.4 Rota Door to DoorTítulo da Seção 5.3	38
5.7 Dados Coletados nos Testes	38
5.7.1 Dados do motor	38
5.7.2 Dados de Emissões de gases	39
5.7.3 Dados do óleo motor	40
5.7.4 Dados dos penus	41
5.7.5 Dados da Bateria	43
5 Cronograma de Atividades	44
REFERENCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é evidenciada a importância da indústria automobilística no cenário econômico brasileiro. Com destaque ao programa de incentivo do governo federal, Inovar Auto. Além disso são apresentados conceitos iniciais sobre o teste de durabilidade.

O mercado automobilístico brasileiro posiciona-se entre os maiores do mundo: o Brasil representa o 4º maior mercado e 6º maior fabricante de veículos do mundo (Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2010). A indústria automobilística gera grandes quantidades de empregos, geralmente de alta qualificação e remunerações compatíveis com o nível exigido. Pesquisas apontam que somente as montadoras empregam aproximadamente 145 mil trabalhadores diretos em todo o território nacional.

O setor automobilístico no Brasil é composto por 31 montadoras, 500 indústrias de autopeças e 5.533 concessionárias. A atual capacidade produtiva é de aproximadamente 4,5 milhões de unidades por ano de automóveis, comerciais leves, caminhões, ônibus e máquinas agrícolas. A Figura 1 mostra um panorama de montadoras atuantes e os autoveículos fabricados por elas. É estimado que este setor da economia brasileira emprega ao todo cerca de 1,5 milhões de pessoas direta e indiretamente (Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2010).

Empresas Companies	PRODUTOS / PRODUCTS			
	Automóveis Cars	Comerciais leves Light commercials	Caminhões Trucks	Ônibus Buses
Agrale				
BMW				
CAOA				
DAF				
Fiat				
Ford				
General Motors				
Honda				
Hyundai				
International				
Iveco				
Mahindra				
MAN				
Mercedes-Benz				
Mitsubishi				
Nissan				
Peugeot Citroën				
Renault				
Scania				
Toyota				
Volkswagen				
Volvo				

Fig. 1. Montadoras de autoveículos.

(Fonte: Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2010)

Dada a relevância do setor automobilístico no Brasil, cuja influência é de 23% do PIB industrial e 5% do total gerado no país, o governo tem adotado medidas para estimular sua capacidade e desenvolvimento tecnológico. Para isso foi criado o Inovar Auto, que é um programa de incentivo à inovação e adensamento da cadeia produtiva de veículos automotores. O programa atua de forma que, as montadoras para serem beneficiadas, devem desenvolver seus produtos atendendo a exigências rígidas de emissão de gases poluentes, consumo de combustível, entre outros (Anuário da Indústria Automobilística Brasileira, 2010).

De acordo com o Decreto nº 7.819/2012, o programa Inovar Auto enfatiza a competitividade, tecnologia e segurança empregada nos veículos produzidos e vendidos no Brasil e também possui foco no aspecto ambiental. Todas as empresas do setor automobilístico podem aderir ao regime em questão, desde que estejam devidamente enquadradas nas normas impostas na legislação. Neste cenário o teste

de durabilidade configura uma importante metodologia na busca de atender as exigências de emissões gases e consumo de combustível dos veículos.

O teste de durabilidade pode ser utilizado também para simular o período em que a empresa se responsabiliza pelo seu produto (garantia). Com esse propósito a empresa pode se defender em casos que o proprietário não seguiu corretamente os procedimentos de manutenção preventiva e favoreceu o desgaste precoce de componentes gerando perdas e até mesmo perda total do próprio veículo.

O trabalho está estruturado em 7 capítulos: no capítulo 2 são apresentados os objetivos gerais e específicos; no capítulo 3 são detalhadas as ferramentas estatísticas utilizadas nas tomadas de decisão. Já no capítulo 4, são mostradas as normas técnicas brasileiras utilizadas; no capítulo 5 está descrito o estudo de caso que caracteriza os testes realizados. O capítulo 6 é composto pela conclusão e sugestões de trabalhos futuros e por fim o capítulo 7 de referências bibliográficas.

1.1 CONCORRENTES NA CATEGORIA CAMINHÕES LEVES

Em busca de uma melhor posição no mercado, cada vez mais competitivo, é necessário conhecer e estar a frente dos concorrentes. Os principais concorrentes foram selecionados considerando critérios de venda e de capacidade de carga (aproximadamente de 8000 kg). A Figura 2 e a Tabela 1 mostram o comparativo entre os principais caminhões leves vendidos no Brasil.



Fig. 2. A) Hyundai HD80, B) Mercedes-Benz Accelo 815, C) Ford Cargo 816, D) Iveco Daily Chassi e E) Volkswagen 8.160.

Tabela 1. Informações técnicas dos caminhões. (Fonte: autor).

Caminhão	HD78	Mercedes-Benz Accelo 815	Ford Cargo 816	Iveco Daily Chassi	Volkswagen 8.160
Motor	155 cv (3500 rpm) 40 kg.f/rpm (1700 rpm)	156 cv (2200rpm) 59 mKgf (1200-1600rpm)	162 cv (2300rpm) 56,1 kgf.m (1500 rpm)	177 cv (2700 rpm)	160 cv (2600 rpm)
Transmissão	Manual de 5 velocidades, relação (primeira e última) - 5,38/0,72	Manual, relação de marcha (primeira e última) - 5,72/0,76	Manual, relação de marcha (primeira e última) - 5,78/0,77	Manual, relação de marcha (primeira e última) - 5,72/0,76	manual de 5 marcha com acionamento à cabo relação de marcha (primeira e última) - 5,72/0,76
Freio	Freio a ar com o sistema ABS.	Freio motor: convencional/ Top Brake Freio de estacionamento: Câmara de mola acumulada, acionada pneumaticamente.	Freio a ar, dianteiro e traseiro a tambor e válvula sensível à carga. Freio de estacionamento a ar com molas acumuladoras, e atuação nas rodas traseiras.	Freio de serviço: Tambor com acionamento pneumático. Freio motor: válvula tipo borboleta Freio de estacionamento: Pneumático.	Freio de Serviço: Freio ar, tambor nas rodas dianteiras e traseiras, Freio de Estacionamento: Câmara de molas acumuladoras Freio motor: Válvula tipo borboleta no tubo do escapamento
Suspensão	Eixo rígido com feixe de molas semi-elípticas e amortecedores hidráulicos de dupla ação.	Suspensão traseira e dianteira: feixe de molas parabólicas com amortecedores telescópicos de dupla ação e barra estabilizadora	Suspensão dianteira: feixe de mola parabólicas com amortecedores telescópicos, hidráulicos de dupla ação	Suspensão Dianteira: Molas parabólicas, amortecedores telescópicos, de dupla ação Suspensão traseira: Molas parabólicas de duplo estágio.	Dianteira: Molas parabólicas, amortecedores hidráulicos telescópicos de dupla ação, barra estabilizadora. Traseira: Eixo rígido motriz, molas principais semi-elípticas de ação progressiva, molas auxiliares parabólicas, amortecedores hidráulicos telescópicos de dupla ação, barra estabilizadora
Peso bruto total	7800 Kg	8300 Kg	8250 Kg	9300	8150

É possível ver um certo padrão entre os concorrentes, em relação ao motor, exceto o Iveco Daily Chassi que possui uma capacidade um pouco maior, os demais mantêm a mesma potência em média de aproximadamente 158 cv, transmissão manual de 5 marchas, freios pneumáticos e suspensão de feixes de mola.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GLOBAL

Utilizar metodologias de análise estatística (teste de degradação e MCC) associadas a conceitos de manutenção preditiva e confiabilidade, com dados de testes de durabilidade de um caminhão, a fim de auxiliar a seleção de possíveis fornecedores de componentes.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Utilizar a metodologia de teste de degradação, a fim de analisar a vida útil dos pneus e bateria do caminhão, para a seleção de fornecedores. Analisar o desgaste do motor através de análise de óleo em um determinado período de tempo e também verificar se as emissões de gases estão dentro do especificado pela legislação.

3. FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS

Neste capítulo são apresentados os conceitos de confiabilidade, bem como as metodologias: distribuição de *Weibull*, estimativa de parâmetros, teste de degradação, manutenção preditiva, análise de óleo e MCC.

Durabilidade é um aspecto particular da confiabilidade, relacionada ao desempenho de um componente através do tempo, ela é normalmente definida como o mínimo de tempo antes da ocorrência de falhas por desgaste. Para resolver tais problemas é necessário aplicar algumas ferramentas estatísticas que auxiliem a previsão de falhas.

3.1. Confiabilidade ou Função Confiabilidade

Se X é uma variável contínua, a função densidade de probabilidade, fdp , de X é uma $f(x)$, tal que para dois números reais a e b , com $a \leq b$, tem-se o descrito pela Equação 1:

$$P(a < x \leq b) = \int_a^b f(x).dx \quad (1)$$

Segundo (LEES, 1991) “a função confiabilidade $R(t)$ é a probabilidade de um componente ou sistema manter o nível de desempenho adequado por um determinado período de tempo, sob condições de operação especificada”. Se n equipamentos operam sem substituição, então depois de um tempo t , o número de equipamentos sobreviventes e em falha são $n_s(t)$ e $n_f(t)$ respectivamente. A probabilidade de confiabilidade fica da forma evidenciada pela Equação 2.

$$R(t) = 1 - \frac{n_f}{n} \quad (2)$$

Seja $Q(t)$ a probabilidade de falha no tempo t , logo:

$$Q(t) = \frac{n_f(t)}{n_f(t) + n_s(t)} \quad (3)$$

$$Q(t) + R(t) = 1 \quad (4)$$

São eventos mutuamente exclusivos e complementares como apresentado na Figura 3:

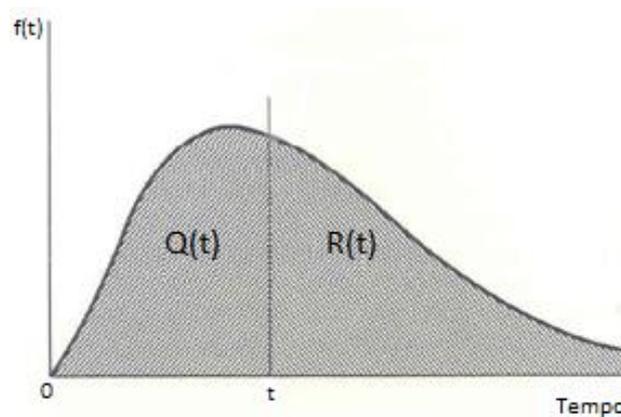


Fig. 3. Função densidade de falha hipotética e as funções $Q(t)$ e $R(t)$.

Fonte: (Dodson & Schwab, 1962).

3.2. Distribuição Weibull

A distribuição estatística é dividida em duas categorias: distribuição de modelagem e distribuição de amostragem. Há dois tipos de distribuição de modelagem: distribuição contínua e distribuição discreta. A distribuição de modelagem contínua tem quatro formas, as quais são distribuição *Weibull*, distribuição normal, distribuição lognormal e distribuição exponencial. Nesse trabalho será abordado apenas a distribuição *Weibull*, formulada por Waloddi Weibull, que é muito utilizada na análise da confiabilidade, análise de sobrevivência e análise de dados de vida útil de equipamentos. Essa distribuição é usada para determinar o modelo de tempo de falha, tempo de reparo e resistência do material (Dodson & Schwab, 1962).

A Equação 5 mostra a função que descreve a distribuição *Weibull*.

$$f(x) = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^{(\beta-1)} e^{-\left[\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta\right]}, \quad x \geq \delta \quad (5)$$

Onde β é um parâmetro de forma conhecido como inclinação da distribuição, θ é o parâmetro de escala e δ o parâmetro de posição (Dodson & Schwab, 1962).

O parâmetro de forma (β) torna a distribuição *Weibull* flexível, pois para cada valor a distribuição toma outras formas. Para $\beta=1$ a distribuição *Weibull* será idêntica a distribuição exponencial, se $\beta=2$ a curva se torna a distribuição *Rayleigh* e quando β estiver entre 3 e 4, a distribuição *Weibull* se aproxima à distribuição normal, conforme a Figura 4.

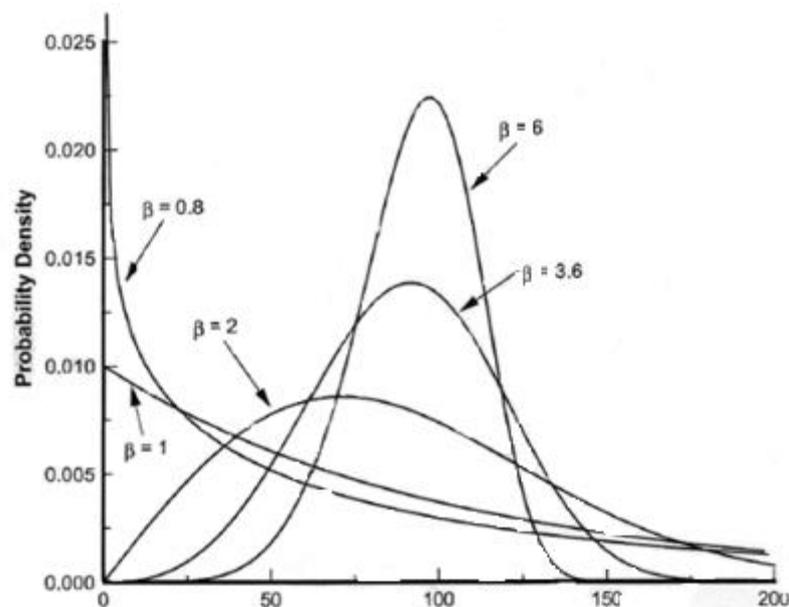


Fig. 4. Variação do parâmetro de forma.

(Fonte: Dodson & Schwab, 1962).

O parâmetro de forma na distribuição *Weibull* indica se a taxa de falha aumenta ou diminui com o tempo, se $\beta < 1$ a taxa de falha diminui com o tempo, se β está próximo ou igual a 1, a distribuição têm uma taxa de falha razoavelmente constante, indicando o tempo de vida útil do componente ou de falhas aleatórias. Para $\beta > 1$ a taxa de falhas aumenta com o tempo (Dodson & Schwab, 1962).

Já a variação do parâmetro de escala θ tem o efeito de esticar a distribuição *Weibull*, desde que β permaneça constante, conforme apresenta o gráfico da Figura 5. Se θ é aumentado, enquanto β e δ são mantidos constantes, a distribuição começa a se estender, esticar para direita e sua altura diminui, ao manter sua forma e posição.

Porém se o θ é diminuído enquanto β e δ são mantidos constantes, a distribuição começa se estreitar, para esquerda e aumenta a sua altura (Dodson & Schwab, 1962).

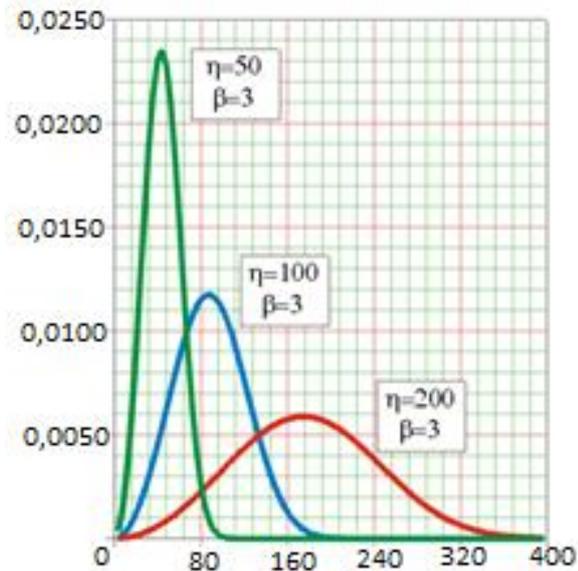


Fig. 5. Variação do parâmetro de escala.
(Fonte: Dodson & Schwab, 1962).

A função densidade de probabilidade pode ser utilizada para se chegar a cálculos comumente usados em confiabilidade, como a função de confiabilidade, taxa de falhas, mediana e número médio de falhas. Para obter tais funções é necessário realizar algumas substituições para obter a distribuição com dois parâmetros onde $\delta=0$, ou para a forma de um parâmetro onde β é uma constante. A função de probabilidade da distribuição *Weibull* é dada pela Equação 6, (Dodson & Schwab, 1962).

$$R(x) = e^{-\left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^\beta} \quad (6)$$

A função Taxa de Falhas da distribuição *Weibull* é dada pela Equação 7.

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{R(x)} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{x-\delta}{\theta}\right)^{\beta-1} \quad (7)$$

O tempo médio de vida, é dado pela Equação 8.

$$T = \delta + \theta * \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) \quad (8)$$

Onde $\Gamma(*)$ é a função *gamma*, que é definida pela Equação 9.

$$\Gamma(\theta) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\theta-1} dx \quad (9)$$

E a Equação 10 descreve a vida mediana, ou vida B_{50} , da distribuição *Weibull*.

$$\check{T} = \delta + \theta (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}} \quad (10)$$

3.3. Estimativa de Parâmetros

Para estimar os parâmetros deve-se seguir algumas propriedades como a ausência de parcialidade. Se o valor esperado do estimador é igual ao valor verdadeiro do parâmetro, é dito que o mesmo é imparcial. O conceito de variância mínima consiste em, quanto menor a variância da estimativa, menor é o tamanho da amostra requerida para obter o nível de acuracidade desejada e mais eficiente é o estimador (Dodson & Schwab, 1962).

O estimador mais eficiente é aquele com a mínima variância. Já a propriedade consistência, define que à medida que a amostra aumenta, o valor do parâmetro estimado torna-se mais próximo ao valor verdadeiro do parâmetro. E na última propriedade, a suficiência, o estimador usa todas as informações do conjunto de dados (Dodson & Schwab, 1962).

Dodson & Schwab, apresentam em sua obra “*Accelerated Testing*” diversos métodos para a estimativa de parâmetros, os mais comumente utilizados são: a máxima estimativa de semelhança *Hazard Plotting*, as quais serão apresentadas no decorrer do trabalho.

3.3.1. Máxima Estimativa de Semelhança

A máxima estimativa de semelhança ou em inglês *Maximum Likelihood Estimation*, pode ser aplicada para a distribuição *Weibull* com dois ou três parâmetros. Quando se utiliza essa técnica na distribuição *Weibull* de três parâmetros, substitui-se o termo $x - \delta$ por x . A Equação 11 mostra a máxima estimativa de semelhança para a distribuição *Weibull* (Dodson & Schwab, 1962).

$$\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \ln(x_i) = \left[\sum_{i=1}^n x_i^{\beta} \ln(x_i) \right] \left[\sum_{i=1}^n x_i^{\beta} \right]^{-1} - \frac{1}{\beta} \quad (11)$$

$$\theta = \left[\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r x_i^{\beta} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (12)$$

Em que r é a quantidade de falhas e n é a quantidade de dados.

3.3.2. Hazard Plotting

O *Hazard Plotting* é um método que utiliza métodos gráficos para estimar os parâmetros. A função cumulativa *Hazard* é transformada em uma equação linear, utilizando-se de transformação logarítmica. A inclinação e a interceptação do eixo fornecem as estimativas necessárias para os parâmetros da distribuição. A função de *Weibull Hazard* cumulativa é representada pela Equação 13 (Dodson & Schwab, 1962).

$$H(x) = -\ln[1 - F(x)] \quad (13)$$

Substituindo $F(x)$ e reorganizando tem-se o descrito pela Equação 14.

$$\ln H(x) = \beta \ln x - \beta \ln \theta \quad (14)$$

Para plotar $\ln [H(x)]$ versus $\ln (x)$, o resultado da inclinação fornece a estimativa do β . A interceptação do eixo y no gráfico é o valor do $\beta \ln \theta$. Então o θ será estimado pela Equação 15.

$$\theta = \exp\left(-\frac{y_0}{\beta}\right) \quad (15)$$

Em que y_0 é o ponto de intersecção com o eixo Y para o gráfico *Hazard*.

A função *Hazard* $h(x)$ é estimada a partir do inverso da classificação das falhas ordenadas. A função *Hazard* acumulativa $H(x)$, é acumulativa para os valores da $h(x)$. Quando $\beta < 1$ a função *Hazard* diminui mais acentuada que o β decresce, já quando $\beta > 1$ a taxa aumenta conforme a função *Hazard* cresce assim como β cresce. Se $\beta = 2$ a função *Hazard* cresce linearmente (Dodson & Schwab, 1962).

3.4. Teste de Degradação

O modelo de desempenho da degradação pode reduzir drasticamente a duração dos testes e o tamanho das amostras. Duas características do teste de degradação permitem eficiência na duração dos testes e no tamanho da amostra. A

primeira característica é que o tempo de falha é previsto com um modelo de degradação ao longo do tempo (Dodson & Schwab, 1962).

Já a segunda característica é que os métodos estatísticos usam dados contínuos a partir dos parâmetros de desempenho que degradam, ao invés de binomial e estatísticas do tipo *pass-fail*. A habilidade de prever o desempenho permite que um teste seja abortado anteriormente, caso o modelo preveja que os requisitos de confiabilidade não serão alcançados, economizando recursos (Dodson & Schwab, 1962).

O teste também pode ser interrompido precocemente caso o modelo preveja um resultado satisfatório, mas extrapolar a partir de um resultado satisfatório é mais arriscado do que extrapolar a partir de uma previsão de falha.

O teste de degradação é geralmente usado para deformações metálicas, iniciação de trincas, propagação de trincas, resistência à tração, resistência à tensão, corrosão, ferrugem, alongamento, queda de tensão, resistência, entre outros. A desvantagem do teste de degradação é que um modelo é exigido para a análise. Um exemplo de modelo matemático é a Equação 16, que descreve um fenômeno que possui comportamento linear (Dodson & Schwab, 1962).

$$y = a + bx + e \quad (16)$$

Em que y é espessura do material, x é duração do teste, e é o erro no modelo. Para definir os parâmetros é utilizada as seguintes fórmulas das Equações 17 e 18 (Dodson & Schwab, 1962).

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (17)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (18)$$

Onde n é o tamanho da amostra. As Equações 19 a 23 mostram como se obtém o intervalo de confiança que contém a resposta média (Dodson & Schwab, 1962).

$$\hat{y}_0 \pm t_{\frac{\alpha}{2}} S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (19)$$

$$s = \sqrt{\frac{S_{yy} - bS_{xy}}{n-2}} \quad (20)$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n} \quad (21)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n} \quad (22)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n} \quad (23)$$

O intervalo de confiança é descrito pela Equação 24 (Dodson & Schwab, 1962).

$$\hat{y} \pm t_{\frac{\alpha}{2}} S \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{S_{xx}}} \quad (24)$$

3.5. Manutenção Preditiva

O conceito de manutenção consiste no conjunto de ações que permitem manter ou restabelecer um bem a um estado operacional específico ou, ainda assegurar um determinado serviço. A manutenção é uma atividade em que se despende bastante tempo e dinheiro, por isso surgiram ferramentas de gerência de manutenção como manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção produtiva total (TPM), manutenção centrada em confiabilidade (MCC) entre outras (Arato Junior, 2003).

A manutenção preditiva é a manutenção preventiva efetuada no momento exato, para isso são revisados os desempenhos de históricos anteriores de maneira a prever quando o componente irá falhar, através de análises estatísticas e análises de sintomas. Segundo Tavares (1987) manutenção preventiva é aquela que se conduz a intervalos pré-determinados com o objetivo de reduzir a possibilidade de o equipamento situar-se em uma condição abaixo do nível requerido de aceitação.

Tavares (1996) define a manutenção preditiva também da seguinte forma: *“entende-se por controle preditivo de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva num equipamento, ou seja, o ponto a partir*

do qual a probabilidade do equipamento falhar assume valores indesejáveis. A determinação desse ponto traz como resultado índices ideais de prevenção de falhas, tanto sob o aspecto técnico como pelo aspecto econômico, uma vez que a intervenção no equipamento não é feita durante o período que ainda está em condições de prestar o serviço, nem no período em que suas características operativas estão comprometidas”.

O desenvolvimento da manutenção preditiva envolve três fases. A primeira é a detecção do defeito, a segunda o estabelecimento de um diagnóstico e a terceira análise de tendência. Na fase de detecção é feita uma observação dos parâmetros de controle, que indicam uma evolução mais acelerada que a degradação normal do equipamento. A segunda fase é a comparação desses parâmetros com base em modelos de desgastes e informações anteriores sobre o equipamento, a origem e a gravidade dos possíveis defeitos. Na terceira fase, é feita uma previsão de quanto tempo se dispõe até a quebra, nessa fase o equipamento é acompanhado pela vigilância escrita e se faz a programação do reparo (Arato Junior, 2003).

Para monitorar os parâmetros são aplicadas algumas técnicas e procedimentos de medida, acompanhamento e análise desses parâmetros. Os mais utilizados são análise de óleo, sistemas especialistas, métodos de observação e análise de vibração.

3.5.1 Análise de Óleo

Nessa técnica, as análises efetuadas resultam em indicadores que informam sobre o desgaste dos componentes lubrificados, com isso é possível otimizar os intervalos entre as trocas de óleo e controlar os defeitos. A metodologia utilizada consiste na medida da taxa de contaminação do óleo e da análise dessa contaminação. Durante o funcionamento do equipamento as peças lubrificadas contaminam o óleo com materiais provenientes de seu desgaste, analisando as amostras e verificando a taxa de contaminação por partículas sólidas, o material e sua dimensão, é possível identificar a presença de mal funcionamento e sua origem (Arato Junior, 2003).

Considerando o lubrificante um indicador de desgaste da máquina, o estudo da evolução da concentração de partículas em suspensão, da natureza de sua constituição, de suas dimensões e de sua morfologia é um procedimento eficaz para identificar e afastar anomalias. A análise da natureza da partícula serve para identificar

sua origem, o que define qual componente se está monitorando e o estudo das dimensões das partículas identifica os desgastes. Uma classificação relativa do nível de desgaste como função distribuição das dimensões das partículas pode ser (Arato Junior, 2003):

- Desgaste normal: a distribuição granulométrica está entre 0,1 e 1,0 μm , as maiores podem atingir 100 μm .
- Desgastes avançados: começa a aumentar a concentração de partículas na faixa de 100 μm .
- Desgaste catastrófico: a maior concentração de tamanhos de partículas está entre 100 e 1000 μm , é defeito por atrito.

Outra forma de avaliar é através da análise da morfologia da partícula, que identifica o modo do desgaste conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Morfologia das partículas e modo de desgastes.

Formas das partículas	Tipo de desgaste	Importância do desgaste
Pequenas plaquetas (0,3 a 5 μm)	Desgaste de adesão	Desgaste anormal
Grandes plaquetas (5 a 150 μm)	Atrito	Desgaste perigoso
Escamas (10 μm a 1 mm)	Escamação	Desgaste perigoso
Lascas enroladas ou encurvadas	Abrasão	Grave, sobretudo se as lascas forem numerosas
Esferas plásticas	Depósito de aditivo	Ocorrência grave
Esferas metálicas pequenas (1 a 5 μm)	Fadiga dos rolamentos	Ocorrência grave
Esferas metálicas grandes (> 10 μm)	Cavitação – erosão	Ocorrência grave
Magmas, aglomerados (2 a 150 μm)	Corrosão – Oxidação	Ocorrência grave

Para análise da manutenção preditiva é necessário utilizar algumas técnicas de monitoramento, tais como a análise de resíduo sólidos dos óleos que classificam as partículas para um diagnóstico por desgaste. Uma das técnicas mais utilizadas é a ferrografia (Arato Junior, 2003).

3.5.2 Ferrografia

A ferrografia determina o grau de severidade, modos e tipos de desgastes em equipamentos por meio de identificação do acabamento superficial, coloração, natureza, e tamanho das partículas em uma amostra de óleo ou graxas lubrificantes. Há dois níveis de análise ferrográfica. Uma quantitativa, que consiste numa técnica de avaliação das condições de desgaste dos componentes de uma máquina, por meio da quantificação das partículas em suspensão no lubrificante. E outra analítica, que utiliza a observação das partículas em suspensão no lubrificante (Arato Junior, 2003).

Para realizar essa avaliação existem três técnicas: ferrografia por leitura direta, espectrometria de emissão e ferrografia analítica. A ferrografia por leitura direta extrai as partículas contaminantes que podem ser magnetizadas por meio da ação de um campo magnético. Por essa técnica as partículas ficam separadas pois quanto menores as partículas, menor a distância percorrida dentro do campo magnético e as partículas não magnetizadas ficam fixadas a distância (Arato Junior, 2003).

A espectrometria de emissão é uma técnica que utiliza a faixa e intensidade da radiação luminosa emitida pela amostra, quando submetida a uma excitação, para determinar a natureza e a concentração dos elementos. Consegue detectar todas as partículas presentes: desgaste, componentes químicos (aditivos), contaminantes. Porém apresenta baixa sensibilidade na detecção de partículas superiores a 2 *microns* e não distingue partículas quanto ao tamanho e quanto à forma (Arato Junior, 2003).

Na técnica ferrografia analítica é feito um ferrograma, que consiste em distribuir os contaminantes, em função de seus tamanhos, em uma chapa de vidro e realizando a análise por meio de uma microscopia óptica. A Figura 6 (A) mostra um esquemático de como é realizado o ferrograma e (B) mostra a diferença de tamanho vista com a ajuda de um microscópio.



Fig. 6. Processo do ferrograma analítico (A), imagem microscópica de um ferrograma (B).

3.6 Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC

A manutenção centrada em confiabilidade (MCC) de acordo com (Moubray,1992) é “*um processo usado para determinar as necessidades de manutenção de qualquer ativo físico no seu contexto operacional*” ou “*seleção das técnicas mais apropriadas, tratar cada tipo de falha, atender as expectativas de donos, usuários dos ativos e a sociedade em geral, buscar o melhor custo-benefício e modelo, obter cooperação e participação ativa de todo pessoal envolvido*” A manutenção centrada em confiabilidade surge com a evolução da própria manutenção, conforme mostrado na Figura 7.

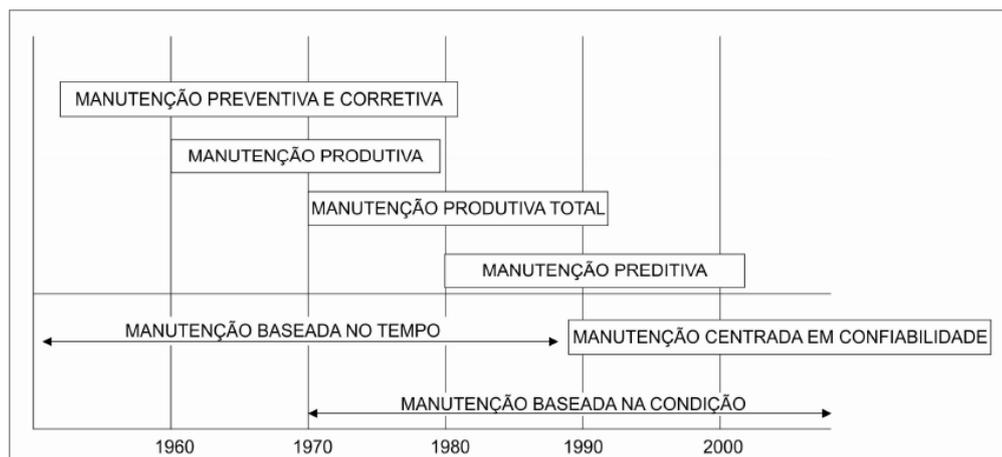


Fig. 7. Evolução da manutenção (Fonte: Lafraia, 2001).

O objetivo da MCC é garantir que os equipamentos continuem a desempenhar as funções que seus usuários necessitam que eles realizem. Além disso, é importante conhecer a metodologia TPM (Manutenção Produtiva Total), do inglês “*Total Productive Management*” que é um sistema de gestão abrangente, que busca a

eliminação constante de todas as perdas existentes nos setores produtivos e administrativo da empresa (Pinto e Xavier, 2007). A implementação da TPM é baseada em três pilares principais:

- Primeiro pilar: é a incorporação de melhorias específicas nos equipamentos, obtendo a plena utilização dos meios de produção, através da eliminação criteriosa das perdas.
- Segundo pilar: estruturação da manutenção autônoma que está focada no desenvolvimento das habilidades dos operadores, capacitando os operadores na execução das tarefas, fazendo com que eles tenham o completo conhecimento sobre os equipamentos que operam.
- Terceiro pilar: estruturação da manutenção planejada que implementa uma sistemática de manutenção mais efetiva, eliminando as perdas devido as falhas, retrabalhos de manutenção, falhas de operações, e pequenas paradas.

O terceiro pilar estrutura-se ainda em 6 outras etapas:

- 1º Etapa: avaliação dos equipamentos e levantamento da situação atual.
- 2º Etapa: restauração das deteriorações e melhoria dos pontos deficientes.
- 3º Etapa: estruturação do controle de informações de dados.
- 4º Etapa: estruturação da manutenção preventiva.
- 5º Etapa: estruturação da manutenção preditiva.
- 6º Etapa: avaliação da manutenção planejada.

Para encontrar a melhor resposta para o tipo de manutenção, surgiu o procedimento MCC que auxilia o refinamento deste pilar. Várias ferramentas podem ser utilizadas para quantificar custos importantes e números de falhas, e posteriormente, para resolver de modo eficaz, tais como FMEA (Análise do Modo e Efeito de Falhas), RCFA (Análise das Causas Raízes da Falha) e MASP (Método de Análise e Poluição de Problemas). A MCC procura responder as sete questões (Pinto e Xavier, 2007):

1. “Qual é o desempenho esperado nesta função? ”
2. “Quais são as prováveis falhas que podem acontecer? ”
3. “Qual é a causa de cada falha que pode acontecer? ”
4. “Qual a consequência de cada falha? ”
5. “O que pode ser feito para prevenir/eliminar cada causa? ”
6. “O que pode ser feito, se não encontrar uma tarefa preventiva adequada? Re projetar? ”
7. Conviver amenizando as consequências? ”.

A MCC aprimora o desempenho operacional, ajuda a adotar os tipos mais eficazes de manutenção para cada máquina, em cada situação, melhora a relação *custo x benefício*, aumenta a vida útil dos equipamentos através da realização de manutenções preditivas, possibilita a obtenção de um banco de dados de defeitos, prováveis causas, ações, e também adequação dos itens a serem mantidos em estoque e seus níveis de re-suprimento (Pinto e Xavier, 2007).

Para projetos, os benefícios de usar esta ferramenta é a redução da complexidade do projeto, redundância para assegurar tolerância a falha, eliminação dos fatores de tensão, teste de qualidade e revisão do projeto e análises de falhas. E em termos aplicação na produção, ajuda no controle de materiais, métodos e alterações, controle de métodos de trabalho e especificações (Pinto e Xavier, 2007).

Tabela 3. Características da manutenção tradicional e do MCC.

Característica	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Consequência das falhas
Normalização	Não	Não
Priorização	Inexistente	Por função

4. NORMAS

Neste capítulo são apresentadas as normas de referência para o teste de durabilidade. As especificações técnicas que os caminhões em teste devem obedecer, bem como os níveis de emissões de gases poluentes aceitáveis e os métodos de cálculo para o consumo de combustível.

Conforme o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), caminhões são “*veículos automotores destinados ao transporte de carga, com PBT (peso bruto total) acima de 3.500 kg, podendo tracionar ou arrastar outros veículos desde que tenham capacidade máxima de tração compatível, que transporte carga superior a 1.500 kg*”. É necessário apresentar os documentos que comprovem o cumprimento da legislação dos seguintes itens: extintor de incêndio, tacógrafo e pneus. O caminhão ainda deve apresentar comprovante de conformidade com a legislação ambiental específica emitida pelo IBAMA.

De acordo com a Portaria nº 190/2009, para a homologação de caminhões é necessário realizar três níveis de controle. No primeiro nível, são avaliados os itens: flamabilidade de materiais, localização/identificação/iluminação dos controles; buzina, triângulo de segurança, trava do capuz, placa de licença e lacre, o VIN (*Vehicle Identification Number* ou Número de Identificação do Veículo) e número identificação carroceria. No segundo nível, avalia-se os espelhos retrovisores internos e externos, sistema de freios, vidros de segurança e para-choque traseiro. No terceiro, são avaliados itens relacionados à segurança passiva do veículo, como ancoragem dos cintos de segurança e os próprios cintos de segurança.

Para que qualquer veículo possa circular no território nacional, é necessário se submeter a uma vistoria e cumprir certas exigências para cada tipo de veículo. O órgão responsável por realizar vistorias em veículos é o DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito, utilizando-se da Portaria N°190/2009 que estabelece os procedimentos para a concessão do código de marca/modelo/versão de veículos no

Registro Nacional de Veículos Automotores RENAVAL. Além disso, essa portaria determina a emissão do Certificado de Adequação à Legislação de Trânsito – CAT.

O inciso §4, inc. IV, define que durante o processo de concessão do código de marca/modelo/versão, o DENATRAN poderá, ainda, solicitar aos fabricantes, importadores, encarregadores e transformadores de veículos, esclarecimentos ou testes adicionais que comprovem o atendimento à legislação vigente. No Art. 9º, após a concessão do código de marca/modelo/versão, o DENATRAN poderá requisitar uma amostra dos lotes de veículos e ou componentes, nacionais ou importados, a serem comercializados no país, para fins de comprovação do atendimento às exigências de identificação e segurança veicular, mediante a realização de avaliações, executadas de acordo com a legislação vigente.

4.1. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - NBR)

As normas utilizadas nos testes do caminhão da montadora em questão, são de caráter interno e em virtude disso não podem ser divulgadas. Todavia, o protótipo teve de obedecer aos padrões estabelecidos pelas normas brasileiras de emissões de gases, de consumo de combustível e desgaste dos pneus. A norma regulamentadora para emissões de gases de escape é a ABNT NBR 6601. A NBR 7024 padroniza o método de cálculo do consumo de combustível. Já a resolução nº 558/80, art 4º, do CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito trata sobre o desgaste de pneus.

4.1.1. NBR 6601 – Veículos rodoviários automotores leves: Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento.

Esta norma especifica um método para a determinação de hidrocarbonetos totais (THC) e não metano (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio (NO_x), dióxido de carbono (CO₂) e materiais particulados emitidos pelo motor através do tubo de descarga de veículos rodoviários automotores leves. O sistema deve ser do tipo amostrador, de volume constante (AVC) e deve permitir a medição das massas reais das substâncias emitidas pelo motor, através do tubo de descarga do veículo.

O sistema de amostragem AVC-VC funciona segundo os princípios da dinâmica dos fluidos associados ao escoamento crítico. Neste tipo de sistema, o fluxo total de gás diluído é mantido em velocidade sônica, a qual é proporcional à raiz quadrada da temperatura absoluta do gás, computada continuamente. Como a pressão e a temperatura são as mesmas para as entradas dos respectivos *venturis*, o volume da amostra é proporcional ao volume total da mistura.

A análise do nível de emissões dos gases de escape ocorre em três fases: a primeira fase ou fase fria, inclui a partida com o motor frio e tem duração de 505 segundos em um percurso de 5,7 km. Na segunda fase do ensaio ou fase estabilizada, a duração é de 866 segundos de análise, com percurso de 6,2 km. Entre a segunda e a terceira fase existe uma parada denominada “soak”, em que o veículo em teste fica desligado por 10 minutos, neste período não é feita amostragem de gás. Na terceira fase ou fase quente, a partida é realizada com o motor aquecido e durante 505 segundos com um percurso de 5,7 km é realizada a análise como na primeira fase. A Figura 8 apresenta as fases dos testes.

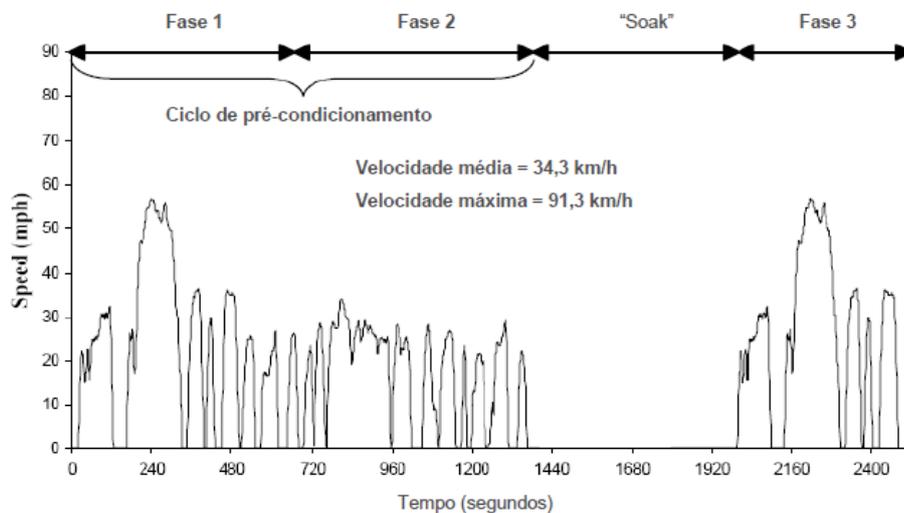


Fig. 8. Fases dos testes (Fonte: NBR 6601).

O cálculo da emissão de escapamento, de acordo com a NBR 6601, é realizado obtendo a massa emitida do gás “ g ” em cada fase, com volume total emitido V_{mix} , densidade do gás “ dg ”, e concentração “ Cg ” como pode ser observado nas Equações 25 e 26.

$$Mg = V_{Mix} * dg * \left(\frac{Cg}{1*10^6} \right) * K \quad (25)$$

$$C_g = Cd - Ca * \left(1 - \frac{1}{DF}\right) \quad (26)$$

Em que K é uma função da pressão barométrica, umidade relativa e temperatura. Somente para o caso NO_x, Cd é a concentração do gás diluído, Ca é a concentração do ar de diluição, e DF é o fator de diluição. O fator de diluição será calculado através da Equação 27 e a massa total Mt do gás “ g ” na Equação 28. Onde 1,2 e 3 representam as fases 1,2 e 3 respectivamente, e D é a distância percorrida em cada fase do ensaio.

$$DF = \frac{13.4}{[CO_{2d} + (HC_d + CO_d) * 10^{-4}]} \quad (27)$$

$$Mt_g = 0.43 * \frac{M_1 + M_2}{D_1 + D_2} + 0.57 * \frac{M_3 + M_2}{D_3 + D_2} \quad (28)$$

4.1.2 NBR 7024 – Veículos rodoviários automotores leves: Medição do consumo de combustível.

Como padrão de medição do consumo de combustível, utiliza-se como referência a norma NBR 7024 que estabelece a maneira como os ensaios urbanos e rodoviários, devem ocorrer. No percurso urbano ou na cidade, os ensaios seguem os mesmos procedimentos descrito no ensaio de emissões acima. Já para a estrada ou percurso rodoviário, o teste é dividido em dois ciclos: ciclo de aquecimento e o ciclo de teste, respeitando velocidades média e máxima conforme a Figura 9.

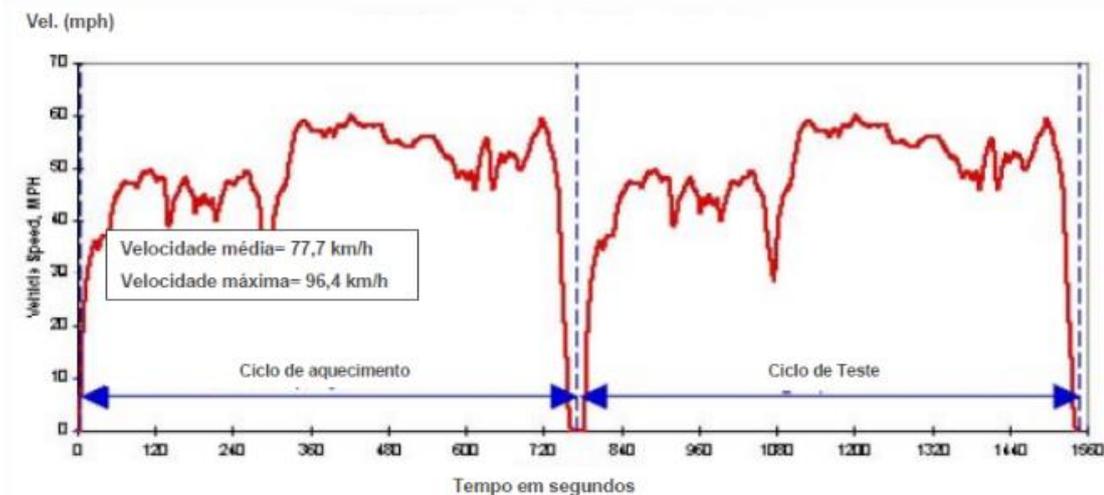


Fig. 9. Ciclo de condução para ensaio de consumo rodoviário, conforme NBR 7024.

São definidos três métodos para realizar o cálculo do consumo de combustível. O método volumétrico, método gravimétrico, método por balanço de carbono. Nesse trabalho, optou-se por utilizar somente o método volumétrico, em que é feita uma medição direta do volume de combustível consumido durante o ciclo de condução. O método gravimétrico é calculado a partir da medição direta da massa de combustível consumida durante o ciclo de condução. Já o método por balanço de carbono é calculado a partir das massas de HC, CO e CO₂ emitidas pelo veículo durante o ciclo de condução.

4.1.3 Resolução nº 558/80 (art. 4º) do CONTRAN

Conforme esta resolução “*fica proibida a circulação de veículos automotores equipado com pneu cujo desgaste da banda de rodagem tenha atingido os indicadores TWI (Tread Wear Indicators) ou cuja a profundidade remanescente da banda de rodagem seja inferior a 1,6 mm*”. Quanto menor for a profundidade restante dos sulcos, os riscos de acidentes serão maiores, pois reduz a aderência em piso molhado.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados detalhadamente os procedimentos de realização do teste de durabilidade do caminhão da montadora. São apresentadas as rotas e as atividades requeridas para cada tipo de percurso, a carga utilizada e como os dados foram coletados.

5.1. O Teste de Durabilidade

Dadas as condições de desenvolvimento tecnológico e financeiro que a montadora almeja alcançar, fomentado principalmente pelo programa de incentivo do governo federal, o Inovar Auto, a estratégia da companhia foi de nacionalizar diversos componentes do caminhão. Para isso, tornou-se necessário selecionar dentre diversos fornecedores aqueles que atendam as especificações técnicas, mantendo a mesma qualidade e durabilidade dos componentes anteriormente importados.

Os testes de durabilidade, portanto, tornam-se elementos fundamentais no estudo do desempenho dos componentes mecânicos com o intuito de auxiliar a tomada de decisão na seleção de fornecedores. Baseados nas normas internas da montadora bem como na legislação brasileira apresentada no capítulo anterior.

5.2. A Equipe de Trabalho

A equipe de trabalho foi constituída por profissionais já experientes da montadora. Foram selecionados nove motoristas, para conduzirem o protótipo nos percursos exigidos pelas normas e dois mecânicos para suporte técnico. A jornada de trabalho foi determinada em dois turnos de 8 horas cada, para maximizar a rodagem dos protótipos e alcançar as metas de realização de teste.

5.3. Os Caminhões (Protótipos)

Para a realização dos testes foram utilizados quatro caminhões protótipos “P004, P005, P006, P007”, categoria leve, com capacidade de carga de 8.000 kg quilos. Os caminhões pertencem a montadora, e diferentemente do modelo de caminhão anteriormente comercializado, nestes protótipos foi utilizado motor nacional. Outros componentes substituídos por componentes nacionais foram: o sistema de freios (pneumático), bateria e pneus. O motor, freios e bateria foram selecionados de fornecedores pré-definidos; já para os pneus, foi selecionado mais de um fornecedor nacional com o intuito de ter uma maior variabilidade de opções.

5.4. Combustíveis utilizados no Testes

Com o objetivo de avaliar o desgaste dos componentes dos motores dos protótipos, foram utilizados dois tipos de combustível e posteriormente verificadas as quantidades de resíduos gerados na exaustão. Três caminhões percorreram suas rotas com o combustível Diesel S10, o mais utilizado, com o melhor rendimento e menor emissão de poluentes. Em um dos caminhões foi utilizado o Diesel S500, um combustível de qualidade inferior e com alto nível de emissão de poluentes, o que provoca um desgaste acelerado dos componentes do motor. Com isso, foi possível analisar os desgastes sofridos pelos motores.

O Diesel S10 que possui teor máximo de enxofre de 10mg/Kg , de acordo com as especificações do fornecedor (Petrobrás), é um combustível que tem a capacidade de redução de poluentes de até 80% de emissões de material particulado. Esse combustível melhora a partida a frio e reduz a emissão de fumaças brancas. Diminui a formação de depósitos no motor e contaminantes no lubrificante. Por outro lado, o Diesel S500 é um combustível que possui 500 PPM (partículas por milhão) de teor de enxofre, enquanto o S10 possui somente 10 PPM , o que favorece um maior desgaste dos componentes do motor e provoca maior poluição da atmosfera.

5.5. Cargas de Teste

Inicialmente, foi determinado pelos engenheiros da equipe de trabalho, que a carga necessária para atender aos parâmetros de teste seria alcançada utilizando-se

nas carrocerias dos caminhões, galões com água (com capacidade para 200 L) totalizando 3.000 kg como mostrado na Figura 11 (A). Entretanto, durante a realização dos testes foi constatado que a carga se apresentava muito instável, causando insegurança durante o percurso das rotas, devido a sua excessiva movimentação. Diante disso, optou-se por substituir a carga de galões por aço prensado fornecido pelo depto. de reciclagem da própria empresa, conforme mostra a Figura 10 (B). A nova carga foi inserida até atingir a o peso necessário de 3.000 kg, totalizando com a massa do próprio caminhão, aproximadamente 8.000 kg.



Fig. 10. A) Carga composta por galões de água. B) Carga de sucata de aço prensado.

Após a padronização da carga a ser utilizada, para fixação da mesma na carroceria, foi utilizada uma cinta e catraca conforme a Figura 11 (A); a fim garantir seu posicionamento, evitando movimentações excessivas em curvas ou frenagens durante o percurso das rotas (garantindo a estabilidade). Em seguida, a carga foi coberta por lona como mostra a Figura 11 (B), para impedir que alguma parte do aço prensado, que porventura se soltasse, fosse projetado durante o percurso e causasse qualquer tipo de acidente.



Fig. 11. A) Catraca e cinta. B) Lona.

5.6. Rotas dos Testes

As rotas de percurso, determinadas para os testes, foram de fundamental importância para os estudos com os protótipos; pois possibilitaram simular de maneira verossímil as possíveis condições a serem enfrentadas pelos caminhões que serão desenvolvidos. Os testes foram realizados na cidade de Anápolis e suas proximidades, incluindo parte da BR-060. Foram elaboradas quatro diferentes rotas para que os caminhões fossem testados.

O teste foi programado para atingir o total de 65 mil quilômetros de rodagem, os quais foram divididos conforme mostra a Tabela 4, onde *HW* corresponde a rota *Highway*, *HU* corresponde a rota *Heavy Urban*, *EU* a rota *Extra Urban* e *DD* a rota *Door to Door* e a letra “*c*” diferencia se a rota foi realizada com carga. Os protótipos percorreram metade do tempo dos testes carregados e na outra metade, descarregados.

Tabela 4. Esquemático das rotas percorridas pelos caminhões.

Veículo	10k km	15k km	20k km	25k km	30k km	35k km	45k km	55k km	60k km	65k km
Protótipo	HW' c	HU' c	HW' c	HU' c	EU' c	DD' c	HW	EU	HU	DD

5.6.1. Rota *Highway*

Essa rota foi elaborada com o objetivo de simular viagens e percursos longos, em que o caminhão teria de atingir velocidades razoavelmente altas e durante um longo período. Durante a rodagem neste tipo de rota, foi possível observar o comportamento do motor em alta rotação, dos freios e do conjunto de suspensão. A rota *highway* ou rota rodoviária foi desenvolvida na rodovia BR-060, com velocidade máxima de 90 km/h. Cada caminhão percorria cerca de 120 km em cada percurso parcial, totalizando mais de 1.000 km por dia de teste.

5.6.2. Rota *Extra Urban*

Esta rota foi elaborada com o objetivo de observar o comportamento dos caminhões em vias urbanas, em que os mesmos desenvolveriam velocidades menores que na rota *highway* e incluindo momentos de paradas (semáforo, trânsito,

etc). Esta rota foi percorrida principalmente na Av. Brasil e em parte no centro da cidade de Anápolis, mantendo em média a velocidade de *50 km/h*. A rota *extra urban* foi desenvolvida em vias cujas velocidades máximas eram de *60 km/h*. No total, os protótipos percorreram cerca de *630 km* por dia nesta rota, com percursos parciais de *80 km*.

5.6.3. Rota *Heavy Urban*

Nesta rota, o objetivo foi simular o comportamento do caminhão quando dentro da cidade. A maior parte do percurso desta rota foi desenvolvido no centro da cidade de Anápolis, como ilustrado na Figura X, com momentos de parada devido a fatores urbanos (semáforo, trânsito congestionado). Os sistemas de transmissão e freios foram bastante exigidos nesta rota. Os protótipos mantiveram em média uma velocidade de *17 km/h*. Os percursos parciais eram *66 km*, resultando em *450 km/dia*.

5.6.4. Rota *Door to Door*

Nesta rota, o objetivo foi simular os serviços de frete e entregas de mercadoria. Esta rota foi desenvolvida na marginal da Av. Brasil na cidade de Anápolis. O percurso da rota obedeceu a algumas regras: o caminhão teve de andar até completar 5 minutos de percurso (independente do tamanho do percurso), e posteriormente parar por 3 minutos. Com velocidade média de *17 km/h*, nesta rota os protótipos percorriam de *300 a 350 km* por dia.

5.7. Dados Coletados nos Testes

5.7.1. Dados do Motor

A ECU (*Engine Control Unit*) é a unidade de controle do motor que comanda todo o seu funcionamento e além disso, identifica e registra em sua memória interna, possíveis falhas (BOSCH, 2005). Como forma de adquirir dados precisos para os estudos de desenvolvimento do novo caminhão da montadora, foi necessário verificar com detalhes o funcionamento do motor em teste e por isso a aquisição foi feita

utilizando-se os dados das ECUs dos protótipos. A Figura 12 mostra a ECU utilizada nos caminhões de teste.



Figura 12. Unidade de Controle do Motor (ECU) dos caminhões de teste. (Fonte: Internet).

A coleta dos dados foi realizada pelos próprios mecânicos da equipe, que realizavam essa atividade duas vezes ao dia. Para a aquisição dos dados da ECU, foi utilizado um dispositivo eletrônico do fabricante *Samtec*, ilustrado na Figura 13. Este dispositivo funciona como um *scanner* que lê os dados da memória das ECUs dos caminhões.



Fig. 13. Dispositivo para leitura da ECU, *Samtec*. (Fonte: *site* do fabricante).

Através deste dispositivo é possível identificar possíveis registros de falhas dos protótipos em suas ECUs. São verificados os parâmetros de temperatura, pressão do combustível, consumo de combustível em marcha lenta, massa de ar por cilindro, entre outros dados.

5.7.2. Dados de Emissões de Gases

Para medir a quantidade de material particulado residual da exaustão do motor, é utilizado o dispositivo DPF (*Diesel Particulate Filter*). O DPF acumula as partículas

tóxicas em filtros (ilustrados na Figura 14), evitando que elas sejam liberadas na atmosfera. Depois que certa quantidade de partículas é acumulada, o sensor do DPF envia uma informação para a ECU e a partir daí, é dado o comando para realizar o processo de “regeneração”. Neste processo, é injetado diesel proveniente da combustão do motor no DPF, para queimar o resíduo de partículas e gases poluidores acumulados nos filtros, tornando-os mais propícios de serem liberados na atmosfera.

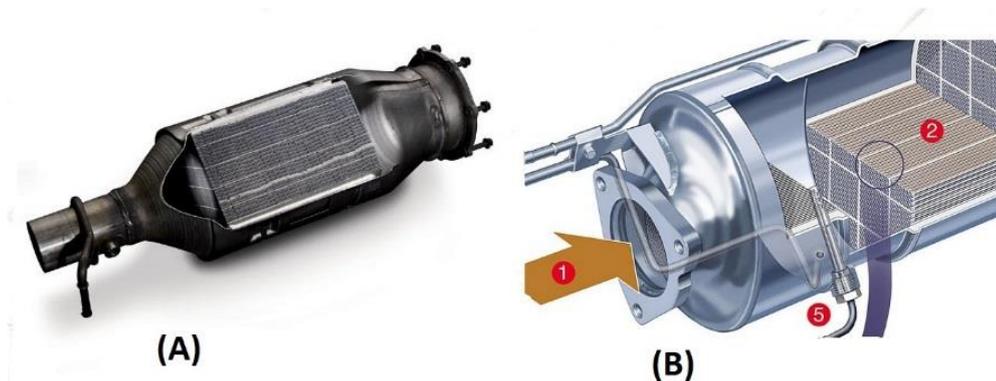


Figura 14. A) Dispositivo DPF; B) Detalhamento dos filtros de partículas do DPF.

(Fonte: internet).

O procedimento de coleta de dados do DPF, era realizado semanalmente após a rodagem de um dos caminhões, o protótipo P5. Com o caminhão ainda quente, o dispositivo era retirado e colocado em uma bancada de testes. Utilizando uma balança digital a massa era medida, e com um termômetro a temperatura era aferida. Tendo os dados de massa e temperatura do DPF, é possível analisar a quantidade de partículas expelidas pelos gases de exaustão.

5.7.3. Dados do Óleo do Motor

As análises de óleo foram de fundamental importância no processo de ajuste do motor. Os testes iniciaram com o nível de óleo nos motores em sua graduação máxima e conforme os protótipos percorriam as rotas, este nível era acompanhado até ficar abaixo do mínimo. Ao atingir este nível, foi realizada uma medição da vareta de óleo, com o auxílio de um paquímetro e o valor foi registrado. Em seguida, foram inseridos aproximadamente *500 ml* de óleo no motor, para que o nível do mesmo ficasse acima da graduação mínima. Posteriormente uma nova medição da vareta foi

realizada e registrada. Diariamente foi feito o acompanhamento do nível de óleo através da medição da vareta.

Para auxiliar nas análises de óleo do motor, foi utilizado em um dos caminhões o dispositivo *ES715* do fabricante ETAS, conforme mostra a Figura 15. Este dispositivo é capaz de analisar o funcionamento do motor, mostrando parâmetros de injeção e combustão, bem como verificação do óleo. Esses dados foram coletados duas vezes por dia, ao final de cada turno de trabalho.



Fig. 15. Dispositivo ES715, do fabricante ETAS. (Fonte: *site* do fabricante).

As trocas de óleo do motor eram realizadas periodicamente conforme recomendação do fabricante. A primeira troca de óleo foi realizada após os protótipos percorrerem *10.000 km* e as demais trocas com *20.000 km*. Antes e após cada troca de óleo do motor, eram realizadas análises de suas condições através do *ES715* e também eram coletados dados da ECU. Além disso, eram retiradas amostras do óleo, antes e depois destas trocas. Foram coletadas também amostras adicionais de óleo, estas a cada *5.000 km* rodados e foram enviadas ao laboratório do fornecedor do motor para serem analisadas.

5.7.4. Dados dos Pneus

Os pneus foram um dos componentes avaliados nos testes de durabilidade, com o objetivo de selecionar o fornecedor para o caminhão em desenvolvimento da montadora. Foram escolhidos três modelos de pneus de fabricantes diferentes, conforme mostra a Figura 16.

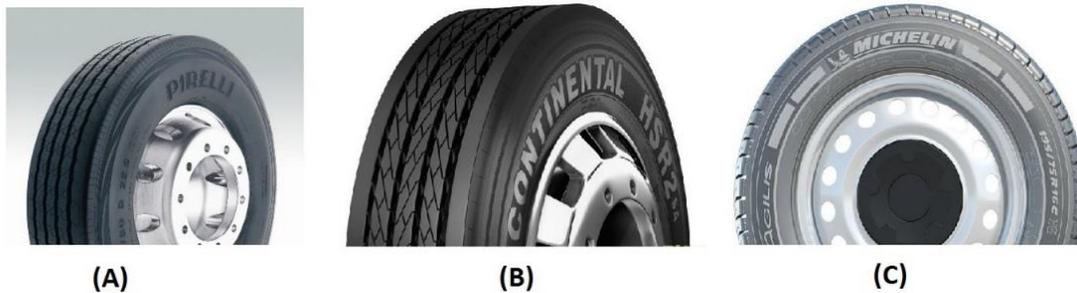


Fig. 16: A) Pneu do fabricante Pirelli, B) Pneu do fabricante Continental e C) Pneu do fabricante Michelin. (Fonte: Internet).

A avaliação do desgaste dos pneus é bastante minuciosa. Em cada pneu foram realizadas medições, utilizando um paquímetro, dos sulcos a medida que os protótipos alcançavam 10.000 *km* rodados. Os sulcos são os entalhes de drenagem na banda de rodagem dos pneus, que favorecem a passagem de água, evitando o processo de aquaplanagem.

O procedimento de medição dos sulcos é realizado da seguinte maneira: com o paquímetro na mão direita, mede-se a partir do ponto 1 (localizado paralelo ao *DOT* do pneu) utilizando o sulco mais externo como referência, sendo este denominado “sulco 1”. A partir da determinação do “sulco 1”, os demais pontos estarão localizados a 90° do *DOT* conforme ilustrado na Figura 17. Para cada ponto escolhido, foram medidos todos os sulcos paralelos a este ponto.

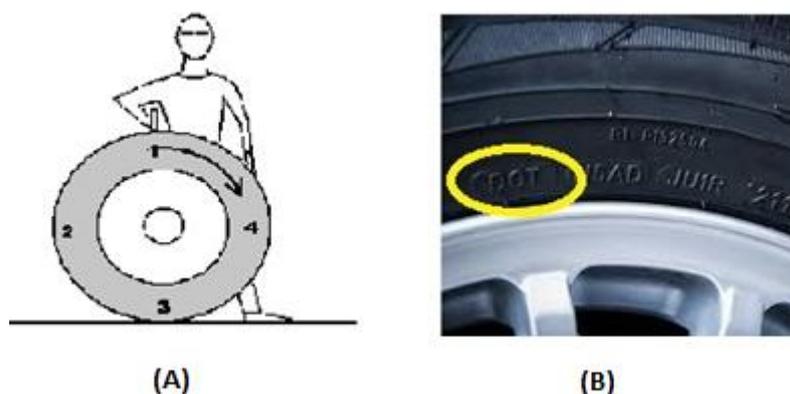


Fig. 17. A) Procedimento de medição e B) DOT do pneu.

Há duas formas de análise do desgaste da banda de rodagem dos pneus, uma delas é utilizando como referência o indicador *TWI* (*Tread Wear Indicator*). O *TWI* é um filete de borracha disposto transversalmente aos sulcos em alguns pontos da

banda de rodagem. Outra forma de verificação é através da medição da degradação dos sulcos dos pneus. Pode ser utilizada como referência para este tipo de análise a especificação da resolução nº 558/80 (art. 4º) que define “os sulcos não devem ter profundidade restante inferior a 1,6 mm”. A montadora optou pelo método de análise de altura dos sulcos, utilizando o teste de degradação e fixando limite de altura mínimo para os sulcos de 1,6 mm.

5.7.5. Dados da Bateria

A bateria também foi um dos itens avaliados nos testes de durabilidade. Os fornecedores de bateria selecionados foram a *Moura* e *Heliar* (Figura 18). Metade dos protótipos foram equipados com baterias *Moura* e a outra metade com *Heliar*. A cada 10.000 km a tensão das mesmas eram checadadas. Foi utilizado um multímetro para medir a tensão nos polos da bateria.

Para garantir o nível de recarga da bateria, a mesma foi avaliada em duas condições: primeiramente foi medida a tensão em seus polos com o caminhão em marcha lenta e com todos os consumidores acionados (faróis, ar condicionado, etc). Na segunda condição de medição, o caminhão deveria estar acelerado com rotação por volta de 3000 rpm e com os consumidores desligados. Para ser considerada conforme, a tensão da bateria deve permanecer entre 13,50 V e 14,50V, em ambas condições de análise.



Fig. 18. A) Bateria Moura e B) Bateria Heliar.

Com os dados coletados nos testes, através da metodologia estatística Teste de Degradação, será possível realizar uma projeção da vida útil deste componente, em que a tensão medida nos polos deve sempre estar acima do limite mínimo de 12,50 V. Esta tensão mínima é requerida para garantir o correto funcionamento dos componentes dos caminhões.

6. Cronograma de Atividades

Atividades	Tempo para a execução das atividades							
	1° semestre 2016				2° semestre 2016			
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Coletas de dados	■	■						
2. Cálculos e análises dos Pneus			■					
3. Cálculos e análises das Baterias				■				
4. Cálculos e análises do óleo					■	■		
5. Resultados (Definição dos fornecedores)							■	
6. Discussão dos resultados							■	■
7. Conclusão								■
8. Sugestões de trabalhos futuros								■

Os dois primeiros meses serão dedicados a coleta dos dados do caminhão, dados referentes aos pneus, baterias e motores testados. Com todos os dados em mãos será possível, utilizando as ferramentas estatísticas apresentadas, realizar as análises para cada componente e resultando em seus fornecedores. O TCC 2 será entregue no final do segundo semestre de 2016.

7. Referências

Anuário da indústria Automotiva Brasileira – ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores, 2015.

ARATO, Junior, Adyles Manutenção Preditiva - Usando Análises de Vibrações, Editora Manole, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6601: Veículos rodoviários automotores leves – Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7024: Veículos rodoviários automotores leves: Medição do consumo de combustível, 2010.

BOSCH, R. Manual de Tecnologia Automotiva. 25ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2005.

Decreto nº 7.819, de 3 de Outubro de 2012 Regulamentos do programa de incentivo do à Inovação Tecnológica e Adesamento da Cadeia Produtiva de Veículo Automotores – Inovar Auto.

Dodson, Bryan. Schwab, Harry. 1962. *Accelerated Testing: A Practitioner's Guide to Accelerated And Reliability Testing*, Ed. SAE International, 1962.

LAFRAIA, J.R, Ricardo. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. São Paulo, Ed. Qualitymark, 2001.

LEES, F. P. *Loss prevention in the process industries*. 1ª Edição. Rev. Atual. London, UK: Butterworth-Heinemann, 1991.

PINTO, Alan Kardec e XAVIER, Júlio Nascif. Manutenção: função estratégica. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark. 2007.

MOUBRAY, J., 1992, Reliability Centered Manntenance, 2ª Edição, Industrial Press Inc.

Resolução nº 558/80, art. 4º, do Código de Trânsito Brasileiro (CTB).

TAVARES, L. A. Controle de manutenção por computador. Rio de Janeiro: Ed. Técnica, 1987.