

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

EVERSON BUCH

**IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE PARA VEÍCULOS PESADOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2019

EVERSON BUCH

**IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA
EM CONFIABILIDADE PARA VEÍCULOS PESADOS**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Rigoni.

CURITIBA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



FOLHA DE APROVAÇÃO TERMO DE APROVAÇÃO

IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA VEÍCULOS PESADOS

por

EVERSON BUCH

Esta monografia foi apresentada em 04 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Wanderson Stael Paris, MSc.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Trabalho dedicado à minha esposa Camila, que me inspira com seu esforço e dedicação, e incentiva meu crescimento pessoal e profissional mesmo quando aparentemente não temos mais forças para prosseguir.

AGRADECIMENTOS

Após um longo período de alegrias e frustrações, finalizo mais esta etapa do meu desenvolvimento pessoal e, como nada na vida se faz sem contar com o apoio e colaboração de outros, dedico algumas palavras para agradecer àqueles que de alguma forma estiveram envolvidos durante todo este tempo.

Primeiramente à Deus, criador de toda ciência e fonte de toda sabedoria, que permitiu que eu chegasse até aqui e me agraciou com os talentos necessários para esta conquista.

Aos meus pais, que com amor e muito esforço me propiciaram a educação necessária para entender o mundo e buscar meus objetivos e ideais.

À minha esposa Camila, pela qual tenho imensa admiração por sua dedicação, esforço e responsabilidade e que sempre esteve ao meu lado durante esta caminhada.

Finalmente ao coordenador Dr. Emerson Rigoni, por ter tamanha dedicação na área da Engenharia de Confiabilidade, permitindo o desenvolvimento desta área tão importante para a melhoria de diversos setores que movimentam a economia do país.

Fica aqui o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

BUCH, Everson. **IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA VEÍCULOS PESADOS**. 2019. 130. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A necessidade de mobilidade para proporcionar um ensino de qualidade em municípios distantes dos grandes centros urbanos exige uma estrutura robusta de carretas adaptadas como Unidades Móveis e caminhões dedicados a transportar estas carretas por todo o estado. Os custos envolvidos neste processo logístico precisam ser reduzidos e a estrutura otimizada para ofertar os cursos com valores atrativos ao cliente. Para reduzir estes custos o primeiro ponto é ter uma equipe reduzida e altamente eficiente, bem como uma quantidade mínima de caminhões utilizados na movimentação das carretas, não sendo possível ter *backups* em caso de falha. Aliado a isto, também é necessário considerar as condições das estradas e rodovias do estado, que interferem diretamente na degradação dos veículos. As falhas nos veículos e as manutenções não programadas geram atrasos e cancelamentos de cursos, que por sua vez impactam na satisfação do cliente e na credibilidade da instituição. Neste contexto, o presente trabalho utiliza a norma SAE JA1011 (1999) para criar uma estrutura mínima necessária à implantação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade na área de ações móveis da empresa, com o objetivo de reduzir as manutenções não planejadas, bem como aumentar a confiabilidade dos sistemas, reduzindo os riscos para a operação. As análises e os resultados obtidos, e aqui demonstrados, comprovam que é possível aplicar as ferramentas da MCC sem adicionar custos que tornem a implantação inviável economicamente, uma vez que a norma não exige ferramentas específicas e direciona a forma de realizar a análise dos sistemas, bem como conduzir a criação de uma política de gerenciamento das falhas. Ainda que não totalmente implantado o sistema, é possível se obter vantagens com a adequação da estrutura e a padronização das atividades de manutenção seguindo as etapas descritas na norma.

Palavras-chaves: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Confiabilidade. Manutenção. JA1011. Caminhões.

ABSTRACT

BUCH, Everson. **IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE PARA VEÍCULOS PESADOS**. 2019. 130. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The need for mobility to provide education with quality in cities far from large urban centers requires a robust structure of adapted trailers such as Mobile Units and dedicated trucks to transport these trailers throughout the state. These logistics process costs need to be reduced and the structure optimized to offer courses with attractive price to customers. In order to reduce costs, the first point is having a reduced and highly efficient team, as well as a minimum number of trucks used to move the trailers, not being possible to have backups in case of failure. Allied to this, it's also necessary to consider the conditions of the state's roads and highways, which interfere directly in vehicles degradation. Vehicle failures and unscheduled maintenance lead to delays and courses cancellations, which in turn impact customer satisfaction and the institution's credibility. In this context, this academic work uses the SAE JA1011 (1999) standard to create a minimum structure necessary for a Reliability Centered Maintenance program implementation in the company's mobile actions area, in order to reduce unplanned maintenance and increase the reliability of systems, reducing risks to operation. The analysis and results obtained demonstrate that it is possible to apply MCC tools without adding costs, which could make it economically unviable, as the standard does not require specific tools and points out how to perform systems analysis and to lead to the creation of a failure management policy. Although the system is not yet fully implemented, it is possible to obtain advantages with the adequacy of the structure and the standardization of maintenance activities following the steps described in the standard.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. Reliability. Maintenance. JA1011. Trucks

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 – PDF frota de caminhões	60
Gráfico 4.2 – Aderência do modelo para frota de caminhões.....	61
Gráfico 4.3 – Função $R(t)$ da frota de caminhões.....	62
Gráfico 4.4 – Função $\lambda(t)$ da frota de caminhões	62
Gráfico 4.5 – Aderência do modelo para frota de unidades móveis	65
Gráfico 4.6 – PDF frota de unidades móveis.....	65
Gráfico 4.7 – Função $R(t)$ da frota de unidades móveis	66
Gráfico 4.8 – Função $\lambda(t)$ da frota de unidades móveis.....	66
Gráfico 4.9 – Pareto da quantidade de falhas x subsistema	69
Gráfico 4.10 – Pareto da quantidade de falhas x subsistema (sem trocas de lâmpadas)	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Veículos de Ações Móveis	25
Quadro 4.1 – Confiabilidade atual da frota de caminhões.....	59
Quadro 4.2 – Parâmetros da distribuição da frota de caminhões.....	60
Quadro 4.3 – Dias sem falha em caminhões para 90% de confiabilidade	63
Quadro 4.4 – MTBF da frota de caminhões	63
Quadro 4.5 – Parâmetros da distribuição da frota de unidades móveis	64
Quadro 4.6 – Confiabilidade atual da frota de unidades móveis	67
Quadro 4.7 – Dias sem falhas de UMs para 90% de confiabilidade.....	67
Quadro 4.8 – MTBF da frota de unidades móveis.....	68
Quadro 4.9 – Sistemas e Subsistemas	69
Quadro 4.10 – Funções dos subsistemas estudados.....	71
Quadro 4.11 – Critérios de severidade, ocorrência e detecção.....	75
Quadro 4.12 – FMECA do sistema caminhão, subsistema freios	76
Quadro 4.13 – Análise das categorias de falhas	78
Quadro 4.14 – Análise das consequências das falhas.....	79
Quadro 4.15 – Plano de manutenção.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Unidades Móveis e Áreas Tecnológicas atendidas	24
Tabela 3.1 – Função taxa de falhas $\lambda(t)$ conforme variação de β	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Investimentos Privados em Tecnologias de Educação – 2011 a 2015.	15
Figura 2.1 – Unidades Móveis.....	26
Figura 2.2 – Caminhões tipo cavalo mecânico (a, b) e munck (c).....	27
Figura 3.1 – Evolução da Manutenção.....	29
Figura 3.2 – Padrões da função taxa de falhas – $\lambda(t)$	33
Figura 3.3 – Histograma.....	36
Figura 3.4 – PDF.....	36
Figura 3.5 – PDF Distribuição Normal.....	39
Figura 3.6 – PDF Distribuição Log-normal.....	40
Figura 3.7 – PDF Distribuição Exponencial.....	41
Figura 3.8 – PDF Distribuição Weibull.....	42
Figura 3.9 – Diagrama de decisão.....	53
Figura 4.1 – Sistema de suspensão pneumática.....	72
Figura 4.2 – Mecanismo de frenagem.....	73
Figura 4.3 – Sistema de acionamento dos freios.....	73
Figura 4.4 – Sistema de acionamento dos freios.....	74
Figura 5.1 – Mortalidade infantil nos caminhões.....	85
Figura 5.2 – Taxa de falhas crescente nos caminhões.....	85

LISTA DE SIGLAS E ACRONIMOS

AASB	<i>Australian Accounting Standards Board</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDF	Função Distribuição Cumulativa
CM	Caminhão
CNT	Confederação Nacional do Transportes
EAD	Educação a distância
FMEA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos
FMECA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos e Criticidade
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MTBF	<i>Mean Time Between Failure</i>
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
PDF	Função Densidade de Probabilidade
SAE	<i>Society of Automobile Engineers</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
TI	Tecnologia da Informação
TMEF	Tempo Médio Entre Falhas
TPM	Manutenção Produtiva Total
UM	Unidade Móvel
VAC	Variável Aleatória Contínua

LISTA DE SIMBOLOS

λ	Taxa de Falhas
t	Tempo
μ	Parâmetro de localização na distribuição Normal/ Parâmetro de forma na distribuição Weibull
σ	Parâmetro de forma na distribuição Normal
β	Parâmetro de escala na distribuição Weibull

SUMÁRIO

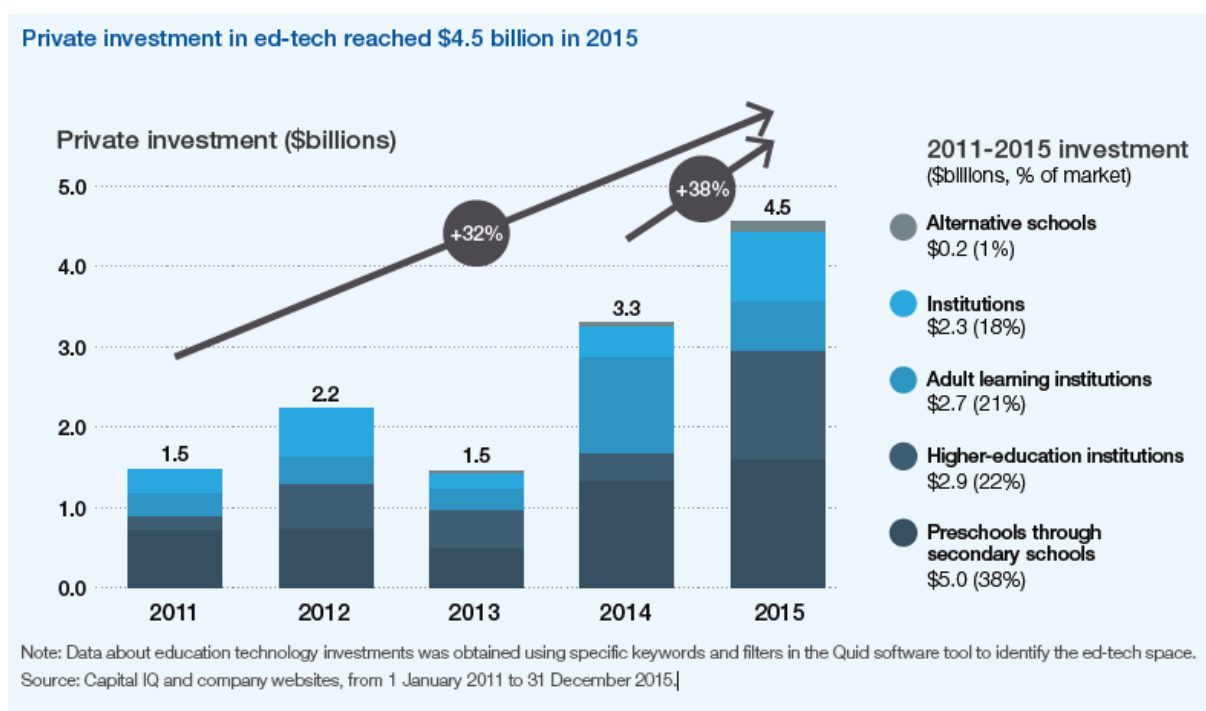
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo Geral	19
1.2.2	Objetivos Específicos	20
1.3	JUSTIFICATIVA	20
1.4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	21
1.5	ESTRUTURA DA PESQUISA	22
2	TEMA	23
3	REFERENCIAL TEÓRICO	28
3.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	28
3.2	CONFIABILIDADE	30
3.2.1	Definições básicas para confiabilidade	30
3.2.2	Indicadores usuais da manutenção industrial	31
3.2.3	Funções de Confiabilidade	35
3.2.4	Distribuições utilizadas na confiabilidade	38
3.3	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	43
3.3.1	Funções	44
3.3.2	Falhas Funcionais	45
3.3.3	Modos de Falha	46
3.3.4	Efeitos de Falha	49
3.3.5	Categorias de Consequências de Falhas	50
3.3.6	Política de Gerenciamento de Falhas	53
3.3.7	Gerenciamento do Programa de MCC	56
4	PREPARAÇÃO DA ESTRUTURA PARA A MCC	58
4.1	CONFIABILIDADE ATUAL DA FROTA.....	58
4.1.1	Análise do Sistema Caminhão	59
4.1.2	Análise do Sistema Unidade Móvel.....	64
4.2	SUBSISTEMAS E ANÁLISE DE PARETO.....	68
4.3	FUNÇÕES DOS SISTEMAS E SUBSISTEMAS	70
4.3.1	Funcionamento dos subsistemas de interesse	71
4.4	FALHAS FUNCIONAIS, MODOS E EFEITOS	74
4.4.1	FMECA.....	75
4.5	CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS	77
4.6	POLÍTICA DE GERENCIAMENTO DE FALHAS	80

5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	84
5.1	ANÁLISES DA FROTA DE CAMINHÕES	84
5.2	ANÁLISES DA FROTA DE UNIDADES MÓVEIS	86
5.3	RESULTADOS OBTIDOS.....	86
5.4	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
	REFERÊNCIAS.....	89
	APÊNDICE 1 – ANÁLISE DO SISTEMA CAMINHÃO	92
	APÊNDICE 2 – CONTROLE DE MANUNTEÇÃO	98
	APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS.....	100
	APÊNDICE 4 – ANÁLISE DAS CATEGORIAS DE FALHAS	112
	APÊNDICE 5 – ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS	121
	APÊNDICE 6 – PLANO DE MANUTENÇÃO.....	126

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade e facilidade de acesso à recursos essenciais à vida e ao desenvolvimento das pessoas tem motivado o desenvolvimento de novas tecnologias em diferentes setores da economia, inclusive o de educação. De acordo com o relatório *New Vision for Education* (Nova Visão para Educação, em tradução livre) as tecnologias de educação receberam volume crescente de investimentos privados no mundo, entre os anos de 2011 e 2015. Os dados publicados pelo *World Economic Forum* (2016) – Fórum Econômico Mundial, em português – apontam crescimento médio de 32% ao ano no volume de recursos investidos no desenvolvimento de tecnologias de ensino, sendo que 21% dos recursos aplicados no período foram destinados à educação de adultos, como dados da Figura 1.1.

Figura 1.1 – Investimentos Privados em Tecnologias de Educação – 2011 a 2015.



Fonte: World Economic Forum (2016)

Uma das tecnologias que recebem investimentos é a modalidade de educação a distância (EAD) que propõe um novo modelo de ensinar e aprender, como resposta aos diferentes contextos sociais e necessidades de alunos não

atendidos pela educação tradicional (SOUSA NETO, MAGALHÃES NETTO, LIMA, 2016).

No contexto da educação técnica profissional, associada no Brasil a formação de mão-de-obra, o conhecimento sobre a execução das atividades é importante, sendo que a aprendizagem ocorre tradicionalmente a partir de observação e participação na execução de atividades (CARNETI, NAPP, 2013; MANFREDI, 2002). Por isso, grande parte das escolas que ofertam cursos técnicos ou graduação no modelo EAD aplicam o formato semipresencial, em que o aluno realiza as atividades pedagógicas por meio de um ambiente virtual e conta com encontros presenciais para a realização de práticas com os professores (SOUSA NETO, MAGALHÃES NETTO, LIMA, 2016).

O modelo semipresencial exige das instituições polos devidamente equipados para o atendimento das aulas presenciais e disponibilidade de professores. Por outro lado, os alunos precisam se deslocar a instituição de ensino para que o aprendizado possa ocorrer por meio da observação e execução de atividades práticas acompanhadas pelo instrutor (MORAN, 2009).

Para o caso de pessoas que residem em cidades afastadas de centros economicamente atraentes para a instalação de polos de educação, tais deslocamentos para realizar as atividades práticas podem se tornar inviáveis por falta de tempo, ou pelos custos, que além das mensalidades, são acrescidos por gastos com transporte e hospedagem (ABBAD, ZERBINI, SOUZA 2010).

Dado este fato, a instituição de ensino objeto deste estudo, implantou o sistema de unidades móveis (UMs), que são salas de aula e laboratórios instalados dentro de veículos semirreboques (carretas) adaptadas para este fim, desta forma é possível levar um laboratório, seja ele uma oficina mecânica, ou até mesmo uma cozinha industrial a qualquer município da região, atendendo prefeituras, empresas ou ainda outras unidades fixas desta mesma instituição no estado (SENAI, 2019a).

Cada unidade móvel (UM) é equipada com espaço para sala de aula, contando com cadeiras e mesas, ou cadeiras universitárias, quadro branco e

equipamentos multimídia para que o docente possa realizar a parte teórica, quando necessário, sendo que, na mesma UM, são instalados os equipamentos e kits didáticos necessários às atividades práticas que devem ser desenvolvidas, para que sejam trabalhadas todas as competências que dizem respeito à área estudada.

Como as carretas utilizadas são do tipo semirreboque, elas não possuem tração própria, logo, para deslocar estas UMs são utilizados caminhões do tipo “cavalo mecânico”, que são engatados às carretas mecanicamente, e passam a ter controle sobre o sistema de suspensão e freios das mesmas.

No modelo aplicado, uma pequena quantidade destes cavalos mecânicos se reveza na movimentação de uma quantidade muito maior de UMs por todo o estado do Paraná. As UMs podem permanecer no local de atendimento de um dia até três meses (doze semanas), sendo o caso mais comum a permanência por cinco semanas.

Esta movimentação demanda um trabalho logístico pesado para otimizar os custos, mantendo a qualidade de atendimento e cumprimento dos prazos dentro do contratado pelos clientes. A logística é muito afetada por problemas elétricos e mecânicos que podem ocorrer tanto nos caminhões, quanto nas próprias UMs, dado que também são veículos de transporte que rodam grandes distâncias e sofrem os desgastes naturais deste tipo de veículo.

O setor de UMs tem estrutura de gestão exclusiva desde 2017, e por se tratar de atividade recente na instituição de ensino, muitos dos veículos são novos e estão em período de garantia dos fornecedores. Ainda não há uma área de manutenção da frota estruturada, ficando totalmente a cargo dos motoristas identificarem problemas e realizarem as manutenções conforme a necessidade ou em casos de emergência, na oficina mais próxima. Como não há qualquer gestão relacionada à manutenção, não são registrados dados referentes às falhas, com exceção de oficinas que atendam pela empresa contratada para fornecer o cartão utilizado para abastecimentos e também manutenções, nestes casos são registradas as manutenções, porém sem uma análise do que realmente foi executado.

Muitas empresas consideram que gerenciar um sistema elaborado de manutenção é um custo alto demais, principalmente quando os equipamentos são novos, considerando que os possíveis problemas que possam existir estão cobertos pela garantia, não levando em conta prejuízos com atrasos nos prazos acordados, perda de tempo realizando as manutenções corretivas (oriundas de possíveis falhas de projeto, fabricação e operação inadequada), sem contar o estresse para acionar a garantia do produto.

Com o desenvolvimento das técnicas tanto de gestão, quanto de manutenção, somado ao desenvolvimento tecnológico, cada dia mais se entende a importância de uma boa gestão da manutenção desde a aquisição de um equipamento que terá papel fundamental na execução do serviço ou produto, este ponto fica evidente ao se estudar o conceito de mortalidade infantil, que será visto no decorrer deste trabalho,

Pretende-se, neste trabalho, estudar a confiabilidade da frota atual para um determinado tempo a ser definido com base no deslocamento de cada veículo no último ano de operação e os tempos até a falha, considerando os caminhões e as carretas (UMs), propondo um sistema de manutenção centrada em confiabilidade, com foco na redução das falhas e manutenções não planejadas, minimizando, assim, os riscos de atrasos nos atendimentos.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

O sucesso deste modelo de negócio passa por entregar um curso de qualidade em qualquer região do estado, por um preço que seja compatível com o praticado por outras instituições de ensino. Porém um fator primordial é a eficiência na gestão de toda esta frota de carretas e caminhões, visto que, além dos problemas comuns advindos das estradas (interdições, acidentes), falhas nos veículos podem acarretar atrasos na instalação das unidades móveis, impactando no atendimento ao cliente.

O problema a ser resolvido é minimizar os impactos que a falta de confiabilidade da frota pode acarretar ao processo. Para isso, busca-se com este

trabalho entender qual é a confiabilidade atual da frota para uma determinada distância e, a partir dos dados do estudo, propor um sistema de manutenção centrada em confiabilidade (MCC) para uma possível melhora na confiabilidade dos veículos e redução nas falhas não planejadas que comprometeriam atendimentos futuros.

As premissas adotadas para o desenvolvimento do trabalho são:

- A baixa confiabilidade dos caminhões e das carretas pode gerar perda de tempo com manutenções não planejadas;
- O cronograma de atendimentos atual não leva em conta possíveis manutenções nas UMs, visto que não há controles de falhas e paradas, logo, qualquer manutenção necessária pode acarretar em atraso na logística;
- A aplicação de um sistema de manutenção centrada em confiabilidade reduzirá a quantidade de falhas e paradas não planejadas, aumentando a confiabilidade da frota entre as manutenções preventivas.

Partindo-se destas premissas, buscando responder o problema de pesquisa, foram levantadas algumas hipóteses, as quais deverão ser validadas ou refutadas durante a execução deste trabalho:

1. A adoção de um sistema de manutenção centrada em confiabilidade reduzirá o tempo parado para realizar manutenções não planejadas;
2. Conhecendo-se a confiabilidade da frota será possível reduzir os atrasos na instalação das UMs.

1.2 OBJETIVOS

Tendo em vista o problema de pesquisa, as premissas e hipóteses levantadas, são definidos os objetivos deste trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta monografia é propor uma estrutura de manutenção centrada em confiabilidade na área de ações móveis da instituição foco deste estudo,

mostrando os benefícios de uma possível implantação quanto à redução nos atrasos gerados por falhas.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para resolver o problema proposto e realizar o objetivo geral, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantar os dados de falha dos veículos que farão parte do estudo;
- Definir a melhor distribuição de probabilidade;
- Encontrar a confiabilidade para uma determinada distância tanto de cada veículo, quanto da frota;
- Definir quais subsistemas e componentes serão monitorados;
- Estruturar o modelo de manutenção centrada em confiabilidade a ser proposto.

1.3 JUSTIFICATIVA

O estudo da engenharia de confiabilidade possibilita um maior aproveitamento de máquinas e equipamentos, bem como a otimização dos processos dos quais fazem parte. O desenvolvimento de um sistema de manutenção centrada em confiabilidade para a frota em questão, possibilitará a aplicação de diversas ferramentas da engenharia de confiabilidade em uma área fundamental para o desenvolvimento do país, que é o transporte logístico rodoviário.

A constante movimentação das unidades móveis e a necessidade de redução de custos logísticos, neste caso o custo por quilômetro rodado gerado pela quantidade de caminhões (manutenção, combustível e pedágios) e os salários dos motoristas necessários para atender todas as demandas, exige que a eficiência do processo seja tal, que possibilite manter os preços dos produtos atrativos aos clientes, bem como minimizar as chances de ocorrerem atrasos na execução das atividades contratadas.

Um bom sistema de manutenção proporciona uma maior disponibilidade do equipamento e economia de recursos, otimizando o tempo ótimo de manutenção e reduzindo manutenções não planejadas as quais, em geral, são mais caras por não ser possível pesquisar os melhores fornecedores e materiais, além de aumentar a quantidade de retrabalhos (LAFRAIA, 2001).

Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT) o transporte rodoviário no ano de 2018 foi responsável pelo transporte de 60% das mercadorias e 90% de passageiros, sendo que apenas 12,4% da malha rodoviária é pavimentada (CNT, 2019a), logo, uma boa gestão de manutenção da frota, é fator primordial para que empresas que dependem deste tipo de negócio possam ser competitivas.

Diversos outros setores da economia dependem igualmente de pesada logística de transporte em seus processos, podendo este trabalho servir como base para a implantação de sistemas de manutenção similares.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho utilizará técnicas de análise de dados de vida para a determinação da confiabilidade atual da frota juntamente com as teorias e estudos de manutenção centrada em confiabilidade, buscando desenvolver um modelo para gestão da manutenção da frota.

Como norma padrão será adotada a norma SAE JA1011 (1999), por se tratar de uma norma desenvolvida inicialmente ao setor de transportes aéreos e posteriormente utilizada por diversos outros setores, tendo foco em manter as funções e o padrão de desempenho do equipamento no atual contexto de aplicação do mesmo, desta forma, seguir-se-á a sequência determinada pela referida norma pretendendo-se, assim, obter um modelo de MCC para a área de ações móveis da empresa estudada.

O método quantitativo se destaca no presente trabalho, tendo em vista a análise de dados de falhas dos caminhões e unidades móveis para estimar a confiabilidade atual da frota e com estes dados, seguindo as etapas definidas na

norma SAE JA1011 (1999), estruturar o modelo de MCC mais adequado para atingir os objetivos propostos.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A presente monografia é composta, além do capítulo introdutório já apresentado, no qual foram descritos o problema a ser resolvido, as hipóteses e premissas e os objetivos a serem atingidos, pelos seguintes capítulos:

- Capítulo 2: apresentação e delimitação do tema, bem como explanação do processo no qual será realizado o estudo;
- Capítulo 3: referencial teórico a respeito das áreas da engenharia da confiabilidade aplicáveis a este projeto, bem como da área de manutenção de veículos de transporte, buscando destacar as técnicas a serem utilizadas;
- Capítulo 4: aplicação da teoria e das técnicas descritas, demonstrando como cada etapa da norma SAE JA1011 (1999) foi desenvolvida;
- Capítulo 5: exposição dos resultados obtidos, discussão de pontos críticos do processo e de como as dificuldades foram superadas para atingir os objetivos propostos.

2 TEMA

O setor de transportes de cargas no Brasil é dominado pelo transporte rodoviário, conforme levantamento da movimentação anual divulgado em fevereiro de 2019 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), sendo este responsável por 60% das movimentações de cargas no país (CNT, 2019a).

A frota brasileira de veículos de transporte de cargas é composta por quase 6 milhões de veículos, dentre os quais, 27% são do tipo cavalo mecânico ou carreta semirreboque, objetos deste estudo (CNT, 2019b). O sistema adotado no setor de ações móveis da empresa estudada é composto por caminhões tipo cavalo mecânico, responsáveis pela movimentação de unidades móveis fabricadas no formato de carretas semirreboque.

Conforme divulgado no Boletim Econômico da CNT, apenas no ano de 2019, 1,47 bilhões de reais foram destinados ao modal rodoviário até o mês de abril, resultando em 69% do total dos investimentos no setor de transportes no mesmo período (CNT, 2019b). Esta grande parcela de investimentos é explicada quando, mesmo sendo o transporte rodoviário o principal meio de transporte de cargas no país, 14% das rodovias federais e 90% das rodovias estaduais e municipais ainda não são pavimentadas, fato que impacta diretamente nos custos de manutenção da frota (CNT, 2019a).

A instituição estudada atua em 2,7 mil municípios e está presente em todos os estados brasileiros, sendo que em grande parte destes estados atua com ações móveis. Em 2017 eram 452 unidades móveis no país, conforme o Relatório Anual SENAI, Sesi e IEL (CNI, 2017). No Estado do Paraná, no qual é realizado este estudo, são 40 UMs divididas em 12 áreas tecnológicas da indústria, conforme Tabela 2.1, que atendem as diversas indústrias, além das 399 prefeituras, e ampliam a capacidade de atendimento das 49 unidades de negócio instaladas em regiões estratégicas do estado, sendo a gestão centralizada na capital Curitiba. Toda esta estrutura é movimentada por 5 caminhões tipo cavalo mecânico e 2 caminhões tipo

munk. Cada unidade móvel possui um técnico de ensino responsável, bem como cada caminhão tem um motorista específico.

Tabela 2.1 – Unidades Móveis e Áreas Tecnológicas atendidas

Unidade Móvel	Qty
Alimentos e Bebidas	7
Automação e Mecatrônica	2
Automotiva	12
Eletroeletrônica	1
Metalmecânica - Mecânica	5
Metalmecânica - Soldagem	3
Refrigeração e Climatização	2
Tecnologia da Informação - Software	1
Vestuário	3
Saúde do Trabalhador	2
Total	38

Fonte: O autor (2019)

Estas 38 UMs, cada uma sob responsabilidade de um técnico de ensino, são movimentadas por 5 caminhões tipo cavalo mecânico, guiados por um motorista específico. Somam-se a estas movimentações mais 12 estruturas complementares de 5 contêineres cada, que utilizam dois caminhões com guindaste (munck) para sua movimentação. As movimentações exigem que cada caminhão rode em média 3.000 km por semana, enquanto cada UM roda em média 3.000km por ano.

Conforme já mencionado, as condições das rodovias no Brasil causam considerável impacto sobre o custo e do tempo dispendido com manutenção dos caminhões. A disponibilidade dos caminhões é de extrema importância para o cumprimento dos prazos firmados em contrato com os clientes e o custo é fator relevante para a viabilidade das ações móveis. No caso estudado, a criticidade da manutenção das UMs e dos caminhões é agravada por 3 fatores: não há gestão da manutenção, ela é realizada em oficinas terceirizadas com pouco ou nenhum controle e a área sofreu rápido crescimento no estado, que em menos de 3 anos cresceu 400%, indo de 1 caminhão e 8 UMs para 7 caminhões e 38 UMs.

Como uma parte dos recursos da instituição é oriunda de contribuição compulsória das indústrias, definida na Lei nº 4.863, de 29 de novembro de 1965

(BRASIL, 1965), e a gestão passa por fiscalização do Tribunal de Contas da União, há especial preocupação com a melhor utilização dos recursos, justificando assim formas mais eficientes de manter os ativos em perfeitas condições de uso (SENAI, 2019b).

Apesar de ser uma entidade privada, o SENAI sempre teve a sua gestão - contábil, financeira, orçamentária, operacional e patrimonial - controlada e fiscalizada pelo Tribunal de Contas da União, assim como o seu orçamento ratificado pela República (SENAI, 2019b).

A infraestrutura, somada aos aspectos legais, torna a implantação de um sistema de manutenção centrada em confiabilidade uma necessidade, visto que, ela combina técnicas e ferramentas para apoiar as decisões de manutenção de forma altamente eficiente (DIAS *et al.*, 2011).

O Quadro 2.1 detalha a estrutura objeto deste estudo, incluindo todas as unidades móveis, caminhões tipo cavalo mecânico e caminhões munk que comporão a análise e sistema de manutenção centrada em confiabilidade.

Quadro 2.1 – Veículos de Ações Móveis

(continua)

Veículo	ID
Caminhão Scania R420	CM_SC.R420-01
Caminhão Volkswagen 4x2 17.230	CM_VW.17230-01
Caminhão Volkswagen 4x2 17.230	CM_VW.17230-02
Caminhão Volkswagen Tractor 19.360	CM_VW.19360-01
Caminhão Volkswagen Tractor 19.360	CM_VW.19360-02
Caminhão Volkswagen Tractor 19.360	CM_VW.19360-03
Caminhão Volkswagen Tractor 19.360	CM_VW.19360-04
Automação Industrial	UM_AUTO.IN-01
Confecção e Vestuário I	UM_CONF.VE-01
Confecção e Vestuário II	UM_CONF.VE-02
Confecção e Vestuário III	UM_CONF.VE-03
Cozinha Brasil	UM_COZI.BR-01
Cuide-se mais	UM_CUID.MA-01
Espaço Confinado	UM_ESPA.CO-01
Informática TI	UM_INFO.TI-01
Instalações Elétricas	UM_INST.EL-01
Manutenção Automotiva I	UM_MANU.AU-01
Manutenção Automotiva II	UM_MANU.AU-02
Manutenção Automotiva III	UM_MANU.AU-03
Manutenção Automotiva IV	UM_MANU.AU-04

Quadro 2.1 – Veículos de Ações Móveis**(continuação)**

Manutenção Automotiva V	UM_MANU.AU-05
Manutenção Mecânica Industrial I	UM_MANU.IN-01
Manutenção Mecânica Industrial II	UM_MANU.IN-02
Manutenção de Motocicletas I	UM_MANU.MO-01
Manutenção de Motocicletas II	UM_MANU.MO-02
Manutenção de Motocicletas III	UM_MANU.MO-03
Manutenção de Motocicletas IV	UM_MANU.MO-04
Manutenção de Motocicletas V	UM_MANU.MO-05
Manutenção de Motocicletas VI	UM_MANU.MO-06
Mecânica Industrial Básica I	UM_MECA.BA-01
Mecânica Industrial Básica II	UM_MECA.BA-02
Panificação e Confeitaria I	UM_PANI.CO-01
Panificação e Confeitaria II	UM_PANI.CO-02
Panificação e Confeitaria III	UM_PANI.CO-03
Panificação e Confeitaria IV	UM_PANI.CO-04
Panificação e Confeitaria V	UM_PANI.CO-05
Panificação e Confeitaria VI	UM_PANI.CO-06
Papel e Celulose	UM_PAPE.CE-01
Pneumática e Hidráulica	UM_PNEU.HI-01
Refrigeração e Climatização I	UM_REFR.CL-01
Refrigeração e Climatização II	UM_REFR.CL-02
Solda e metalurgia I	UM_SOLD.ME-01
Solda e metalurgia II	UM_SOLD.ME-02
Solda e metalurgia III	UM_SOLD.ME-03
Usinagem CNC	UM_USIN.CN-01

Fonte: O autor (2019)

As unidades móveis foram construídas por quatro fabricantes diferentes e são divididas em duas categorias: com sala de avanço, conforme Figura 2.1a, ou sem sala de avanço (simples), como demonstrado na Figura 2.1b.

Figura 2.1 – Unidades Móveis**(a) com sala de avanço****(b) sem sala de avanço****Fonte: O autor (2019)**

Os caminhões, por sua vez, são de três modelos distintos: um caminhão Scânia R420, com 5 anos de uso, conforme Figura 2.2a, 4 caminhões Volkswagen *Constelation* 19.360, Figura 2.2b, e 2 caminhões Volkswagen *Constelation* 17.230, tipo munk, figura 3c.

Figura 2.2 – Caminhões tipo cavalo mecânico (a, b) e munk (c)



(a)



(b)



(c)

Fonte: O autor (2019)

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O tema manutenção, desde meados do século XX, tem se tornado alvo de estudos e pesquisas em todo mundo, pois, com a crescente evolução industrial e o aumento da expectativa da sociedade quanto ao desempenho das indústrias, cada dia mais automatizadas, a necessidade de se obter maior disponibilidade e baixo custo para manter a eficiência do equipamento durante toda sua vida útil passou a ser objetivo básico na avaliação de equipamentos (SIQUEIRA, 2005).

Considerando tamanha relevância do tema, para o embasamento teórico do presente trabalho, no decorrer deste capítulo, será apresentado um breve histórico da manutenção a nível mundial, o conceito de engenharia de confiabilidade e os modelos estatísticos mais aplicados, e, por fim, as técnicas, normas e passos para a implantação de um programa de manutenção centrada em confiabilidade, utilizando como fonte autores que são referência no assunto e estudos atuais da área de engenharia de confiabilidade.

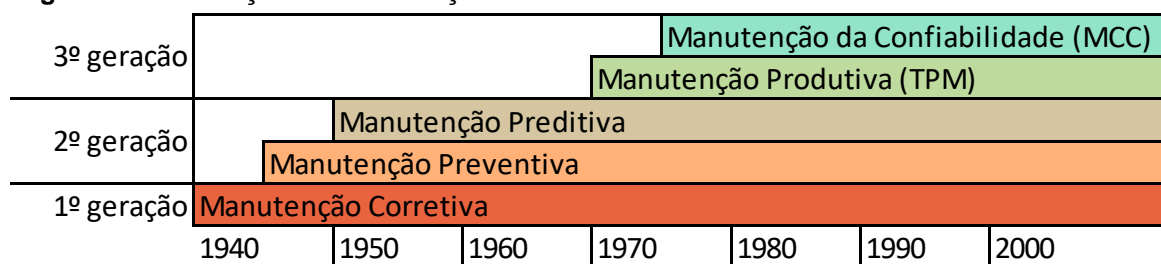
3.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

O termo manutenção é aplicado aos setores e atividades técnicas e administrativas responsáveis por manter o funcionamento de um equipamento qualquer, ou ainda, permitir que o mesmo funcione adequadamente após uma falha ser consertada (ABNT, 1994).

Em grande parte das empresas as falhas não programadas não são a exceção, e como em geral estas paradas são por falhas em equipamentos, a grande culpada acaba sendo a área de manutenção, que só é lembrada quando se exige que o equipamento retorne ao funcionamento com rapidez, fazendo com que a maior parte das atividades seja corretiva. Isto resulta em um alto nível de paradas não planejadas que tendem a ser mais prejudiciais ao sistema, gerando, no fim, mais custos (HIGGINS *et al.*, 2008).

Após a Segunda Guerra Mundial, com os avanços tecnológicos na área da eletrônica e o advento da automação nas linhas de produção, notou-se a necessidade de desenvolver as equipes, técnicas e sistemas de manutenção, que minimizassem as paradas de máquinas, uma vez que uma máquina parada gerava a parada de todo o restante da linha. Neste contexto seguiu-se uma evolução em ferramentas e técnicas que permitissem prevenir ou até mesmo prever quando uma falha fosse ocorrer, conforme a Figura 3.1 (SIQUEIRA, 2005).

Figura 3.1 – Evolução da Manutenção



Fonte: Siqueira (2005)

Além da indústria voltada ao consumo, a indústria aeronáutica e as forças armadas norte-americanas, com destaque para o desenvolvimento nuclear, tiveram papel fundamental no desenvolvimento de técnicas para otimizar os sistemas de manutenção e aumentar a confiabilidade de aeronaves e equipamentos, reduzindo os riscos de acidentes fatais. No período entre das décadas de 50 e 70 diversas metodologias para aumentar a eficiência e eficácia dos sistemas de manutenção tiveram início, destacando-se fortemente a Manutenção Produtiva Total (TPM na sigla em inglês), desenvolvida no Japão, e a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), com origem no relatório final da força-tarefa nomeada *Maintenance Steering Group* (MSG) da *United Airlines*, responsável por rever os métodos existentes à época para a manutenção das aeronaves, e descrita em 1978 no livro *Reliability-Centered Maintenance* (RCM), de Nowlan e Heap, considerado a obra seminal da MCC (LAFRAIA, 2001; SIQUEIRA, 2005).

Muitas empresas passaram a adotar os conceitos da MCC em seus sistemas de manutenção, entretanto, a falta de um padrão fez com que uma grande parte destes sistemas não seguissem os elementos fundamentais do processo definido

por Nowlan e Heap (1978), não atingindo assim os objetivos propostos e em alguns casos estes processos chegam a ser prejudiciais à produção, tornando o processo pouco eficiente (SAE JA1011, 1999).

Durante as últimas décadas surgiram algumas normas que buscaram padronizar as definições e conceitos para a área de confiabilidade, como por exemplo a ABNT NBR 5462 (1994), e mais exclusivamente da MCC, como as normas SAE JA1011 e SAE JA1012 e também a IEC 60300-3-11. Muitos autores também se debruçaram sobre o tema, com destaque para Moubrey (1997), Smith e Hinchcliffe (2003) e, no Brasil, Lafraia (2001), Siqueira (2005) e Dias *et al.* (2011).

3.2 CONFIABILIDADE

A confiabilidade é a probabilidade de um produto, equipamento ou sistema desempenhar sua função adequadamente, sob uma determinada condição de utilização e em um período de tempo conhecido, além de também ser o termo utilizado para medir a confiabilidade, conforme a norma ABNT NBR 5462 (1994), Lafraia (2001), Siqueira (2005).

Muitos benefícios podem ser atingidos com a implantação de uma boa aplicação da confiabilidade, destacando-se, com o foco na MCC (ANDERSON; HARRINGTON, 1999):

- Eliminação das causas básicas de falhas
- Redução no número de paradas não programadas
- Aumento da disponibilidade dos equipamentos e instalações
- Menores custos de manutenção
- Menores probabilidades de acidentes

3.2.1 Definições básicas para confiabilidade

Baseado na ABNT NBR 5462 (1994) e na obra de Lafraia (2001), a seguir são apresentadas algumas definições fundamentais para o estudo da confiabilidade:

- Confiabilidade: probabilidade de que um componente, equipamento o sistema executará sua função sem falhas, por um período de tempo determinado e em condições específicas.
- Item: qualquer peça, subsistema, sistema ou equipamento que possa ser considerado individualmente ou ensaiado separadamente.
- Componente: item que pode falhar apenas uma vez, devendo ser trocado para reparar um sistema reparável.
- Função: trabalho ou atividade desempenhada por um item para prover um serviço.
- Falha: perda da capacidade de um item desempenhar uma função.
- Falha funcional: incapacidade de um item atingir o padrão de desempenho esperado.
- Defeito: desvio de alguma característica de um item, podendo fazer o mesmo trabalhar de forma parcial. Um defeito não tratado pode gerar uma falha.
- Modo de falha: conjunto de efeitos pelos quais uma falha é observada.
- Mecanismo de falha: conjunto de processos físicos, químicos ou outros que conduzem a uma falha.
- Causa da falha: circunstancia que ativa um mecanismo de falha.
- Vida útil: intervalo de tempo compreendido entre o momento que o item é colocado em operação até o instante em que a taxa de falhas se torna inaceitável ou ocorra uma falha não reparável.
- Disponibilidade: capacidade de um item estar em condições de executar sua função em um dado instante ou por um intervalo de tempo determinado.
- Manutenibilidade: capacidade de um item ser recolocado em condições de realizar sua função após um estado de falha.

3.2.2 Indicadores usuais da manutenção industrial

A seguir são explicados os principais indicadores de manutenção utilizados no decorrer do presente trabalho.

3.2.2.1 MTBF (*Mean Time Between Failure*)

Em português o MTBF é traduzido como Tempo Médio Entre Falhas, utilizando a sigla TMEF, e indica a média de tempo que o item executa sua função entre uma falha e outra. Caso um sistema possua MTBF de 1000h, significa que a cada 1000h de operação ocorrerá uma falha. Este indicador possibilita avaliar pelo valor obtido periodicamente se o item está mantendo a taxa de falhas no tempo ou está piorando (HIGGINS *et al.*, 2008).

3.2.2.2 MTTR (*Mean Time To Repair*)

O tempo médio necessário para reparar um item recebe a sigla MTTR, indicador que está diretamente ligado à complexidade da manutenção (Mantenabilidade) e também à disponibilidade do item (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

3.2.2.3 Disponibilidade (A)

A disponibilidade indica a proporção entre o tempo total e o tempo que o item realmente esteve apto para uso, de forma que pode ser obtida através da relação abaixo:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

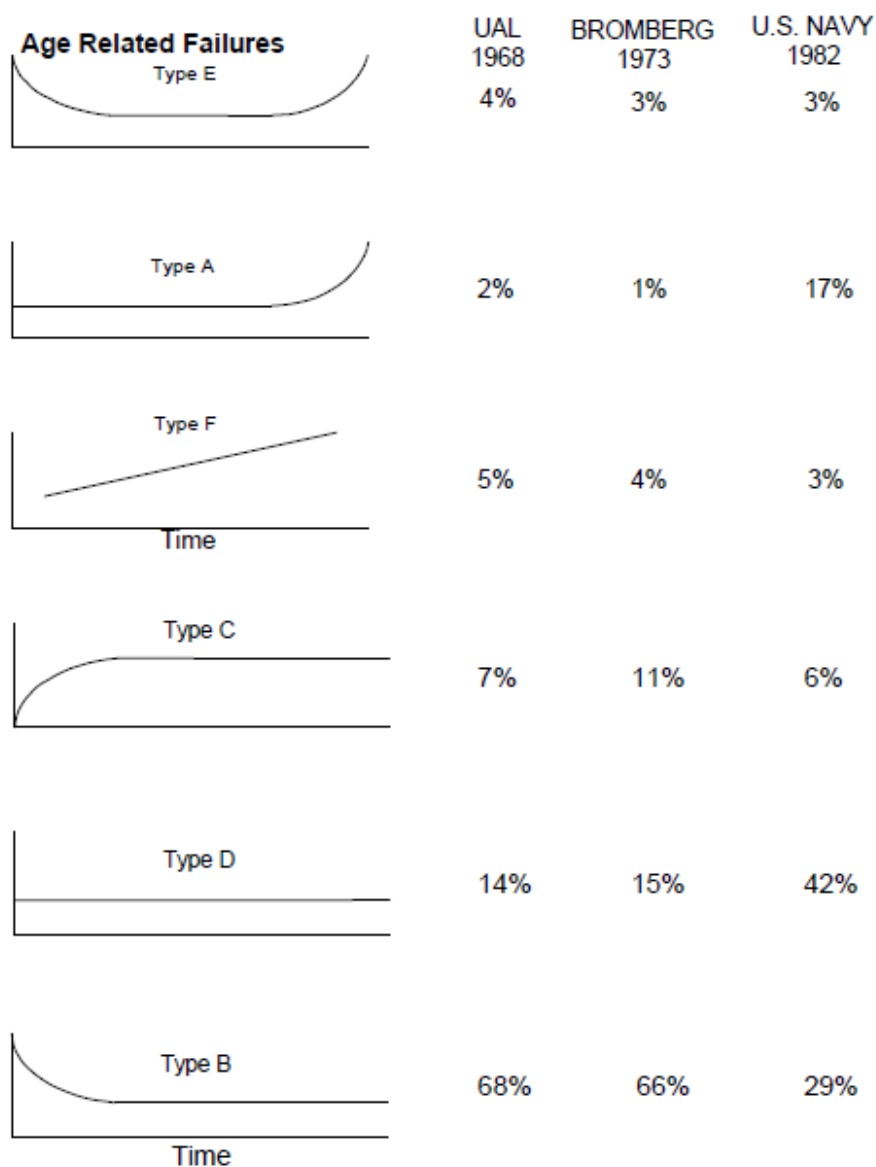
Pela expressão fica fácil perceber que quanto menor o tempo entre falhas e maior o tempo de reparo de um item, menos tempo este item estará disponível para executar sua função (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

3.2.2.4 Taxa de Falhas (λ)

A taxa de falhas possibilita verificar, ao longo do tempo, como o item está se comportando em relação à frequência com que as falhas ocorrem. É um parâmetro fundamental para análises de confiabilidade e será essencial para determinar o estágio da vida do item, ou como o item envelhece (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

O Guia de Manutenção Centrada em Confiabilidade da NASA (2000) mostra os padrões característicos que a curva taxa de falhas, extraída da função $\lambda(t)$, pode assumir. O documento cita as porcentagens de equipamentos aderentes àquela característica de evolução da taxa de falhas conforme 3 estudos distintos, mostrando que alguns padrões são muito mais comuns do que outros, conforme Figura 3.2.

Figura 3.2 – Padrões da função taxa de falhas – $\lambda(t)$



Fonte: NASA (2000)

A curva A indica uma taxa de falhas que se mantém constante, mas em determinado momento começa a aumentar até extrapolar um limite aceitável. Esta curva é característica de equipamentos com alto nível de risco em sua operação, ou seja, que falham muito pouco quando novos e na maior parte de sua vida útil. O aumento da taxa de falhas revela que a vida útil pode estar chegando ao fim (NASA, 2000; MOUBRAY, 1997).

Alguns equipamentos mais simples, porém, podem ter uma alta taxa de falhas no início de sua vida (chamada mortalidade infantil) e com o passar do tempo as falhas reduzem a um nível aceitável e a taxa passa a ser constante, conforme a curva B. Esta característica pode ocorrer em situações nas quais não é viável realizar grande número de testes ou não é possível ensaiar o equipamento antes de entrar em operação, de forma que a análise e a correção das falhas, e de suas causas, vai reduzindo a quantidade de modos de falha até que sobram apenas os modos que não puderam ser eliminados. Também é uma curva comum para softwares, nos quais os *bugs* vão sendo corrigidos à medida que o software é utilizado, sendo que muitas destas falhas não retornarão a ocorrer (LAFRAIA, 2001).

Outros equipamentos têm poucas falhas no início da vida útil, aumentando gradativamente a taxa de falhas até que a mesma se estabiliza, conforme curva C e a curva D mostra os itens que possuem taxa de falhas constante durante toda sua vida, de forma que as falhas que ocorrem não podem ser previstas ou eliminadas (MOUBRAY, 1997).

A curva F representa a taxa de falhas ao longo da vida de equipamentos que sofrem desgaste constante, sendo que este desgaste vai gerando cada vez mais falhas, porém neste caso não é possível identificar um ponto no qual ocorre uma aceleração no aumento da taxa de falhas (NASA, 2000).

A curva da banheira, como é conhecida a curva E, é uma característica de equipamentos compostos de vários componentes distintos, cada um com sua curva característica. Estes equipamentos podem apresentar uma taxa de falhas decrescente ao serem colocados em operação, falhas estas originadas por

montagens inadequadas, falta de amaciamento do sistema, falhas de controle da qualidade, entre outras. Após estas primeiras falhas serem analisadas e suas causas corrigidas o equipamento entra em um período de falhas aleatórias, no qual a taxa de falhas é constante. Este é o maior período da vida do equipamento que chega ao fim devido ao desgaste dos componentes que faz com que a taxa de falhas passe a crescer de forma mais acelerada conforme o tempo passa, até atingir um nível não aceitável (MOUBRAY, 1997; FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

Fogliato e Ribeiro (2011) reforça que quando a taxa de falhas se mantém constante em um determinado período há uma relação entre a taxa de falhas e o MTBF que é descrita pela equação:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

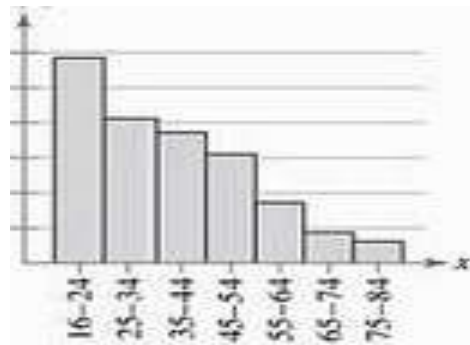
3.2.3 Funções de Confiabilidade

O estudo da confiabilidade é pautado pela análise probabilística dos dados de vida de um item, de forma que, como já definido anteriormente, a confiabilidade é a probabilidade de que um item cumpra sua função com sucesso por um tempo determinado sob condições específicas, de forma que o inverso da confiabilidade é a probabilidade do item falhar neste mesmo período (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

Com os dados de falha de um item ou conjunto de itens, pode-se criar um histograma, conforme Figura 3.3, por exemplo de quanto tempo cada item trabalhou até falhar, definindo os intervalos de classe conforme interesse do estudo (LAFRAIA, 2001).

O histograma ajuda a fazer uma análise visual e definir rapidamente quanto tempo “em média” os componentes trabalham sem falhar, porém, ao se aumentar a amostra e reduzir o intervalo de classe, o histograma tende a uma curva chamada *probability density function* (PDF), em português, função densidade de probabilidades, a qual guiará toda a análise estatística a seguir (LAFRAIA, 2001).

Figura 3.3 – Histograma

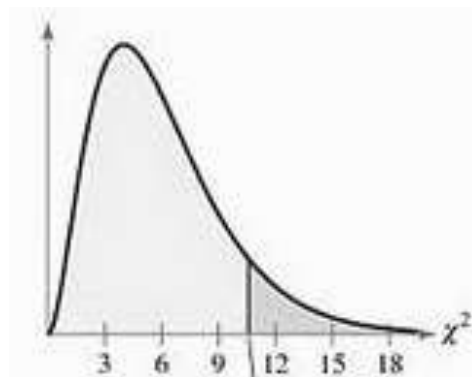


Fonte: Larson, Farber (2010)

Considerando que sob a curva se tem 100% das observações, a área abaixo da curva, de um ponto inicial até um segundo ponto de interesse terá valor entre zero e um, e representará a probabilidade de um item falhar neste intervalo de interesse, conforme representado na Figura 3.4, representado pela equação abaixo, na qual $t_1=0$ e $t_2=11$ (O'CONNOR, 2011):

$$A = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt$$

Figura 3.4 – PDF



Fonte: Larson, Farber (2010)

A Variável Aleatória Contínua (VAC), valor do eixo X, é comumente medida em unidades de tempo, distância ou ciclos de operação para análises de confiabilidade. Calculando-se a integral entre os pontos t_1 e t_2 , ter-se-á a densidade acumulada da VAC. Este valor pode ser obtido pela Função Distribuição Cumulativa

(CDF – na sigla em inglês), de forma que a expressão desta função é (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011):

$$F(a) = P(t \leq a) = \int_0^a f(t)dt$$

Como a análise de confiabilidade, voltada à manutenção industrial, é realizada utilizando dados de falha, a PDF, $f(t)$, será chamada Função Densidade de Falhas e a CDF, $F(x)$, será chamada Função Acumulada de Falhas, esta mostrará a probabilidade do item falhar no período compreendido entre um tempo inicial e outro final, podendo ser aplicada igualmente para distancias ou ciclos de operação, conforme já mencionado (O'CONNOR, 2011).

Se a $F(x)$ demonstra a probabilidade do item falhar até o ponto especificado, pode-se dizer que a probabilidade de o mesmo item não falhar é a diferença para o 100%, obtendo-se, desta forma, a função confiabilidade, $R(x)$, descrita como (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011):

$$R(t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^a f(t)dt$$

$$R(t) = \int_a^{\infty} f(t)dt$$

A função $R(t)$ confirma a definição de confiabilidade, que diz que a confiabilidade é a probabilidade de um item cumprir sua função, ou seja, não falhar, por um período conhecido (a partir do instante “a”) sob uma condição definida, ou seja, excluindo-se casos que extrapolem a condição normal de trabalho do item estudado (LAFRAIA, 2001).

A taxa de falhas (λ) é um dado fundamental para a análise da vida do item. A função taxa de falhas, $\lambda(t)$ descreve a evolução da taxa de falhas ao longo do

período desejado, facilitando a determinação do estágio da vida do item (O'CONNOR, 2011).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

3.2.4 Distribuições utilizadas na confiabilidade

A forma da PDF descreve o perfil da população estudada, e para modelar matematicamente a curva gerada são utilizadas as distribuições estatísticas, que são modelos probabilísticos que melhor descrevem a população, fornecendo parâmetros que podem ajudar a prever, com determinada exatidão, um evento futuro, como por exemplo a vida média de um produto ou o melhor tempo de garantia (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011).

3.2.4.1 Normal

A distribuição normal, também conhecida como distribuição de Gauss, expressa populações que se distribuem simetricamente em relação à média. Conforme Lafraia (2001), a função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

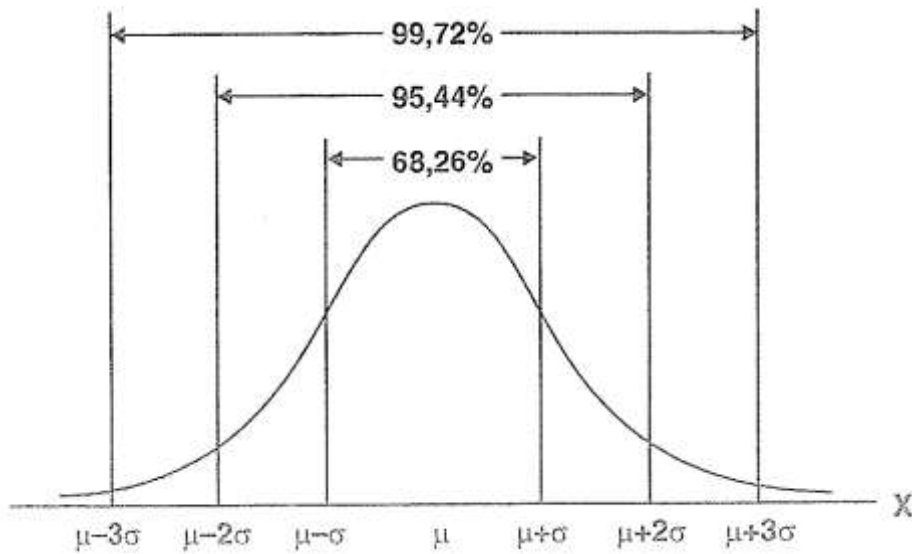
Onde:

μ : parâmetro de localização, correspondente à média

σ : parâmetro de forma, que indica o desvio padrão da amostra

A Figura 3.5 mostra uma curva normal padronizada, que mostra a relação entre a média e o desvio padrão.

Figura 3.5 – PDF Distribuição Normal



Fonte: Fávero et al (2009)

3.2.4.2 Log-normal

A distribuição normal dificilmente representa os dados de vida para a maioria dos sistemas eletromecânicos. Muitos destes sistemas têm muitas falhas no início da vida, porém, isto não representa a maioria da população. A distribuição log-normal foi criada para modelar com precisão estes sistemas (O'CONNOR, 2011).

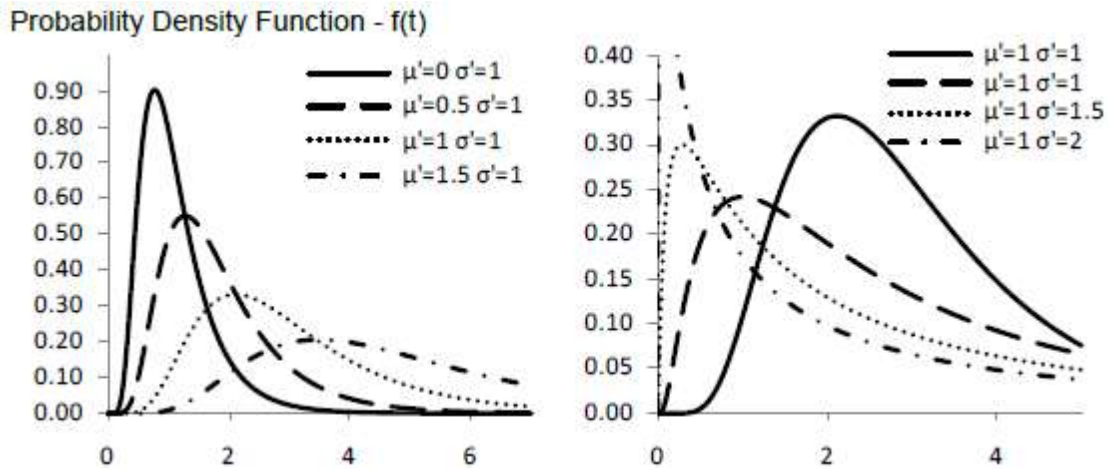
A PDF desta distribuição é expressa por:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma(2\pi)^{1/2}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right]$$

Observa-se que os parâmetros são os mesmos da distribuição normal.

A Figura 3.6 demonstra algumas das formas que a PDF pode adquirir com a mudança dos parâmetros.

Figura 3.6 – PDF Distribuição Log-normal



Fonte: O'Connor (2011)

3.2.4.3 Exponencial

Quando a distribuição das falhas durante o tempo ocorre em intervalos aleatórios e, de forma geral, igualmente espaçados, esta distribuição segue a forma exponencial (STAPELBERG, 2009).

A função densidade de probabilidade descrita pela distribuição exponencial é (LAFRAIA, 2001):

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

Onde λ = taxa de falhas.

A confiabilidade expressa por meio da distribuição exponencial pode ser calculada conforme segue (LAFRAIA, 2001):

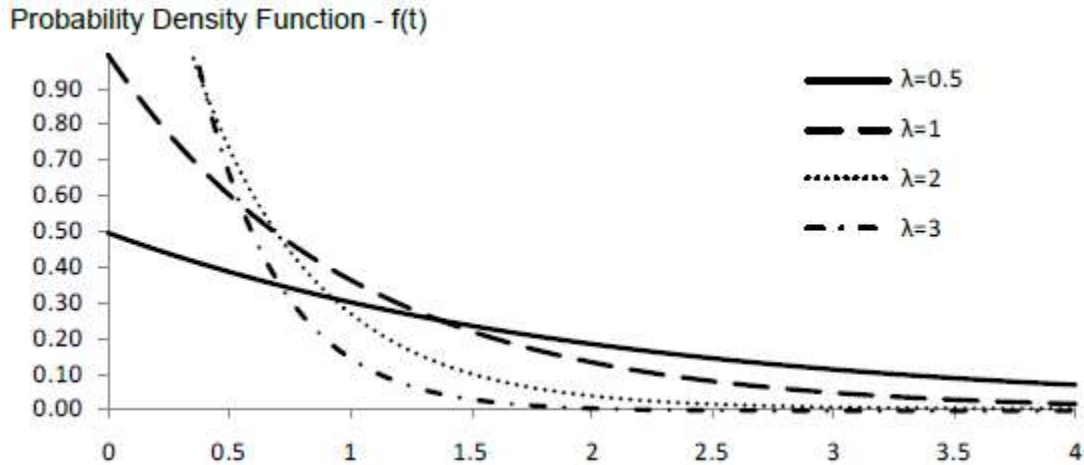
$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Para sistemas que tem taxa de falhas constante, ou seja, que estão em seu período de vida-útil e com falhas aleatórias, é possível definir um tempo médio entre falhas, ou MTBF, expresso por (ANDERSON; HARRINGTON, 1999):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

A curva característica gerada pela distribuição exponencial pode ser vista na Figura 3.7.

Figura 3.7 – PDF Distribuição Exponencial



Fonte: O'Connor (2011)

3.2.4.4 Weibull

A distribuição Weibull pode ser aplicada durante toda a vida do equipamento, uma vez que é classificada como uma distribuição geral de falhas é expressa por (STAPELBERG, 2009):

$$f(t) = \frac{\beta t^{(\beta-1)} e^{-(t/\mu)^\beta}}{\mu^\beta}$$

Onde:

μ = parâmetro de forma

β = parâmetro de escala

A Tabela 3.1 descreve como a função taxa de falhas se comporta a medida que o β aumenta (LAFRAIA, 2001).

Tabela 3.1 – Função taxa de falhas $\lambda(t)$ conforme variação de β

β	Comportamento da Função
< 1	Taxa de falhas crescente com o tempo. Fase de mortalidade infantil.
= 1	Taxa de falhas constante. Falhas aleatórias. Distribuição exponencial.
> 1	Taxa de falhas crescente com o tempo.
= 2	Taxa de falhas linearmente crescente.
> 2	Taxa de falhas cresce a uma taxa proporcional à potência (-1).
= 3,2	Distribuição aproxima-se da distribuição normal

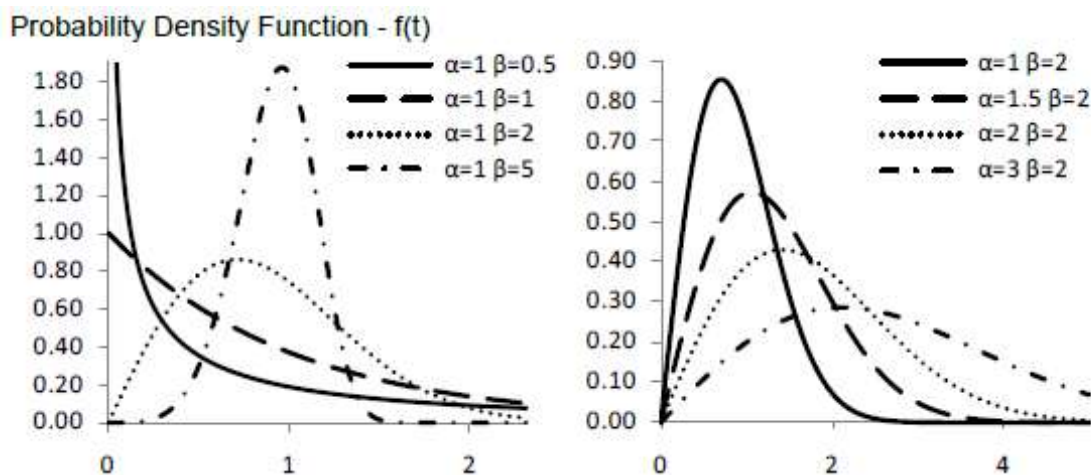
Fonte: Lafraia (2001)

A confiabilidade expressa por meio da distribuição Weibull é definida por (STAPELBERG, 2009):

$$R(t) = e^{-(t/\mu)^\beta}$$

Conforme a variação dos parâmetros esta função pode assumir o formato de qualquer uma das distribuições vistas anteriormente, conforme Figura 3.8 (O'CONNOR, 2011).

Figura 3.8 – PDF Distribuição Weibull



Fonte: O'Connor (2011)

3.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Os programas de MCC reúnem técnicas de engenharia diversas para que se garanta que equipamentos continuem realizando as funções para os quais foram constituídos e, “devido a sua abordagem racional e sistemática, [...] têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção” (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011, p.217)

Devido à popularização da MCC, muitos autores tentaram criar versões adaptadas da versão original, muitas vezes omitindo ou interpretando equivocadamente elementos fundamentais do processo descrito por Nowlan e Heap (1978), sendo, muitos destes processos, contraproducentes e em alguns casos até mesmo perigosos (SAE JA1012, 2002).

Estas situações motivaram órgãos internacionais a criarem normas para seus setores. No ano de 1999 foi lançada a norma IEC60300-3-11, em seguida a *Society of Automotive Engineers* (SAE) lançou, a pedido do governo norte americano, a norma SAE JA1011 – *Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes* – com os critérios mínimos para que um processo possa ser chamado de MCC (SIQUEIRA, 2005).

De acordo com Siqueira (2005), como os conceitos e técnicas da MCC são, de certa forma, genéricos, podem ser aplicados a qualquer sistema no qual seja necessário manter a funcionalidade e confiabilidade do processo. O autor ainda enumera indústrias que historicamente aplicaram os princípios da MCC, como aeronáutica, elétrica, nuclear, química, petrolífera, siderúrgica, de alimentação, de transporte, entre outras (SIQUEIRA, 2005).

A aplicação da MCC deve seguir uma sequência de atividades, que juntas irão direcionar os esforços da equipe à manutenção das funções do item, com um método de análise estruturada que deve ser adequadamente documentado, permitindo futuras auditorias do processo (FOGLIATO; RIBEIRO, 2011; LAFRAIA, 2001; SAE JA1012, 2002).

A norma SAE JA1011 (1999) especifica os critérios mínimos para um programa MCC e define que um processo MCC deve responder à sete perguntas, exatamente na sequência, também apresentadas por Fogliato e Ribeiro (2011):

- a) Quais são as funções e padrões desempenho associados, desejados, de desempenho do ativo na(s) função(ões) operacional(is) em seu contexto atual?
- b) De que formas ele pode falhar ao deixar de cumprir suas funções (falha funcional)?
- c) O que causa cada falha funcional (modos de falha)?
- d) O que acontece quando ocorre cada falha (efeitos da falha)?
- e) Qual é a importância de cada falha (consequências da falha)?
- f) O que deve ser feito para prever ou prevenir cada falha (tarefas proativas e intervalos das tarefas)?
- g) O que deve ser feito caso uma tarefa proativa adequada não possa ser encontrada (ações padrão)?

Subentende-se que o sistema no qual será implantada a MCC foi selecionado por critérios e políticas da organização, de forma que a norma SAE JA1011 não define critérios para esta seleção, porém, pode ser utilizada a norma SAE JA1012, que possui um capítulo com orientações a respeito de como preparar a implantação da MCC, inclusive levantando aspectos de gestão, cultura organizacional e financeiros (SAE JA1012, 2002).

A seguir são apresentadas as etapas essenciais para que estas questões sejam respondidas ao final da implantação do programa de manutenção, com base na norma SAE JA1011 (1999). Cada item é interpretado conforme a norma SAE JA1012 (2002), e são utilizadas outras referências para aprofundar o tema.

3.3.1 Funções

É necessário responder a seguinte questão: “quais são as funções e o padrão de desempenho desejado associado ao ativo em seu atual contexto operacional?” (SAE JA1012, 2002, p.8).

Deve ser descrito o contexto operacional no qual o ativo será utilizado, incluindo questões operacionais, de qualidade, ambientais, de segurança, quanto à intensidade da operação e o tipo de processo utilizado, se possui redundâncias e por quanto tempo o ativo pode ficar indisponível sem afetar o processo (SAE JA1012, 2002).

O usuário não apenas quer que o item cumpra sua função, mas que esta função seja executada com um determinado nível de desempenho. Desta forma, é aconselhado que a função seja descrita por um verbo, associado a um objeto e o padrão de desempenho, esperado (MOUBRAY, 1997).

As funções podem ser classificadas em primárias ou secundárias. Funções classificadas como primárias são aquelas para o qual o item foi designado no contexto da operação, por exemplo, a função primária de um trocador de calor pode ser elevar a temperatura de um fluido até uma temperatura ideal para o funcionamento do sistema (LAFRAIA, 2001), porém o mesmo trocador de calor possui outras funções que não podem ser ignoradas, por exemplo, armazenar o fluido enquanto o mesmo é aquecido, estas serão as funções secundárias.

As funções secundárias em geral são menos óbvias, ou mais difíceis de ser definidas do que as funções primárias, porém, em muitos casos a perda de uma função secundária pode acarretar em consequências muito piores do que a perda da função primária de um item (MOUBRAY, 1997).

3.3.2 Falhas Funcionais

Ao se considerar que, para equipamentos que possuem mais de uma função, é possível que o mesmo falhe em uma de suas funções, sem falhar nas demais, apontar a falha do equipamento como todo é menos preciso que definir a falha em termos de perdas de funções específicas (SAE JA1012, 2002).

A percepção da falha pode ser diferente para cada pessoa, por isso é necessário que sejam identificados todos os modos de falha que afetam as funções do sistema, quais funções são afetadas e os efeitos que a falha provoca na função.

Para isso, a MCC define duas categorias básicas de falhas: falha funcional e falha potencial. A falha funcional é definida pela incapacidade do item desempenhar a referida função, já a falha potencial indica que uma falha funcional está por ocorrer (SIQUEIRA, 2005).

Como norma SAE JA1012 menciona, as falhas totais são facilmente identificáveis, uma vez que tratam da incapacidade de o ativo cumprir sua função primária. Já as falhas parciais retratam situações em que o equipamento opera fora de um nível mínimo requerido pelo usuário. Estas precisam ser identificadas separadamente das falhas totais, pois, na maioria das vezes, tanto suas causas quanto as consequências são diferentes (SAE JA1012, 2002).

A norma também esclarece que a deterioração abaixo da capacidade inicial não pode ser tratada como falha parcial, uma vez que qualquer ativo se deteriora com o tempo, sendo que há uma tolerância para tal deterioração, até o ponto que o uso do ativo não seja mais possível. A partir deste ponto a deterioração passa a ser considerada falha parcial ou total (SAE JA1012, 2002).

Para algumas funções devem ser definidos mais de um nível ou condição de perda, visto que a falha para uma condição acima da especificada pode levar a efeitos distintos do que os efeitos da falha ocasionada por condição abaixo do nível esperado (SMITH; HINCHCLIFFE, 2003).

3.3.3 Modos de Falha

A norma SAE JA1011(1999) propõe que a MCC seja capaz de identificar os modos de falha, ou seja, os eventos causadores de cada falha funcional. São listados cinco conceitos a serem observados na determinação dos modos de falha.

- a) Identificação de modos de falha
- b) Estabelecer o que se entende por razoavelmente provável
- c) Níveis de causa
- d) Fontes de Informação
- e) Tipos de modos de falhas

Segundo a norma SAE JA1011 (1999, p.6), “todos os modos de falha razoavelmente prováveis como causa de cada falha funcional devem ser identificados”. Neste contexto, todos os modos de falha, para qualquer falha funcional possível, devem ser identificados e descritos com detalhes suficientes para se selecionar um gerenciamento de falhas apropriado, mas não demasiados a ponto de requerer tempo excessivo para o processo de análise. A descrição consiste em um substantivo e um verbo, sendo que este verbo deve ser escolhido com cuidado, porque influencia a definição da política de gerenciamento de falhas a ser utilizado. (MOUBRAY, 1997).

Um modo de falha é tido como razoavelmente provável quando pessoas treinadas para o uso de MCC e com conhecimento sobre o ativo em questão e seu funcionamento concordam que ele é provável no contexto avaliado, justificando esforço de análise aprofundada. São nestes casos que os modos de falha deverão ser listados para avaliação detalhada (SAE JA1012, 2002).

Segundo a norma SAE JA1012, decidir quais modos de falha devem ser listados ou não, pode ser difícil na prática, seja pelo nível de detalhe dado na sua descrição ou pela probabilidade de ocorrência do mesmo. Se há poucos modos de falha descritos ou poucos detalhes nas descrições, é possível que as análises sejam superficiais e pouco efetivas. Por outro lado, se houver muitos modos descritos ou detalhes em excesso, a análise demanda mais recursos do que o necessário e torna o programa de manutenção excessivamente complexo. Assim, a decisão de listar ou não determinado modo de falha deve ser ponderada pelas consequências ao programa de MCC (SAE JA1012, 2002).

Cada modo de falha também deve ser identificado a um nível de causa que permita que se defina qual a política de gerenciamento mais apropriada para a falha (SAE JA1011, 1999). Ou seja, o modo de falha descreve o que está errado na funcionalidade de um ativo e cada modo pode ser originado por um conjunto de causas, as quais devem ser descritas com o porquê de a funcionalidade estar errada (SIQUEIRA, 2005).

As possíveis fontes de informação para a criação das listas de modos de falhas são descritas pela norma SAE JA1012 (2002). Elas são importantes uma vez que,

as listas de modos de falha deverão incluir modos de falha que aconteceram anteriormente, modos de falha que estão sendo presentemente prevenidos por programas de manutenção existentes e modos de falha que ainda não aconteceram, mas que pensa-se ser razoável de acontecer (possível) no contexto operacional (SAE JA1011, 1999).

A lista de modos de falha deve considerar também os modos que não ocorreram, mas acredita-se que acontecerão no decorrer da vida útil do ativo avaliado (SAE JA1012, 2002; SIQUEIRA, 2005), sendo que todo evento ou processo que possa causar alguma falha funcional deve ser considerado para a listagem, como: deterioração, defeitos de projeto do ativo e erros humanos. Para isto, é importante entender a diferença entre o modo de falha e a causa da falha: o modo indica o que não está certo no funcionamento do item, já a causa descreve porque o item perdeu a funcionalidade (SIQUEIRA, 2005).

Ao tipificar os modos de falha, a norma SAE JA1012 explica que a deterioração se dá quando a *performance* do ativo está abaixo daquela desejada para o ativo em início de operação, o que envolve “fadiga, corrosão, abrasão, erosão, evaporação, degradação (especialmente de isolantes, lubrificantes, etc.) e assim por diante” (SAE JA1012, 2002, p.18), já Moubray (1997) divide esta categoria, separando da deterioração os modos de falha causados por lubrificação ineficiente, sujeira ou quebras.

Há situações em que o projeto de um ativo ou sistema o torna incapaz de cumprir todos os requisitos funcionais desejados pelo dono ou usuário do ativo. Se tais incapacidades conhecidamente afetam equipamentos existentes, ou caso acredite-se ser improvável que os processos de gerenciamento de construção detectem e corrijam tais deficiências de projeto para equipamentos novos, esses modos de falha devem ser listados (SAE JA1012, 2002).

A última categoria de modo de falha é a falha humana, que ocorre quando as falhas funcionais derivam da ação de seres humanos. Ela pode ocorrer de três formas: operação incorreta, incluindo os casos de sobrecarga do ativo, intencional ou não; montagem incorreta e dano externo (MOUBRAY, 1997).

3.3.4 Efeitos de Falha

Os efeitos de falha descrevem o que acontece quando cada modo de falha ocorre, considerando que não haja ação para antecipar ou detectar a falha. A descrição dos efeitos é utilizada para a posterior análise das consequências da falha, bem como para se definir quais políticas de gerenciamento de falhas precisam ser implementadas (MOUBRAY, 1997; SIQUEIRA, 2005).

A norma menciona que os efeitos de falha devem incluir “toda a informação necessária para apoiar a avaliação das consequências da falha” (SAE JA1011, 1999, p.7).

As principais políticas de gerenciamento de falhas contemplam ações de manutenção proativa e sua frequência, mas para que se identifique quais são ações corretas para cada modo, é importante que se considere que nenhuma forma de manutenção proativa está sendo tomada, partindo-se de uma base zero, de fato (SAE JA1012, 2002).

Conforme Moubray (1997) os efeitos de falha devem incluir informações sobre: evidências de que a falha ocorreu; se ela pode matar ou ferir alguém, ou ainda prejudicar ambiente; se ela prejudica a operação; quais danos físicos ela causa e o que fazer para se restaurar a função do sistema após a falha.

Siqueira (2005) diz que o efeito de falha deve descrever se há evidências do modo de falha e de que forma tais evidências podem ser verificadas, como a existência de alarmes visuais ou sonoros, alterações de velocidade de operação ou o surgimento de ruídos. Além disso, a norma SAE JA1012 (2002) menciona que devem ser descritos outros efeitos físicos que precedam ou acompanham a falha, como fumaça, fogo, despejo de material ou a existência de odores incomuns.

Se o modo de falha representa riscos para pessoas ou para o ambiente, o efeito de falha deve descrever de que forma o dano pode ocorrer, como o aumento de risco de explosão, eletrocussão, escape de químicos perigosos, exposição a acidentes com veículos ou intoxicação de alimentos ou medicamentos. Não são necessários comentários adicionais, informando que a consequência será na segurança ou meio ambiente, uma vez que a análise das consequências será realizada na próxima etapa (MOUBRAY, 1997).

A descrição dos efeitos precisa incluir também o que ocorre com a operação no caso de o modo de falha ocorrer e por quanto tempo os efeitos são observados. Os efeitos na operação dos ativos podem ser: inatividade, redução da velocidade, queda na qualidade da função desempenhada em termos de acurácia ou representada pelo aumento do nível de rejeitos, prejuízos em outros sistemas e o aumento de custos que derivam da falha, como o desperdício de materiais ou o aumento do consumo de energia (SAE JA1012, 2002; SIQUEIRA, 2005).

3.3.5 Categorias de Consequências de Falhas

Os modos de falha podem afetar a saída do processo, a qualidade do produto ou do atendimento ao cliente, a segurança ou o meio ambiente. A ocorrência de alguns modos de falha pode aumentar os custos operacionais ou expor a organização ao risco de modos de falha muito mais sérios. A importância que a organização atribuirá para cada modo de falha depende “do contexto operacional do ativo, dos padrões de desempenho que se aplicam a cada função e dos efeitos físicos de cada modo de falha” (SAE JA1012, 2002).

O nível de gravidade das consequências associadas a cada modo de falha define as ações de manutenção e o nível de esforço para impedi-lo ou reduzir suas consequências. Assim, após a análise das consequências, é possível que nenhuma ação proativa seja tomada para modos de falha que apresentem consequências consideradas de pequeno impacto pela organização, sendo o modo de falha corrigido sempre que acontecer (MOUBRAY, 1997).

As consequências dos modos de falha são mais importantes que suas características técnicas, uma vez que o gerenciamento de falhas não se limita apenas à antecipação ou prevenção dos modos de falha, mas deve também ser ferramenta para se evitar ou reduzir suas consequências (MOUBRAY, 1997; SAE JA1012, 2002).

O próximo passo do processo de MCC é, com base nas informações das etapas anteriores, analisar as consequências dos modos de falha, as quais devem ser formalmente categorizadas por: ocultos x evidentes e que apresentem consequências de ambiente ou segurança x consequências apenas econômicas. As consequências de falha devem ser avaliadas como se nenhuma tarefa preventiva fosse realizada (SIQUEIRA, 2005).

A norma SAE JA1012 (2002) define falha oculta como a que ocorre de tal forma que não pode ser descoberta até que outra falha ou evento anormal também ocorra, ou seja, seus efeitos não se tornam aparentes em circunstâncias normais, se a falha ocorrer sozinha. Falhas ocultas representam até metade dos modos de falha que podem afetar equipamentos modernos e complexos, portanto, precisam ser tratados com cuidado especial. Nas mesmas condições, se os efeitos do modo de falha forem perceptíveis, trata-se de modo de falha aparente (SAE JA1012, 2002; SMITH; HINCHCLIFFE, 2003).

No processo de avaliação é considerada também a existência de sistemas de proteção, cujo papel é amenizar a gravidade das consequências da falha daquela que é a função protegida. Havendo proteção, há novos conjuntos de possibilidades de falhas, dependendo se o modo de falha protegido é evidente ou não e se a falha da proteção é evidente ou não (SAE JA1012, 2002).

Se o modo de falha da função de proteção é evidente, há 3 possibilidades: que nenhuma das funções falhe; que a função protegida falhe antes da proteção e, neste caso, a proteção cumpre sua função; e que a proteção falhe antes da função protegida. Nesta última possibilidade, o prejuízo à proteção é evidente, o que facilita

sua correção, sendo ainda possível paralisar temporariamente a função protegida a fim de se eliminar os riscos do modo de falha protegido (SAE JA1012, 2002).

Mas, se as falhas da função de proteção não se tornam evidentes em contexto normal de operação, surgem 4 cenários possíveis: nenhuma das funções falha; a função protegida falha antes da proteção e a proteção reduz ou elimina os efeitos da falha da função protegida; a proteção falha antes da função protegida e como a falha é oculta, não há efeitos diretos já que a falha é sequer percebida e, por fim, há a possibilidade da denominada falha múltipla: quando a função protegida falha enquanto a proteção está em falha (SAE JA1012, 2002).

Outra classificação das consequências é a que distingue as distingue entre de segurança, ambientais, operacionais e não operacionais. Caso haja consequências com probabilidade inaceitável de um ser humano se machucar ou morrer, então há consequências de segurança. As consequências são ambientais se houver uma probabilidade intolerável de que possa violar normas ambientais, ou prejudicar o bem-estar social (MOUBRAY, 1997; SAE JA1012, 2002; SIQUEIRA, 2005).

Se para o modo de falha avaliado não há consequências de segurança ou ambientais, o processo de MCC deve focar nas consequências operacionais da falha, que podem ser: prejuízo às saídas do processo, à qualidade do produto, ao serviço prestado ao cliente e aumento de custos operacionais, além dos custos de reparo. Em função da natureza econômica de tais efeitos sobre o processo, em geral, eles são descritos em termos quantitativos, mas há casos em que eles podem ser descritos qualitativamente (SAE JA1012, 2002). Por fim, se as consequências não se enquadram nas categorias já descritas, elas são classificadas como não operacionais, ou seja, a única consequência observada é o custo de reparo da falha (MOUBRAY, 1997; SAE JA1012, 2002; SIQUEIRA, 2005).

A obra seminal de Nowlan e Heap (1978), bem como Moubray (1997), Smith e Hinchcliffe (2003), Siqueira (2005) entre outros autores, orientam a utilização do diagrama de decisão para orientar a análise, conforme Figura 16.

Figura 3.9 – Diagrama de decisão



Fonte: Nowlan e Heap (1978); Moubray (1997); Smith e Hinchcliffe (2003); Siqueira (2005).

Toda esta etapa da definição das funções, modos de falha, efeitos e consequências podem ser realizada utilizando a ferramenta FMEA, que realiza a análise e organiza a informação referente à cada modo de falha, seus efeitos e criticidade (LAFRAIA, 2001; SIQUEIRA, 2005).

3.3.6 Política de Gerenciamento de Falhas

Como descrito nas normas SAE JA1011 (1999) e SAE JA1012 (2002), a relação entre idade (ou exposição ao estresse) e falha é fator primordial para a seleção da política de gerenciamento de falhas:

O processo de seleção de política de gerenciamento de falha considerará o fato de que a probabilidade condicional de alguns modos de falha crescerá com a idade (ou exposição ao esforço), de que a probabilidade condicional de outros modos não mudará com a idade, e de que a probabilidade condicional de alguns outros decrescerá com a idade (SAE JA1011, 1999).

A MCC determina que qualquer atividade de manutenção, para ser aplicável, garanta um dos seguintes objetivos: prevenir modos de falhas, reduzir a deterioração, detectar a evolução de falhas, descobrir falhas ocultas ou reparar o item após a falha (SIQUEIRA, 2005).

Tratando da política baseada em tarefas, elas podem ser programadas, sob condição, de descarte, de restauração ou de busca de falhas. Quanto a relação entre a classificação das consequências do modo de falha e os efeitos esperados com a realização das tarefas programadas, elas devem estar de acordo com os seguintes critérios:

- Se o modo de modo de falha é evidente com consequências de segurança ou ambientais, a probabilidade de falha deve ser reduzida a um nível tolerável ao proprietário ou usuário do ativo pela tarefa e caso não exista nível de risco tolerável alterações no projeto devem ser realizadas (LAFRAIA, 2001).
- Se o modo de falha for oculto cuja falha múltipla tenha consequências de segurança ou ambientais, a tarefa deverá reduzir a probabilidade do modo de falha oculto a um nível que reduza a probabilidade da falha múltipla ao nível tolerável. Deve ser testada a aplicabilidade e efetividade de todas as tarefas possíveis (SIQUEIRA, 2005).
- Caso o modo de falha, evidente, não tenha consequências de segurança ou ambientais, os custos diretos e indiretos para a tarefa devem ser menores do que os custos diretos e indiretos do modo de falha. Todas as atividades devem ser avaliadas, incluindo a possibilidade de rodar até falhar, visto que não há riscos de segurança e ambientais (SIQUEIRA, 2005).
- Se o modo de falha é oculto e a falha múltipla associada não tenha consequências de segurança ou ambientais, os custos diretos e indiretos do desempenho dessa tarefa deverão ser menores do que os custos diretos e indiretos do modo de falha acrescidos dos custos de reparo da falha oculta (SAE JA1012, 2002).

A norma SAE JA1012 (2002) chama atenção para os dispositivos de monitoramento, cuja ação deve ser tratada como tarefa programada, e a necessidade de se considerar seus custos:

Os dispositivos de monitoramento integrados constituem uma tarefa programada, [...]. Portanto, eles devem estar sujeitos aos mesmos critérios de seleção que qualquer outra forma de tarefa agendada. Observe também que esses dispositivos exigem design, instalação e manutenção, que também devem ser considerados ao avaliar sua relação custo-benefício (SAE JA1012, 2002)

Adicionalmente, para a execução de tarefas sob condição os seguintes requisitos devem ser atendidos, conforme Moubray (1997):

- A definição de uma falha potencial clara;
- O intervalo da tarefa de execução da tarefa deve ser menor do que o menor intervalo P-F e isso precisa ser fisicamente possível;

A MCC admite duas tarefas nos casos em que nenhuma atividade preventiva seja eficiente na eliminação ou mitigação do modo de falha e suas consequências: mudança de projeto ou reparo funcional. O reparo funcional, no qual se executa a manutenção corretiva, a fim de recolocar o equipamento para funcionar e aguardar uma nova falha, só é permitido quando as consequências não envolvam segurança ou o meio ambiente, nestes casos é obrigatória a mudança de projeto, que pode ser desde alteração no equipamento ou no processo (SIQUEIRA, 2005).

A norma SAE JA1011 (1999) lembra que tarefas de busca de falhas não se aplicam para modos de falhas evidentes e para serem aplicáveis, há os seguintes requisitos:

- O intervalo de execução da tarefa deve considerar a necessidade de se reduzir a probabilidade da falha múltipla do sistema protegido a um nível que seja tolerável ao proprietário/usuário do ativo, bem como qualquer probabilidade de que a própria tarefa deixe a função oculta em estado de falha
- A tarefa deve confirmar se todos os componentes descritos no modo de falha estão em condições de operação normal

Segundo a norma SAE JA1012 (2002), há duas abordagens possíveis para a seleção de políticas de gerenciamento de falhas. A primeira é uma abordagem rigorosa que é levada a uma política de gerenciamento com custos otimizados para lidar com cada modo de falha no FMEA. A segunda é a utilização de diagramas de decisão, que são populares por sua rapidez e custos reduzidos para implementação. A norma SAE JA1012 (2002, p.44) lembra que “o uso dos diagramas de decisão introduz um elemento de sub otimização no processo de seleção da política de gerenciamento de falhas, do ponto de vista do custo”.

Siqueira (2005) e Smith e Hinchcliffe (2003) ressaltam a importância de que a adoção das técnicas e atividades para prevenção ou inspeção não sejam baseadas apenas na sofisticação tecnológica, mas sim em sua aplicabilidade na resolução do problema e na efetividade econômica.

Ao fim da implantação da MCC é comum que até 10% dos processos sejam reprojatados em sua estrutura física, no procedimento operacional ou na capacidade produtiva e treinamento de pessoal. Estas alterações devem ser aprovadas pela equipe auditora e implementadas minuciosamente e o mais rápido possível (MOUBRAY, 1997).

3.3.7 Gerenciamento do Programa de MCC

A norma SAE JA1011 (1999) reconhece as dificuldades para o gerenciamento de programas de MCC, especialmente em seu início, em função da falta ou imprecisão de dados utilizados nas primeiras análises. Com o desenvolver do programa são registrados e analisados dados mais precisos.

Moubray (1997), enfatiza que o sucesso da implantação de um programa de MCC necessita de muita informação, seja ela qualitativa ou quantitativa, a qual deve ser obtida através da experiência da equipe. Sugere, também, que pequenos grupos podem ser formados, obtendo pontos de vistas distintos para as tomadas de decisão. Fogliato e Ribeiro (2011), cita que o conhecimento acumulado pelas equipes irá possibilitar a continuidade do programa e seu aprimoramento.

Siqueira (2005) cita que ainda que o programa seja perfeitamente implantado, recomenda-se monitorar, avaliar e acompanhar constantemente os pontos abaixo:

- Reparos funcionais não cobertos por atividades preventivas;
- Modificações no projeto das instalações;
- Disponibilidade de novas técnicas e informações;
- Custos e benefícios;
- Modificações no contexto operacional.

Assim, é essencial que haja revisão periódicas das informações utilizadas como base para as decisões do programa de MCC e das próprias decisões tomadas. No processo de revisão, todas as perguntas propostas para a elaboração do programa devem ser respondidas de modo consistente, tal qual na elaboração inicial do programa (SAE JA1011, 1999; SAE JA1012, 2002).

O resultado esperado ao final da implantação é a otimização das tarefas de manutenção, dado o contexto operacional, com uma redução no custo das atividades de manutenção preventiva e mão de obra de manutenção na ordem de 30% a 40%, ainda que haja um aumento na quantidade de tarefas preventivas (LAFRAIA, 2001).

No decorrer da implantação da MCC, deve-se acompanhar os resultados que estão sendo obtidos e comparar com os objetivos esperados do programa, ou seja, se as questões fundamentais estão sendo respondidas, para que as devidas correções sejam efetuadas, buscando assim o sucesso da implantação (SMITH; HINCHCLIFFE, 2003).

4 PREPARAÇÃO DA ESTRUTURA PARA A MCC

No decorrer deste capítulo são apresentados os estudos de confiabilidade atual da frota, bem como a preparação da área para um programa de MCC. Não serão feitas considerações a respeito dos resultados, uma vez que no capítulo 5 será realizada toda a discussão e análise dos dados e resultados obtidos.

Ao analisar a estrutura e operação da área de Ações Móveis da empresa estudada, é possível distinguir dois grandes sistemas críticos: o caminhão (cavalo mecânico e munk) e as unidades móveis (carretas).

Após a autorização da gerência da área, seguiu-se a coleta de dados do sistema atual de registros de abastecimentos e manutenções, bem como o treinamento da equipe de motoristas sobre o modelo de manutenção centrada em confiabilidade.

Ao analisar os relatórios foram observadas inconsistências nos registros do que realmente foi executado ou ainda o que levou à parada do veículo, por este motivo, optou-se por realizar a análise de confiabilidade apenas dos sistemas caminhão e unidade móvel, considerando que o registro da parada ocorreu, não aprofundando a análise a nível de subsistema ou componentes.

4.1 CONFIABILIDADE ATUAL DA FROTA

Com as datas de cada parada para manutenção foram realizadas análises de confiabilidade dos sistemas que demonstram a situação inicial da frota antes da implantação do sistema.

Para realizar as análises foi utilizado o software Weibull++®, da ReliaSoft. Como os dados continham dados censurados foi utilizado método de Máxima Verossimilhança para a estimação dos parâmetros e melhor aderência da amostra à distribuição.

4.1.1 Análise do Sistema Caminhão

Como já citado, no total são 7 veículos que movimentam as estruturas móveis por todo o Estado. Cada veículo passa por revisão preventiva geral a cada 30.000km e atualmente os veículos circulam em média 3.000km por mês, logo, a cada 10 meses cada veículo para ao menos uma vez para realizar a revisão geral.

O objetivo da implantação do programa de MCC é atingir uma confiabilidade de 90% de cada veículo rodar sem falhas no período de 30 dias, de forma que, considerando-se as paradas por falhas e as por revisões preventivas, se tenha no máximo duas paradas de veículo por mês, sendo uma planejada e uma não planejada. Desta forma será possível garantir a instalação das unidades móveis dentro dos prazos determinados.

Ao agrupar todos os dados das paradas dos caminhões, considerando que o contexto operacional é o mesmo para todos eles, observa-se que a confiabilidade da frota está abaixo do esperado para 30 dias, resultando em $R(t)=0,72$, conforme Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Confiabilidade atual da frota de caminhões

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
$R(t=30)$	0,71881

Fonte: O autor (2019)

A distribuição que melhor representou a amostra foi a *Weibull*, com os parâmetros da função descritos no Quadro 4.2.

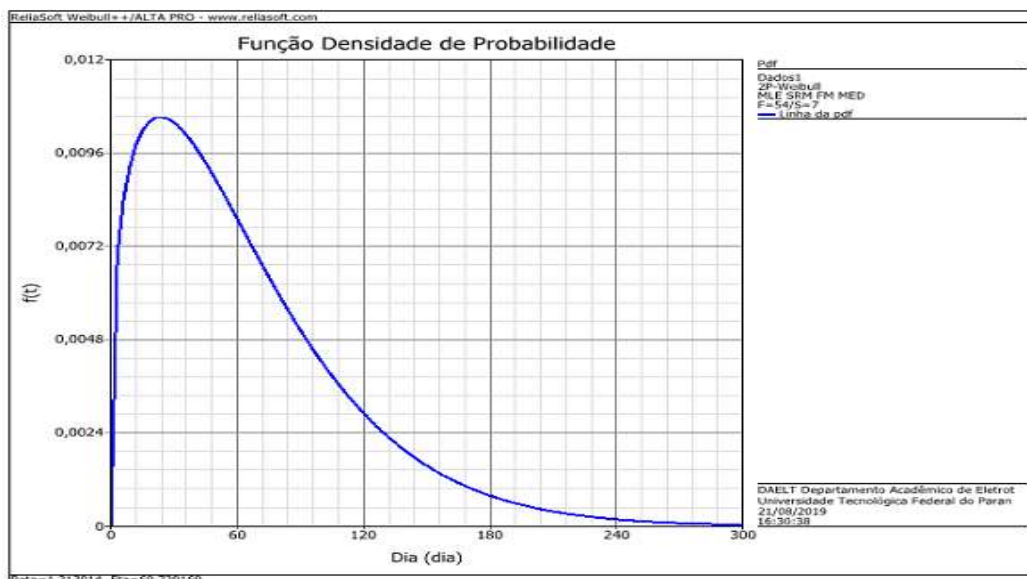
Quadro 4.2 – Parâmetros da distribuição da frota de caminhões

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	1,313914
Eta (dia)	69,729169
Valor da LK	-277,522001
F \ S	54 \ 7
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,020094	CV Eta Beta=0,241982
CV Eta Beta=0,241982	Var-Eta=55,069761

Fonte: O autor (2019)

A função densidade de probabilidade está representada no Gráfico 4.1. É possível observar que existe uma concentração de tempos entre paradas dos veículos com menos de 60 dias.

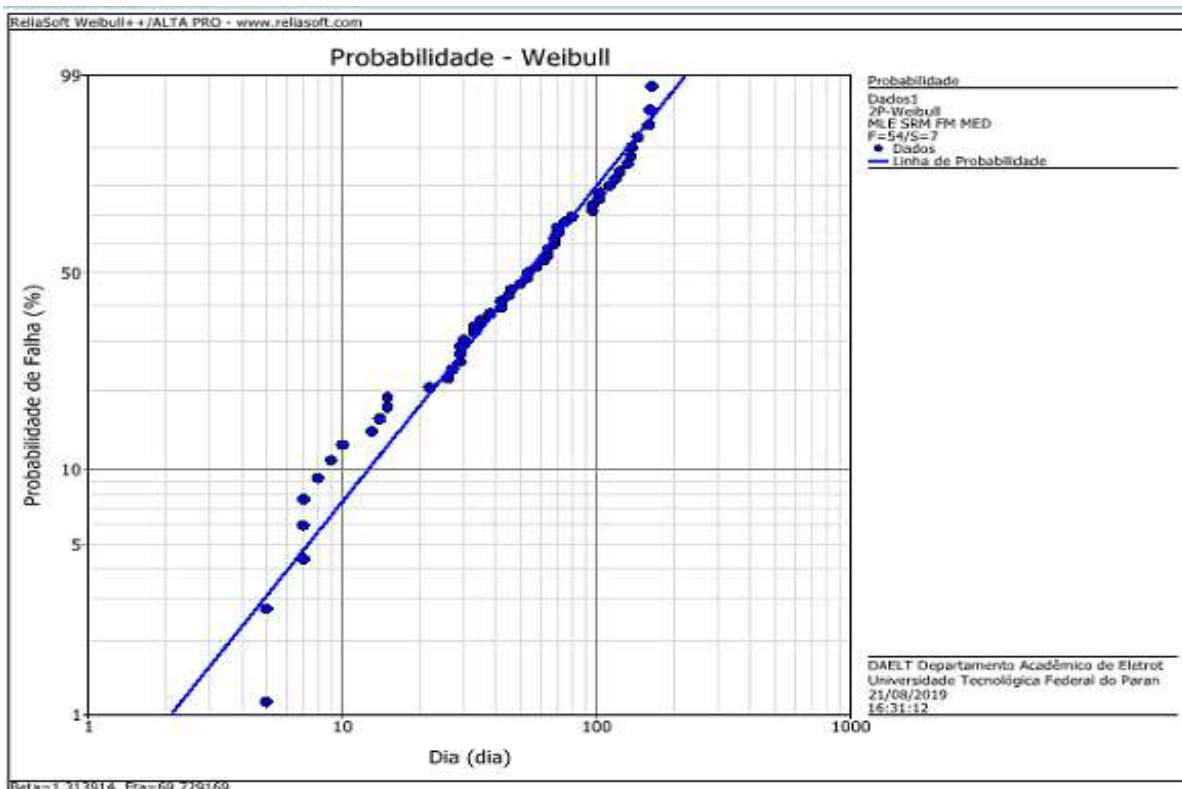
Gráfico 4.1 – PDF frota de caminhões



Fonte: O autor (2019)

O Gráfico 4.2 mostra a linearização da CDF, confirmando que os dados da amostra seguem a distribuição escolhida, validando assim a análise.

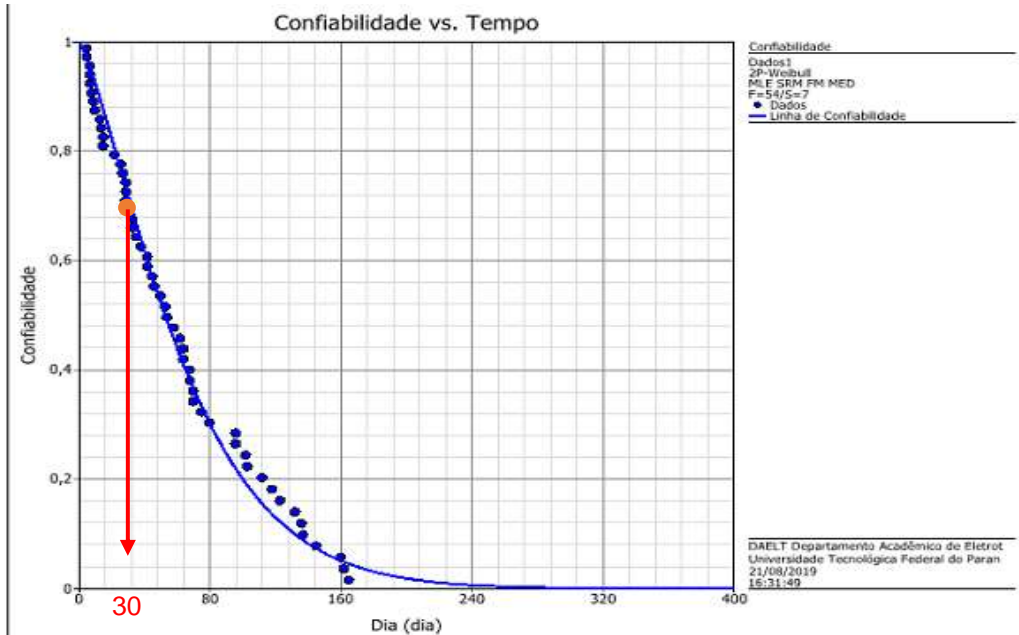
Gráfico 4.2 – Aderência do modelo para frota de caminhões



Fonte: O autor (2019)

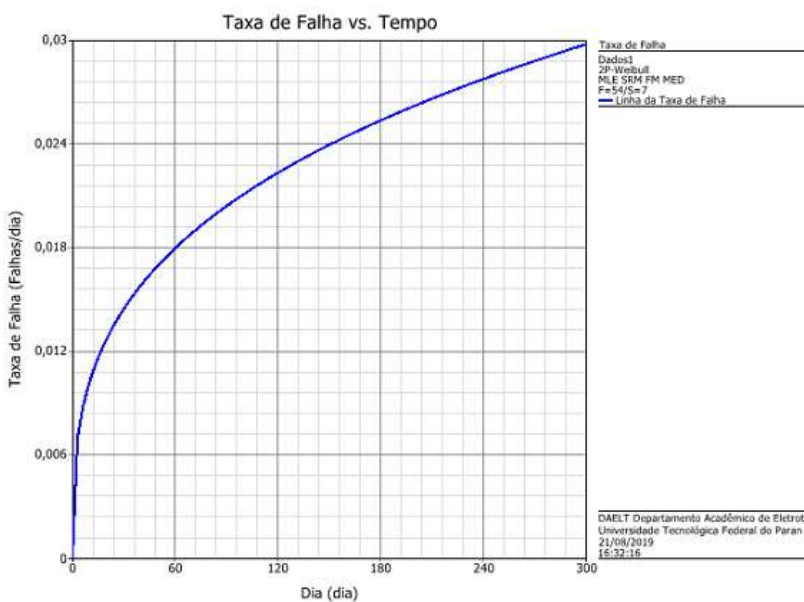
A função confiabilidade, $R(t)$, é apresentada no Gráfico 4.3. Observa-se que a confiabilidade para tempos de operação entre falhas maiores que 30 dias, que é o tempo de referência para os caminhões, fica abaixo de 70%.

Gráfico 4.3 – Função R(t) da frota de caminhões



Fonte: O autor (2019)

Ao observar o parâmetro β , nota-se que é maior que zero, isto sugere que a taxa de falhas, $\lambda(t)$, é crescente ao longo do tempo. Isto pode ser comprovado por meio do Gráfico 4.4.

Gráfico 4.4 – Função $\lambda(t)$ da frota de caminhões

Fonte: O autor (2019)

Calculando-se quanto tempo a frota de caminhões poderia rodar sem falhas, com 90% de confiabilidade, chega-se ao resultado de 12,5 dias, como demonstrado no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Dias sem falha em caminhões para 90% de confiabilidade

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Confiabilidade Requerida	0,9
Saída do Weibull++	
t(R=0,9)	12,577360 dia

Fonte: O autor (2019)

Finalizando os dados da frota de caminhões, foi calculado o MTBF da frota, Quadro 4.4, que será discutido em mais detalhes no Capítulo 5.

Quadro 4.4 – MTBF da frota de caminhões

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	64,264449 dia

Fonte: O autor (2019)

Após o estudo da frota, foram gerados os relatórios de cada veículo, que podem ser vistos no Apêndice 1, contemplando os parâmetros da distribuição, a PDF, a curva taxa de falhas e o MTBF, a fim de aprofundar o conhecimento da vida

de cada caminhão e, posteriormente, acompanhar a evolução da confiabilidade com o programa implantado.

4.1.2 Análise do Sistema Unidade Móvel

Da mesma forma que realizado com a frota de caminhões, foi feito o estudo de confiabilidade da frota de unidades móveis, considerando apenas o tempo entre uma parada e outra.

O Quadro 4.5 apresenta os parâmetros da distribuição *Weibull* com 2 parâmetros, a qual a apresentou melhor ajuste à amostra.

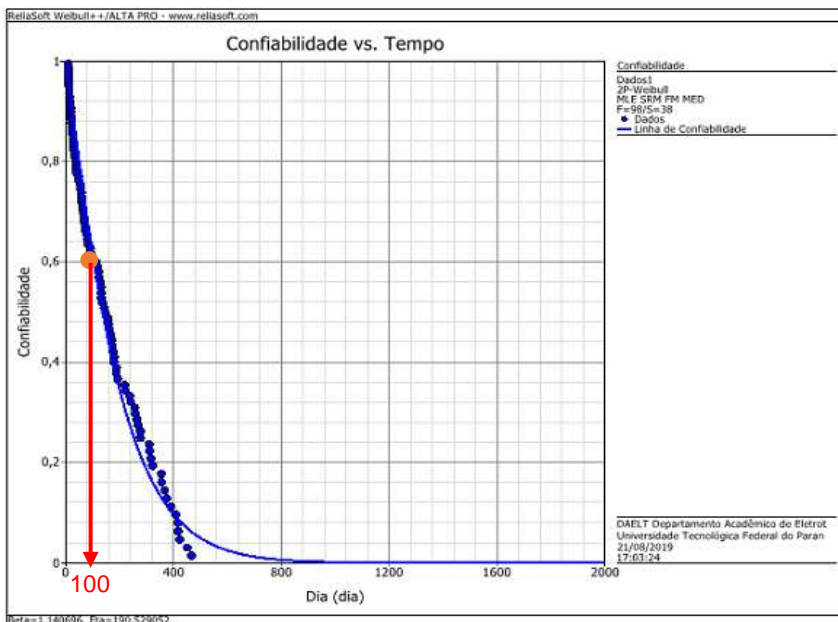
Quadro 4.5 – Parâmetros da distribuição da frota de unidades móveis

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	1,140696
Eta (dia)	190,529052
Valor da LK	-610,408415
F \ S	98 \ 38
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,008179	CV Eta Beta=0,124628
CV Eta Beta=0,124628	Var-Eta=286,578801

Fonte: O autor (2019)

A função confiabilidade, $R(t)$, é apresentada no Gráfico 4.7. Nota-se que a chance de uma unidade móvel rodar acima de 100 dias sem falhar é abaixo de 60%.

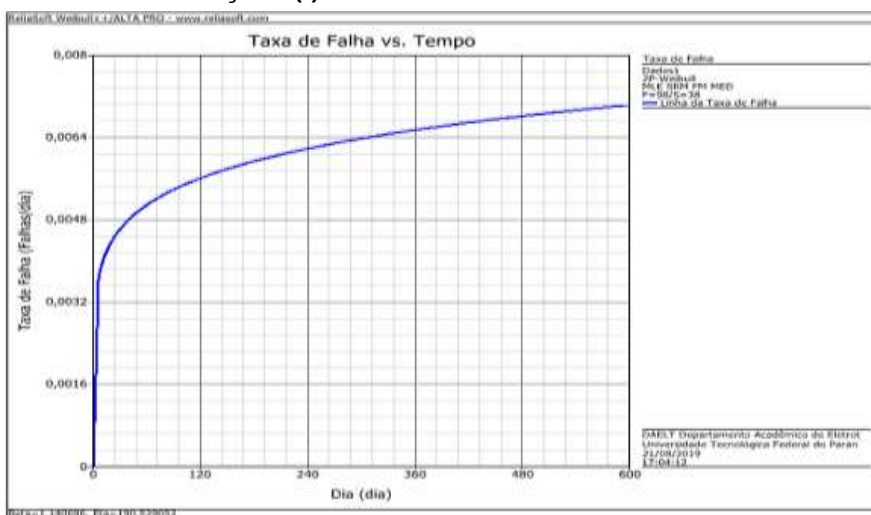
Gráfico 4.7 – Função $R(t)$ da frota de unidades móveis



Fonte: O autor (2019)

Novamente o parâmetro β é levemente maior que 1, indicando a taxa de falhas, $\lambda(t)$, crescente ao longo do tempo, representado no Gráfico 4.8.

Gráfico 4.8 – Função $\lambda(t)$ da frota de unidades móveis



Fonte: O autor (2019)

Considerando que as unidades móveis ficam aproximadamente 30 dias paradas e rodam aproximadamente 3.000km no ano, foi definido como objetivo a

frota rodar 6 meses sem falhas, com confiabilidade de 90%. Os dados iniciais ficaram bem abaixo desta expectativa, como mostrado no Quadro 4.6.

Quadro 4.6 – Confiabilidade atual da frota de unidades móveis

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	180
Saída do Weibull++	
R(t=180)	0,391719

Fonte: O autor (2019)

Para se entender melhor o sistema, foi calculada a quantidade de dias que a frota de UM funcionaria sem falhas, com 90% de confiabilidade, chegando-se em 26 dias, conforme Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Dias sem falhas de UMs para 90% de confiabilidade

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Confiabilidade Requerida	0,9
Saída do Weibull++	
t(R=0,9)	26,496237 dia

Fonte: O autor (2019)

Por fim, foi calculado o MTBF da frota de unidades móveis, resultando em 181 dias entre falhas em média, conforme Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – MTBF da frota de unidades móveis

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	181,761214 dia

Fonte: O autor (2019)

Para aumentar a credibilidade da informação ao longo do tempo, foi implantado um relatório de manutenção para cada motorista, conforme Apêndice 2, no qual deverá ser registrada qualquer intervenção de manutenção nos caminhões ou nas unidades móveis. Este relatório foi pensado para ser preenchido de maneira prática pela equipe de motoristas sem prejudicar as rotinas do trabalho. O mesmo deverá ser repassado mensalmente ao coordenador da área para ser lançado no sistema informatizado, pelo qual serão gerados os indicadores globais de manutenção e também indicadores de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.

4.2 SUBSISTEMAS E ANÁLISE DE PARETO

O primeiro passo para a aplicação da MCC, baseado na norma SAE JA1011 (1999) é definir os sistemas e subsistemas de interesse. O Quadro 4.9 mostra a divisão dos sistemas em seus subsistemas.

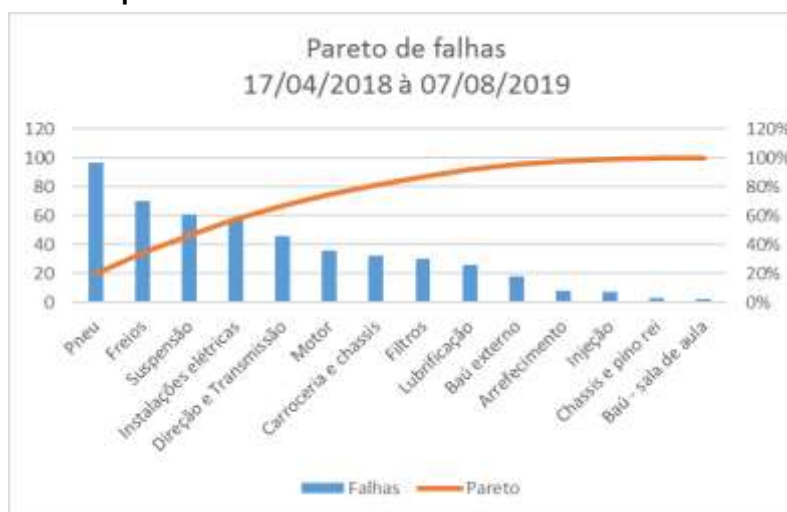
Quadro 4.9 – Sistemas e Subsistemas

Sistemas	ID_SIS	Subsistemas	ID_SUB
Unidade Móvel	UM	Baú externo	UM-BEX
		Baú - sala de aula	UM-BSA
		Chassis e pino rei	UM-CPR
		Freios	UM-FRE
		Instalações elétricas	UM-IEL
		Instalações pneumáticas	UM-IPN
		Pneus	UM-PNE
		Suspensão	UM-SUS
Caminhão	CM	Arrefecimento	CM-ARR
		Carroceria e chassis	CM-CCH
		Direção e Transmissão	CM-DTR
		Filtros	CM-FIL
		Freios	CM-FRE
		Injeção	CM_INJ
		Instalações elétricas	CM-IEL
		Instalações pneumáticas	CM-IPN
		Lubrificação	CM-LUB
		Motor	CM-MOT
		Pneus	CM-PNE
		Suspensão	CM-SUS

Fonte: O autor (2019)

A implantação da MCC inicialmente focará nos subsistemas de suspensão, freios e pneus dos veículos, por serem elementos comuns entre os caminhões e as unidades móveis, com impacto direto na segurança, além da quantidade de intervenções nestes, conforme análise de Pareto mostrada no Gráfico 4.9.

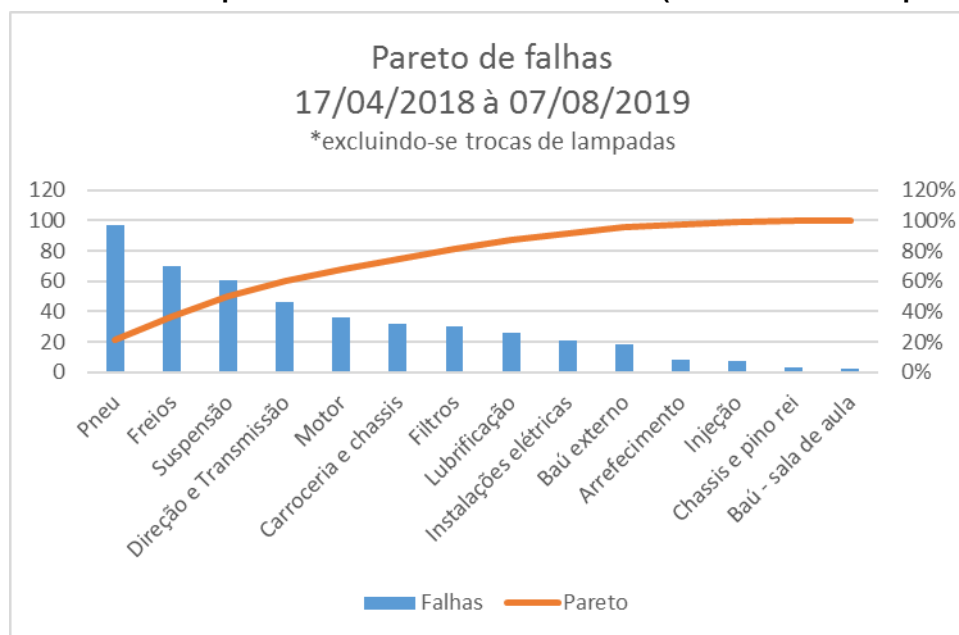
Gráfico 4.9 – Pareto da quantidade de falhas x subsistema



Fonte: O autor (2019)

O subsistema Instalações elétricas também teve muitas intervenções, porém, ao analisar os modos de falha foi observado que 37 das 58 intervenções foram apenas troca de lâmpadas, item de fácil identificação, cuja verificação faz parte da rotina dos motoristas. Excluindo-se as trocas de lâmpadas, se obtém o Gráfico 4.10, o qual dá suporte à escolha dos subsistemas a serem analisados, considerando que os subsistemas suspensão e freios correspondem a 79% das intervenções realizadas.

Gráfico 4.10 – Pareto da quantidade de falhas x subsistema (sem trocas de lâmpadas)



Fonte: O autor (2019)

Estes subsistemas servirão para o aprendizado da equipe para posteriormente expandir a aplicação da MCC a outros subsistemas e até mesmo outros sistemas ou áreas da empresa.

4.3 FUNÇÕES DOS SISTEMAS E SUBSISTEMAS

Definido os sistemas e subsistemas que constituem parte inicial da aplicação da MCC, parte-se para a descrição das funções destes elementos, segundo o especificado pelo item 5.1 da norma SAE JA1011 (1999), que determina que devem ser identificadas todas as funções, sejam elas primárias ou secundárias e o padrão

de desempenho esperado conforme contexto operacional definido. As funções dos subsistemas pneus, freios e suspensão, estão descritas no Quadro 4.10.

Quadro 4.10 – Funções dos subsistemas estudados

Subsistemas	Função Primária e Secundárias	ID_Função
CM-FRE	Parar totalmente o veículo em casos de emergência (frenagem brusca), trafegando em velocidade média de 80km/h, em menos de 100m.	CM-FRE-A
	Manter o veículo parado quando o freio de estacionamento está acionado.	CM-FRE-B
	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista, conforme força aplicada no pedal de freio.	CM-FRE-C
	Permitir movimento livre do veículo quando não acionados os freios de serviço e de estacionamento	CM-FRE-D
CM-SUS	Reduzir tensões no chassi e compensar diferenças de altura entre o veículo e solo em terrenos irregulares e curvas acentuadas, mantendo a aderência e capacidade de tração dos pneus para o solo.	CM-SUS-A
	Manter a altura do veículo em relação ao solo quando em pisos planos em movimento estável ou parado.	CM-SUS-B
	Absorver impactos entre as rodas e o solo, mantendo o conforto dos ocupantes, bem como evitando avarias a cargas.	CM-SUS-C
CM-PNE	Resistir às sobrecargas dinâmicas na aceleração	CM-PNE-A
	Suportar o peso do veículo	CM-PNE-B
UM-FRE	Parar totalmente o veículo em casos de emergência (frenagem brusca), trafegando em velocidade média de 80km/h, em menos de 100m.	UM-FRE-A
	Manter o veículo parado quando o freio de estacionamento está acionado.	UM-FRE-B
	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista, conforme força aplicada no pedal de freio.	UM-FRE-C
	Permitir movimento livre do veículo quando não acionados os freios de serviço e de estacionamento	UM-FRE-D
UM-SUS	Reduzir tensões no chassi e compensar diferenças de altura entre o veículo e solo em terrenos irregulares e curvas acentuadas, mantendo a aderência e capacidade de tração dos pneus para o solo.	UM-SUS-A
	Manter a altura do veículo em relação ao solo quando em pisos planos em movimento estável ou parado.	UM-SUS-B
	Absorver impactos entre as rodas e o solo, mantendo o conforto dos ocupantes, bem como evitando avarias a cargas.	UM-SUS-C
UM-PNE	Resistir às sobrecargas dinâmicas na aceleração	UM-PNE-A
	Suportar o peso do veículo	UM-PNE-B

Fonte: O autor (2019)

4.3.1 Funcionamento dos subsistemas de interesse

O funcionamento de cada subsistema foi estudado pela equipe, com base nos manuais do fabricante e catálogos técnicos. A experiência dos motoristas foi levada

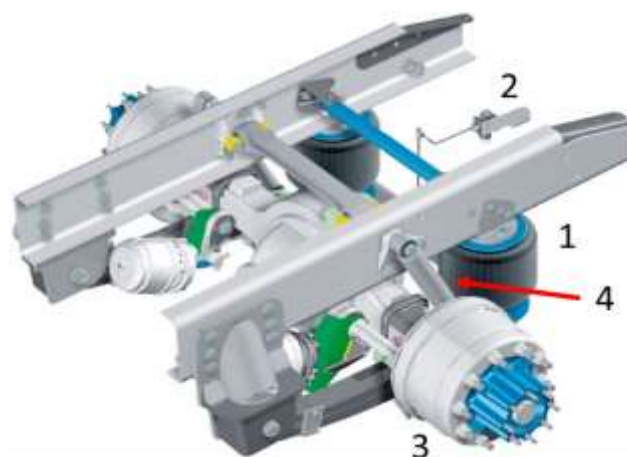
em consideração neste ponto, valorizando o conhecimento da equipe para entender os pontos mais importantes de cada subsistema.

4.3.1.1 Subsistema de Suspensão

A suspensão dos caminhões e das unidades móveis é do tipo pneumática, que se distingue das suspensões comuns por substituir as molas metálicas por bexigas de ar comprimido, chamadas de molas pneumáticas, bolsões ou simplesmente bexigas. A principal vantagem deste sistema é manter o sistema mais estável, aumentando o conforto dos ocupantes do veículo e reduzindo impactos à carga transportada.

O sistema é composto pelas molas pneumáticas, que apoiam o eixo por um rígido sistema de fixação, conforme Figura 4.1. As molas (1) suportam o peso do veículo e mantêm a pressão de contato entre o pneu e o solo. Para manter a altura sob controle, há uma válvula de nível (2), que é acionada por uma haste presa ao eixo das rodas (3). Quando o eixo sobe, a válvula aumenta a pressão do ar nas molas pneumáticas, forçando o eixo para baixo. Ao passar por um buraco, por exemplo, o eixo desce e a válvula de nível esvazia um pouco as molas pneumáticas, aproximando o veículo suavemente, mantendo a altura do sistema sob controle. Esta variação da altura é amortecida pelos amortecedores hidráulicos (4), que absorvem os impactos da movimentação.

Figura 4.1 – Sistema de suspensão pneumática

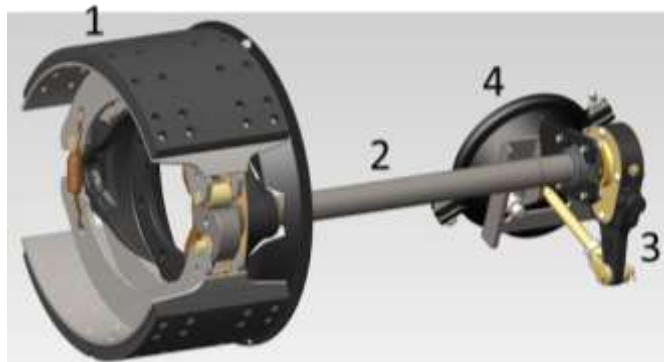


Fonte: Senai-DN (2015b)

4.3.1.2 Subsistema de Freios

O subsistema de freios é o responsável por reduzir a velocidade do veículo, dissipando a energia cinética por meio do atrito entre o tambor e a lona de freio (1). Este mecanismo de frenagem é acionado pelo eixo S (2), movimentado pela alavanca (3) conectada ao cilindro pneumático de freio (4), conforme Figura 4.2.

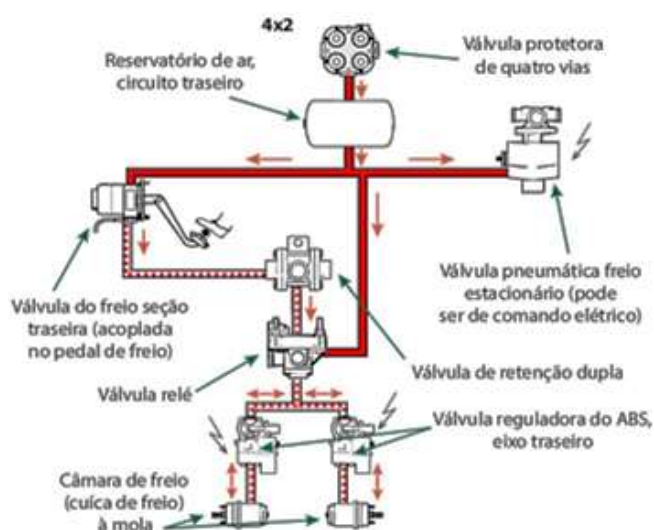
Figura 4.2 – Mecanismo de frenagem



Fonte: Kaderli (2019)

Nos veículos estudados, o freio é do tipo pneumático. O acionamento se dá pelo pedal de freio ou pela alavanca do freio de estacionamento que possuem válvulas pneumáticas que comandam o acionamento da válvula relé, responsável por enviar o ar comprimido aos cilindros de freio, conforme Figura 4.3.

Figura 4.3 – Sistema de acionamento dos freios



Fonte: SENAI-DN (2015a)

4.3.1.3 Subsistema de Pneus

Faz parte do subsistema pneus todo o conjunto associado à manutenção da pressão dos pneus, além do próprio pneu. Dentro deste subsistema as maiores falhas foram detectadas nos componentes associados ao conjunto rodocalibrador (rodoar), mais especificamente à parte das conexões, representado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Sistema de acionamento dos freios



Fonte: Silva (2007)

O rodocalibrador é um conjunto que monitora a pressão dos pneus e dá sinais ao motorista caso a pressão esteja fora da faixa de tolerância. Ao detectar queda de pressão é liberada pressão de ar para corrigir a calibragem dos pneus. Este conjunto é acoplado ao sistema pneumático do caminhão por meio de uma válvula de 4 vias, não influenciando os demais circuitos dependentes do ar comprimido (SILVA, 2007).

4.4 FALHAS FUNCIONAIS, MODOS E EFEITOS

Definidas as funções e, após compreender o funcionamento e as falhas funcionais de cada subsistema, foi elaborado o FMECA (análise de modos de falha,

efeitos e criticidade) dos sistemas. Para esta análise foram utilizados modelos baseados na norma SAE J1739 (2009), em Siqueira (2005) e Dias *et al.* (2011).

Embora as funções dos subsistemas de cada sistema sejam similares, sendo em alguns casos idênticas, a análise deve ser realizada separadamente, visto que são sistemas com componentes diferentes e formas de utilização e contexto operacional distintos, por isso foi criado um FMECA para cada sistema.

4.4.1 FMECA

A partir dos modos de falha identificados foram analisados os efeitos no local, no sistema e no entorno do sistema (planta). Todas as possíveis causas para os respectivos modos de falha foram listadas, e a criticidade de cada modo de falha foi definida pelo Número de Prioridade de Risco (NPR), sendo o produto da avaliação da severidade, ocorrência e dificuldade de detecção, com base no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 – Critérios de severidade, ocorrência e detecção

Severidade (S)		Ocorrência (O)		Dificuldade de detecção (D)	
Categoria	Descrição	Categoria	Descrição	Categoria	Descrição
1 - 2	Insignificante	1 - 2	Improvável	1	Fácil
3 - 4	Menor	3 - 4	Remota	2	Regular
5 - 6	Maior	5 - 6	Ocasional	3	Difícil
7 - 8	Perigosa	7 - 8	Provável	4	Muito difícil
9 - 10	Catastrófica	9 - 10	Frequente		

Fonte: Dias *et al* (2011)

Os efeitos foram analisados em três níveis: local, sistema e planta. Segundo a norma SAE JA1011 (1999), a descrição dos efeitos deve ser suficientemente detalhada para auxiliar a análise das consequências, porém não podem ser exageradas para não induzir à uma política de gerenciamento de falhas onerosa ou muito extensa desnecessariamente.

O Quadro 4.12 mostra a primeira página do FMECA do subsistema freios do sistema caminhão. O FMECA completo dos sistemas e subsistemas analisados pode ser visto no Apêndice 3.

Quadro 4.12 – FMECA do sistema caminhão, subsistema freios



FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis



Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Freios	CM-FRE	30/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
CM-FRE-A	Parar totalmente o veículo em casos de emergência (frenagem brusca), trafegando em velocidade média de 80km/h, em menos de 100m.	CM-FRE-A.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	CM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Não para o veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na regulagem da válvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	3	Não há	4	120
		CM-FRE-A.2	Frenagem deficiente, tempo até a parada acima do especificado	CM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha na válvula reguladora de pressão; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há	2	64
				CM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	112
				CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	7	Não há	2	112
				CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	2	Não há	1	12

Fonte: O autor (2019)

4.5 CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS

Conforme o item 5.4.2 da norma, é exigido que as consequências das falhas sejam analisadas segundo os impactos na segurança, no meio ambiente, além dos impactos operacionais ou econômico-financeiros, bem como qual ação deve ser tomada após caso a falha venha a ocorrer (SAE JA1011, 1999).

Independentemente da classificação da consequência das falhas, a norma indica que pode haver uma ação corretiva a ser realizada após a falha. Conforme o item 5.4.2-d, a tarefa corretiva prevê o que se deve fazer imediatamente após a detecção da falha para restaurar a função perdida, quando possível (SAE JA1011, 1999).

O Quadro 4.13 descreve a análise da categoria de falha seguindo o diagrama de decisão, apresentado no Capítulo 3, bem como a ação corretiva a ser realizada pelo motorista, quando aplicável. As análises das categorias das demais falhas e sistemas podem ser vistas no Apêndice 4.

Quadro 4.13 – Análise das categorias de falhas



FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis



Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Freios	CM-FRE	30/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
CM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	SIM	SIM	SIM	ESA	120	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e substituir válvula relé.
CM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	SIM	SIM	SIM	ESA	64	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e realizar regulagem da pressão ou identificar ponto de vazamento para realizar a eliminação do mesmo.
CM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar os ajustes necessários.
CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças desgastadas.
CM-FRE-B.1.2	Válvula estacionária não	SIM	SIM	SIM	ESA	6	Calçar as rodas do veículo e corrigir regulagem da válvula estacionária ou acionar

Fonte: O autor (2019)

Após a classificação das falhas, foram analisadas as consequências das falhas avaliadas com maior nível de prioridade de risco. Inicialmente foram analisadas as consequências de todas as falhas com NPR acima de 90 pontos. Após a implantação destas ações e estabelecido o sistema de gerenciamento do programa, esta análise será expandida aos demais itens que impactam principalmente a segurança e o meio ambiente, conforme apresentado no Quadro 4.14. A lista análise completa das consequências pode ser vista no Apêndice 5.

Quadro 4.14 – Análise das consequências das falhas

Responsável Técnico		Sistema	Id_Sistema	Data de criação	Aprovado por	Versão Fm
Everson Buch		Caminhão	CM	19/08/2019		1.0

Equipe multidisciplinar			Data de Revisão	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis				

Id_Modo de Falha	Categoria	NPR (S.O.D)	Consequência	Tarefas Possíveis										Tarefa Proposta	Id_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional					
CM-PNE-B.1.1	OSA	320	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1			3							2	Inspeccionar calibragem dos pneus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	OP01
CM-FRE-B.2.2	OSA	192	Caminhão destravado quando estacionado, gerando risco de movimento desgovernado, colisões e atropelamentos.				1								Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV01
CM-PNE-B.2.1	ESA	128	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1											Observar se existem ruídos de vazamento.	OP02
CM-FRE-A.1.1	ESA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.						1						Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF01
CM-FRE-C.1.1	OSA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.						1						Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF02
CM-SUS-A.2.1	OSA	120	Veículo instável nas curvas com alto risco de tombamento ou perda de direção.				1								Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV02
CM-FRE-A.2.2	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.										1		Realizar manutenção corretiva no conjunto.	PV03
CM-FRE-A.2.3	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1								Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV04
CM-FRE-C.2.3	OSA	98	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1								Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV05

Fonte: O autor (2019)

4.6 POLÍTICA DE GERENCIAMENTO DE FALHAS

Para que o programa seja implantado de forma adequada, considerando que a equipe gestora possui poucos recursos humanos, bem como existe uma preocupação com a adaptação da equipe logística, foi estabelecido um cronograma de implantação com pequenas entregas parciais por parte de toda a equipe, baseado na metodologia Ágil para gestão de projetos.

Os princípios de *Agile* (Ágil, em tradução literal), descritos no *Agile Manifesto* (BECK et al, 2001), foram inicialmente pensados para a área de desenvolvimento de softwares, mas são vastamente utilizados em projetos não relacionados a Tecnologia da Informação (TI) (SERRADOR; PINTO, 2015). Eles estão centrados na comunicação e transparência na execução de projetos, com a divisão dos projetos em numerosas entregas menores, que servem como pontos de verificação para que o cliente avalie se as entregas condizem com seu objetivo final (HEIZER; RENDER; MUNSON, 2017). Assim, o usuário final percebe valor agregado à medida que o projeto é desenvolvido, não apenas em uma entrega final e custos de retrabalho são reduzidos, pois eventuais erros são corrigidos durante a execução do projeto (SERRADOR; PINTO, 2015; HEIZER; RENDER; MUNSON, 2017).

Os itens 5.7 e 5.8 da norma especificam os possíveis caminhos para a definição da política de gerenciamento de falhas, reforçando que, independente de se adotar uma política de atividades programadas, reprojeção ou rodar até falhar, deve-se priorizar as ações que mitigam riscos à vida, ao meio ambiente e, por fim, as ações que reduzam as perdas econômicas (SAE JA1011, 1999).

Inicialmente a política de gerenciamento de falhas adotada foi a análise qualitativa das falhas, dada a incerteza dos registros já citada. Posteriormente, com a aplicação da ficha de registros de manutenção implantada, será possível evoluir o programa para análises quantitativas, bem como monitorar se as primeiras ações tiveram algum resultado na confiabilidade da frota.

Para motivar a participação da equipe de motoristas, foi utilizado o método dos 5 porquês, técnica já conhecida pela equipe e simples de ser adotada para a

obtenção das primeiras ações a serem adotadas para prevenção das falhas. O resultado da análise gerou as tarefas propostas já apresentadas, bem como a primeira versão do plano de manutenção, apresentada no Quadro 4.15. O plano de manutenção completo compõe o Apêndice 6 do presente trabalho.

Quadro 4.15 – Plano de manutenção

(continua)



Plano de manutenção de Caminhões - Ações Móveis



Id_Sistema	Sistema	Criado por	Aprovado por	Data de criação	Folha XX de YY
CM	Caminhão	Everson Buch		21/08/2019	01 de 02

Subsistemas e Id_Subsistemas envolvidos	Data de revisão	Versão FMECA
Pneu CM-PNE, Freios CM-FRE, Suspensão CM-SUS		1.0

ID_Modo de Falha	Descrição do Modo de Falha	ID_Tarefa	Descrição da tarefa	Componentes críticos	Periodicidade	Responsável
CM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	OP01	Inspeccionar calibragem dos penus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	Semanal	Motorista
CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	PV01	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	Trimestral	Oficina contratada
CM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	OP02	Observar se existem ruídos de vazamento.	_Conexões mal instaladas; _Conexões desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	Semanal	Motorista
CM-FRE-A.1.1 CM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	IF01 IF02	Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	_Falha na regulagem da válvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	Diariamente	Motorista
CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizadora não compensa torções no sistema	PV02	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Barra estabilizadora danificada; _Bieleta solta ou danificada; _Buchas gastas, com muita folga.	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.2 CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	PV03 PV05	Realizar manutenção corretiva no conjunto.	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	PV04	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	Trimestral	Oficina contratada

Quadro 4.15 – Plano de manutenção

(continuação)



Plano de manutenção de Caminhões - Ações Móveis



Id_Sistema	Sistema	Criado por	Aprovado por	Data de criação	Folha XX de YY
CM	Caminhão	Everson Buch		21/08/2019	01 de 02

Subsistemas e Id_Subistemas envolvidos	Data de revisão	Versão FMECA
Pneu CM-PNE, Freios CM-FRE, Suspensão CM-SUS		1.0

ID_Modo de Falha	Descrição do Modo de Falha	ID_Tarefa	Descrição da tarefa	Componentes críticos	Períodicidade	Responsável
CM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	OP01	Inspeccionar calibragem dos penus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	Semanal	Motorista
CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	PV01	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	Trimestral	Oficina contratada
CM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	OP02	Observar se existem ruídos de vazamento.	_Conexões mal instaladas; _Conexão desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	Semanal	Motorista
CM-FRE-A.1.1 CM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	IF01 IF02	Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	_Falha na regulagem da valvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	Diariamente	Motorista
CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizadora não compensa torções no sistema	PV02	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Barra estabilizadora danificada; _Bieleta solta ou danificada; _Buchas gastas, com muita folga.	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.2 CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	PV03 PV05	Realizar manutenção corretiva no conjunto.	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	PV04	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	Trimestral	Oficina contratada

Fonte: O autor (2019)

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados de 1 ano de paradas dos veículos demonstraram a fragilidade do atual modelo, no qual a manutenção é realizada por terceiros e sob responsabilidade dos motoristas, que indicam quando o caminhão deve ser parado para algum tipo de intervenção.

Para atender as demandas atuais, com um custo controlado e permitindo ofertar os cursos a preços competitivos no mercado, é necessário que o número de paradas não planejadas seja muito baixo. O valor de referência adotado para a frota de caminhões é de 1 parada não planejada por mês, garantindo assim que poucos agendamentos sofram atrasos. Para a frota de unidades móveis, considerando que cada UM fica parada em torno de um mês a cada nova movimentação, é praticamente inaceitável que ocorram falhas, considerando que qualquer falha em UM gerará atraso no início do próximo atendimento. Desta forma, foi estabelecido que 1 parada não planejada a cada seis meses seria aceitável.

Estes foram os pontos de partida para as análises de dados de vida das frotas, que mostraram a necessidade da criação de uma estrutura de manutenção centrada em confiabilidade para que seja possível atingir os objetivos de disponibilidade e confiabilidade.

5.1 ANÁLISES DA FROTA DE CAMINHÕES

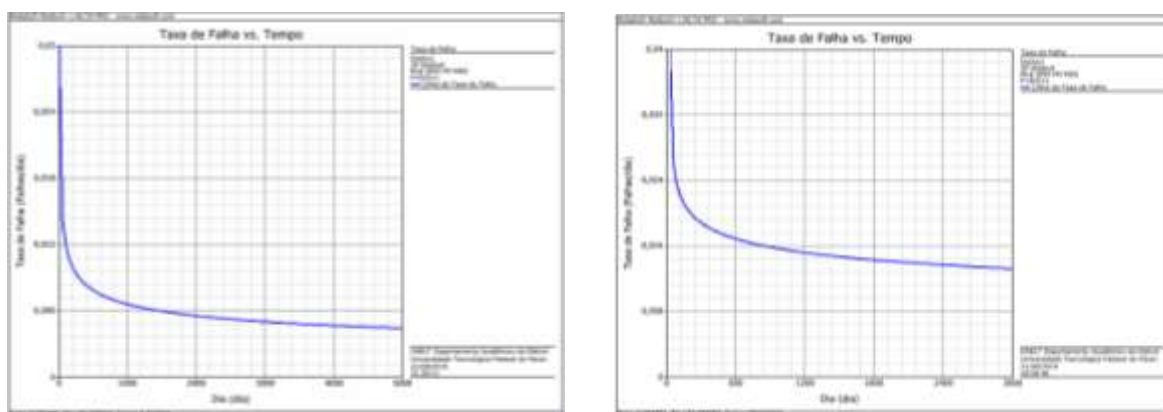
A confiabilidade de que a frota de caminhões, responsável pela movimentação de toda a estrutura, rode durante 30 dias sem falhas é de 71,8%. Para se garantir que um caminhão qualquer da frota trabalhe sem falhas com 90% de confiabilidade, o número de dias cai para 12. Isto demonstra a atual insegurança na programação logística do setor, que frequentemente necessita negociar adiamentos nos inícios dos cursos.

O MTBF de 64 dias, calculado com os dados de 1 ano, fornece uma dimensão aproximada do tempo que cada caminhão roda até falhar, porém, segundo Lafraia (2001), como a taxa de falhas não é constante, e até o momento é

crecente, este dado acaba sendo impreciso para o estado atual da frota, sugerindo que num período de tempo menor, e mais recente, os caminhões rodem em média menos do que estes 64 dias sem falhar.

Ao serem analisados os dados de cada caminhão, observa-se que alguns caminhões mais novos apresentaram sinais de mortalidade infantil, ou seja, tiveram uma alta taxa de falhas inicialmente e mais recentemente a taxa de falhas tende a diminuir, conforme Figura 5.1. Isto é normal para conjuntos mecânicos complexos como os caminhões (LAFRAIA, 2001).

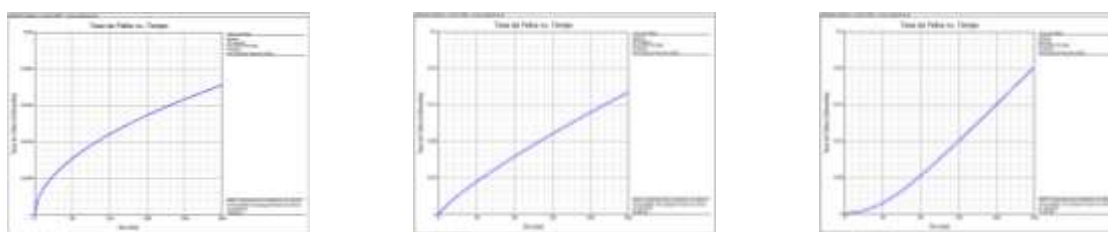
Figura 5.1 – Mortalidade infantil nos caminhões



Fonte: O autor (2019)

Três veículos, porém, apresentaram taxa de falhas crescente de forma acentuada, conforme a Figura 5.2. Estes veículos foram analisados individualmente e foi constatado que todos tiveram problemas relacionados ao sistema rodoar nos últimos meses.

Figura 5.2 – Taxa de falhas crescente nos caminhões



Fonte: O autor (2019)

Fica evidente que estes caminhões tiveram impacto direto nesta primeira análise da frota e são responsáveis pela redução do MTBF, bem como pela crescente taxa de falhas da frota.

5.2 ANÁLISES DA FROTA DE UNIDADES MÓVEIS

O sistema unidade móvel também foi analisado quanto à quantidade de paradas e o tempo entre cada parada, da mesma forma que os caminhões.

A análise demonstrou que a confiabilidade da frota rodar por 6 meses sem falhas, conforme objetivo do programa, é de apenas 39%, sendo que, ao se analisar o tempo que a frota pode rodar sem falhar, com confiabilidade requerida de 90%, este é 26 dias.

Foi observado que este sistema também está com a taxa de falhas crescente, conforme mostrado no Gráfico 4.8 do Capítulo 4, o que indica a necessidade de uma análise mais detalhada desta frota. Nesta etapa verificou-se um impacto muito grande da qualidade dos registros do sistema, uma vez que foram encontradas descrições genéricas de falhas e até mesmo falhas impossíveis de terem ocorrido neste tipo de veículo, porém novamente os maiores problemas estavam associados aos subsistemas de pneus e freios.

A falta de credibilidade dos dados levou o grupo a decidir por não analisar individualmente cada unidade móvel, uma vez que o tempo necessário para esta análise seria muito alto e o resultado da análise seria questionável.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS

A utilização da norma SAE JA1012 (2002) para interpretar a norma SAE JA1011 (1999), utilizada como referência para a preparação da estrutura mínima necessária de um programa de MCC, foi primordial para o entendimento de pontos fundamentais da implantação.

Conforme recomendado, houve um cuidado quanto ao nível de detalhamento dos modos de falha e a qualidade do detalhamento, favorecendo a continuidade do estudo das falhas, seus efeitos e suas consequências. Este trabalho ampliou o nível de conhecimento da equipe, bem como a forma de enxergar as falhas nos veículos, que passou de ser uma simples manutenção, muitas vezes apenas trocas de peças sem avaliação prévia, para uma análise da função do subsistema e do porquê de a falha ter ocorrido.

A implantação das manutenções e inspeções preventivas tende a reduzir o número de paradas não planejadas de forma imediata, visto que muitas destas paradas eram originadas por modos de falhas simples de serem detectados e corrigidos, como por exemplo a falha na válvula de retenção dos pneus, que gera a impossibilidade de locomoção do veículo até que a empresa de manutenção contratada realize a correção da falha.

Os modelos gerados para controle de falhas, bem como a documentação do processo irão garantir maior robustez dos dados e ajudarão na evolução do programa, chegando ao item 5.9 da norma que reforça a necessidade da MCC ser um programa vivo (SAE JA1011, 1999).

5.4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo para implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade exige paciência e alto nível de envolvimento da equipe uma vez que para cada subsistema deve ser realizada uma análise criteriosa e detalhada, o que leva tempo e necessita de especialistas no equipamento estudado, bem como integração com outras áreas da empresa, visto que impactará na rotina da equipe.

A necessidade de informação confiável para a evolução do processo ficou evidente, porém, mesmo neste contexto desfavorável foi possível preparar a estrutura mínima para iniciar o processo de implantação do programa de MCC.

As questões levantadas no início deste trabalho puderam ser respondidas com os resultados obtidos, visto que com a adoção de um sistema de manutenção

centrada em confiabilidade o tempo parado para realizar manutenções não planejadas tanto nos caminhões, quanto nas unidades móveis tende a reduzir, gerando maior disponibilidade da frota. Conseqüentemente, melhorando a confiabilidade da frota será possível reduzir os atrasos na instalação das UMs, uma vez que a probabilidade de uma falha ocorrer será reduzida.

Conclui-se, portanto, que o objetivo geral do trabalho foi atingido, uma vez que a estrutura básica para a implantação do programa de MCC foi criada para o setor de ações móveis e já foram demonstrados os benefícios na detecção e tratamento de falhas que impactavam diretamente a agenda de movimentações.

Dos objetivos específicos, apenas a determinação da confiabilidade por distância percorrida sem falhar não foi atingida por causa dos registros imprecisos do sistema atual, porém foi possível se obter a confiabilidade pelo registro de tempo até a falha, que atendeu à necessidade do estudo.

Em suma, será possível seguir com o processo de implantação do programa no setor, melhorando a qualidade dos registros dia-a-dia e evoluindo na análise dos sistemas e subsistemas.

Como aprendizado e recomendação para trabalhos futuros, é aconselhável um trabalho prévio de organização e certificação dos dados de falhas dos equipamentos, visto que, após o início das atividades, é necessário criar um ritmo de trabalho com a equipe, logo, interrupções para corrigir a base de dados pode ter um impacto negativo na motivação do time de trabalho.

REFERÊNCIAS

ABBAD, Gardênia da Silva; ZERBINI, Thaís; SOUZA, Daniela Borges Lima de . Panorama das pesquisas em educação a distância no Brasil. **Estudos de Psicologia**, **15(3)**, setembro-dezembro/2010, 291-298.

ANDERSON, Leslie C.; HARRINGTON, H. James. Reliability simplified: going beyond quality to keep customers for life. McGraw-Hill, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BECK, Kent; BEEDLE, Mike; BENNEKUM, Arie van et al. **Manifesto for agile software development**. Disponível em <<http://www.agilemanifesto.org>>, 2001.

BRASIL. LEI Nº 4.863, de 29 de novembro de 1965. Reajusta os vencimentos dos servidores civis e militares, altera as alíquotas dos impostos de renda, importação, consumo e sêlo e da quota de previdência social, unifica contribuições baseadas nas folhas de salários, e dá outras providências. Brasília, 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L4863.htm>. Acesso em 25/05/19.

CARNETI L.A.B.; NAPP C. Relação Teoria e Prática no Curso Técnico em Agropecuária do IFRS – Câmpus Sertão. **Anais do I Seminário Regional de Educação do Campo (SIFEdoC). Eixo 5: Trabalho-educação e a formação dos trabalhadores**. Santa Maria-RS, 2013.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2019a. Boletim Estatístico – Fevereiro 2019: Disponível em <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em 25/05/19.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2019b. Boletim Econômico - Abril 2019: INVESTIMENTOS FEDERAIS EM TRANSPORTES: Disponível em <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em 25/05/19.

DIAS, Acires; CALIL, Luis F. Peres; RIGONI, Emerson et al. **Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. Florianópolis: Studio S Diagramação e Ate Visual. 303p, 2011.

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes; BELFIORE, Patrícia Prado; SILVA, Fabiana Lopes da; CHAN, Betty Lilian. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FOGLIATO, Flavio; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Elsevier Brasil, 2011.

HEIZER, Jay; RENDER, Barry; MUNSON, Chuck. **Operations management**. Pearson Education Limited, 2017.

HIGGINS, Lindley R.; MOBLEY, R. Keith; WIKOFF, Darrin J. **Maintenance engineering handbook**. 7 ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de confiabilidade. Manutenibilidade e Disponibilidade**, v. 374. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LARSON, Ron; FARBER, Betsy. **Estatística Aplicada**. Tradução Luciane Ferreira Pauleti Vianna. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

MANFREDI, Silvia Maria. **Educação profissional no Brasil**. São Paulo: Cortez, 2002.

MORAN, José Manuel. Aperfeiçoando os modelos de EAD existentes na formação de professores. **Educação**, v. 32, n. 3, 2009.

MOUBRAY, John. **Reliability-centred Maintenance**. 2 ed. Butterworth-Heinemann, 1997.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment**. 2000.

NOWLAN, F. Stanley; HEAP, Howard F. **Reliability-centered maintenance**. United Air Lines Inc San Francisco Ca, 1978.

O'CONNOR, Andrew N. **Probability distributions used in reliability engineering**. RiAC, 2011.

SERRADOR, Pedro; PINTO, Jeffrey K. Does Agile work?—A quantitative analysis of agile project success. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 5, p. 1040-1051, 2015.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Departamento Regional Paraná. Unidades Móveis. SENAI-PR, Paraná, 2019a. Disponível em <<http://www.senaipr.org.br/acoesmoveis/unidades-moveis-do-senai-1-19757-349553.shtml>>. Acesso em 09/06/2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Departamento Regional Paraná. Transparência. SENAI-PR, Paraná, 2019b. Disponível em: <<http://www.senaipr.org.br/transparencia>>. Acesso em: 26/05/2019.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Departamento Nacional. **Sistema de freios pneumáticos**. SENAI-DN, Brasília, 2015a.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. Departamento Nacional. **Sistema de suspensão e direção de veículos pesados**. SENAI-DN, Brasília, 2015b.

SILVA, Jose Fernando Wolff da. **ESTUDO DE CASO DA EMPRESA FORTI & FORTI**. UFPR, PR, 2007

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SMITH, Anthony M.; HINCHCLIFFE, Glenn R. **RCM-Gateway to world class maintenance**. Elsevier, 2003.

Sistemas de Ar. Kaderli. Disponível em: <<http://www.kaderli.com.br/servicos/sistemas-de-ar>>. Acesso em: 15/07/2019.

SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS. **JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes**. Warrendale, 1999.

SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS. **JA1012: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard**. Warrendale, 2002.

SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS. **J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)**. Warrendale, 2002.

SOUSA NETO, Francisco S.; MAGALHÃES NETTO, José Francisco; LIMA, D. P. R. Análise das Interações Sociais entre os Participantes de um Curso EaD: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Anais do XXIV Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos (SBSC), Porto Alegre-RS**, 2016.

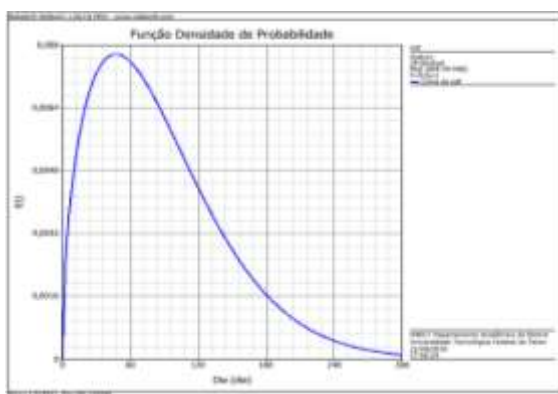
STAPELBERG, Rudolph Frederick. **Handbook of reliability, availability, maintainability and safety in engineering design**. Springer Science & Business Media, 2009.

WORLD ECONOMIC FORUM. **New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning through Technology**. Suíça, 2016. 35 p.

APÊNDICE 1 – ANÁLISE DO SISTEMA CAMINHÃO

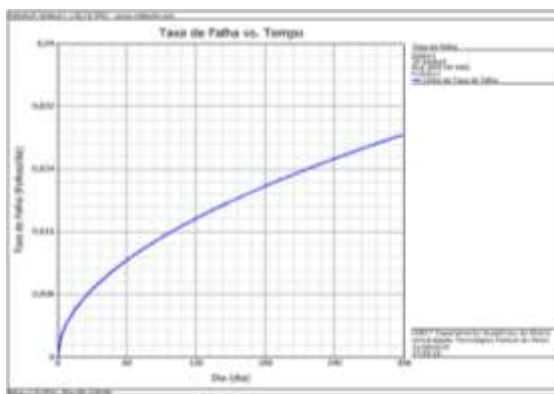
A. Caminhão 1

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	1,517521
Eta (dia)	96,13474
Valor da LK	-27,002387
F \ S	5 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,312110	CV Eta Beta=3,409321
CV Eta Beta=3,409321	Var-Eta=839,883029



Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,842986

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	86,665846 dia

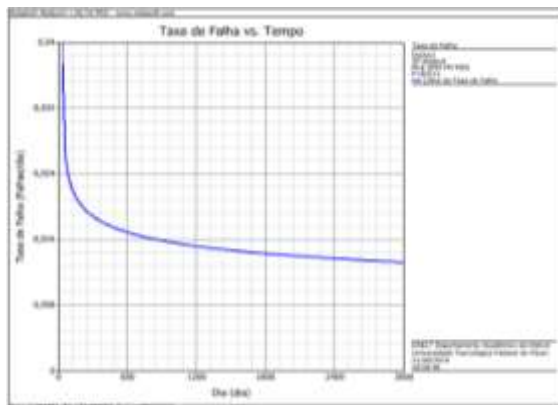
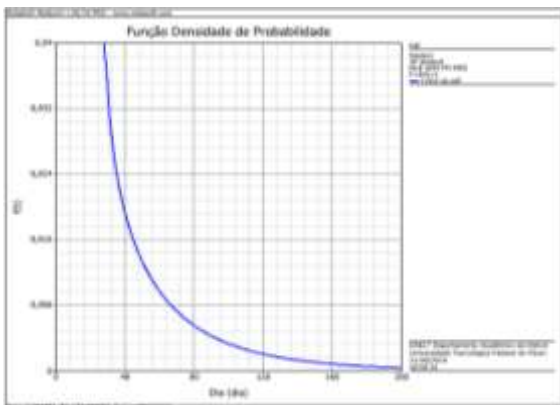


B. Caminhão 2

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 3P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	0,852871
Eta (dia)	33,292092
Gama (dia)	27,65
Valor da LK	-36,515102
F \ S	8 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,056857	CV Eta Beta=1,092868
CV Eta Beta=1,092868	Var-Eta=211,476099

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,900992

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	63,794394 dia

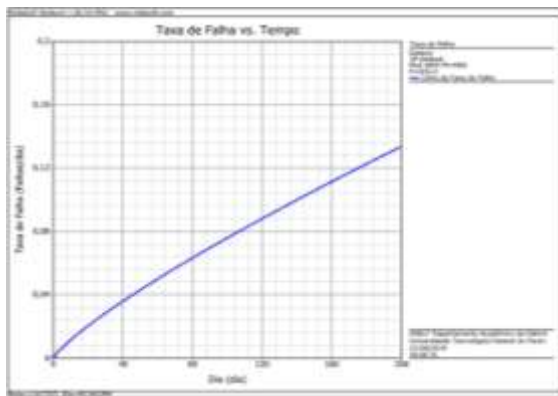
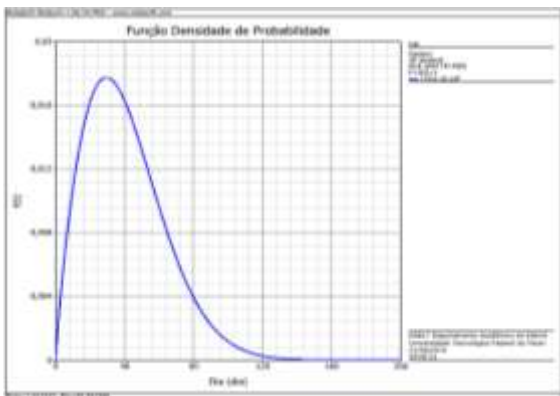


C. Caminhão 3

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	1,817227
Eta (dia)	45,542299
Valor da LK	-18,498391
F \ S	4 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,603959	CV Eta Beta=0,859635
CV Eta Beta=0,859635	Var-Eta=158,242394

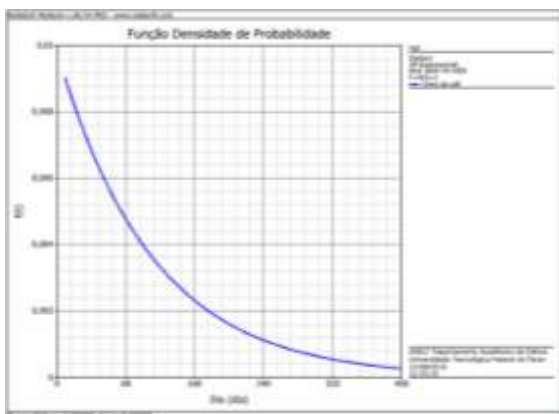
Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,626049

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	40,482018 dia



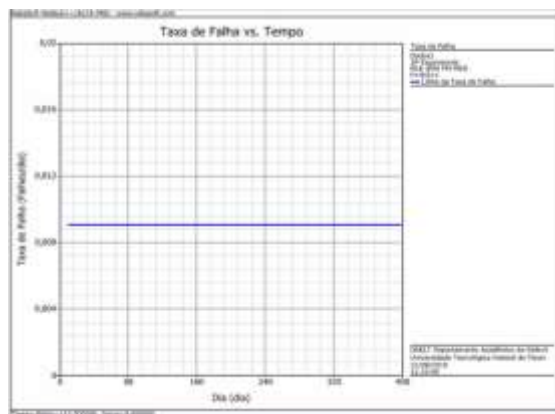
D. Caminhão 4

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Exponencial 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Tempo Médio (dia)	110,5
Gama (dia)	9
Valor da LK	-22,820062
F \ S	4 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Teta=3052,562500	
[Nota: Teta = (1 / Lambda)]	



Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,826922

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	119,500000 dia

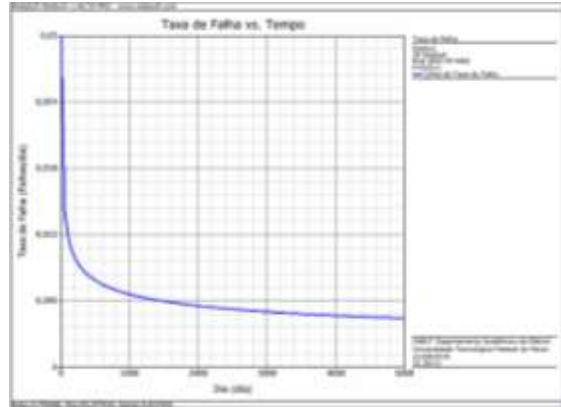
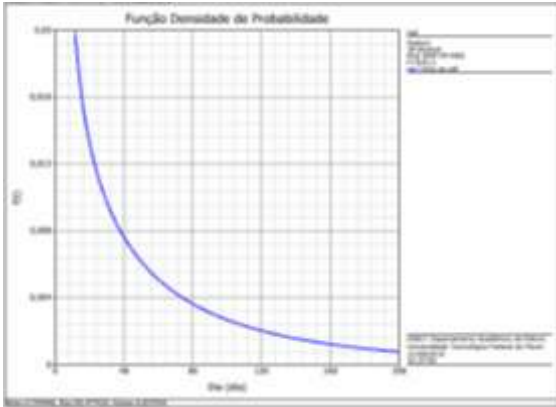


E. Caminhão 5

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Weibull 3P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Beta	0,750446
Eta (dia)	55,47702
Gama (dia)	5,8375
Valor da LK	-25,139885
F \ S	5 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Beta=0,078636	CV Eta Beta=1,339293
CV Eta Beta=1,339293	Var-Eta=1115,802051

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,585123

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	71,858233 dia

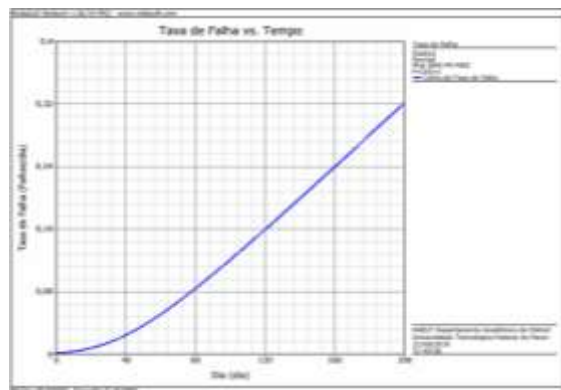
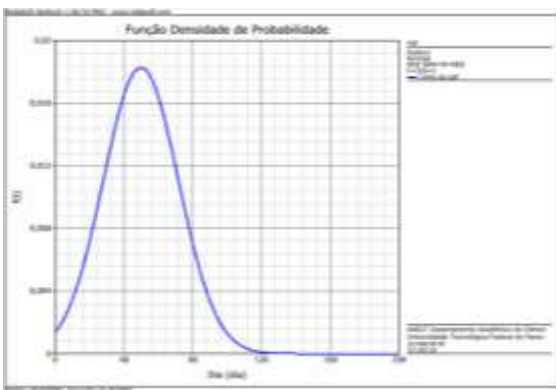


F. Caminhão 6

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Normal 2P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Média (dia)	49,835581
DesvioP (dia)	21,810093
Valor da LK	-14,200089
F \ S	3 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Mu=134,675301	CoVar=17,927057
CoVar=17,927057	Var-Sigma=81,745910

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,818448

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	49,835581 dia

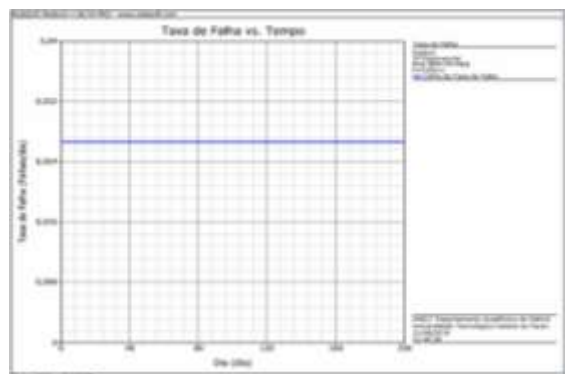
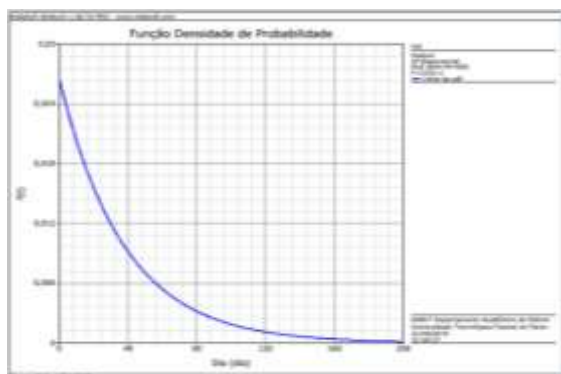


G. Caminhão 7

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Parâmetros	
Distribuição	Exponencial 1P
Análises	MLE
Método do IC	FM
Ranqueando	MED
Tempo Médio (dia)	37,615385
Valor da LK	-60,156371
F \ S	13 \ 1
LOCAL VAR/COV MATRIX	
Var-Teta=108,839782	
[Nota: Teta = (1 / Lambda)]	

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Tempo Final da Missão (dia)	30
Saída do Weibull++	
R(t=30)	0,450433

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	QCP Weibull++
Informações do Usuário	
Nome	DAELT Departamento Acadêmico de Eletrotécnica_1
Empresa	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Data	21/08/2019
Entradas do Usuário	
Saída do Weibull++	
MTTF	37,615385 dia



APÊNDICE 2 – CONTROLE DE MANUNTEÇÃO

APÊNDICE 3 – ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS



FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis



Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Freios	CM-FRE	30/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)		
						Local	Sistema	Planta								
CM-FRE-A	Parar totalmente o veículo em casos de emergência (frenagem brusca), trafegando em velocidade média de 80km/h, em menos de 100m.	CM-FRE-A.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	CM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Não para o veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na regulagem da válvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	3	Não há	4	120		
						CM-FRE-A.2	Frenagem deficiente, tempo até a parada acima do especificado	CM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha na válvula reguladora de pressão; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há
		CM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo					Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	112
				CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado					Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	7	Não há
				CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	2	Não há	1	12		

CM-FRE-B	Manter o veículo parado quando o freio de estacionamento está acionado.	CM-FRE-B.1	Freios não travam o veículo totalmente	CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	2	Não há	1	12
				CM-FRE-B.1.2	Válvula estacionária não despressuriza a rede	Mola acumuladora não aciona o freio de estacionamento	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Falha na regulagem da válvula estacionária;	1	Não há	1	6
				CM-FRE-B.1.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	5	Não há	1	30
		CM-FRE-B.2	Veículo totalmente destravado	CM-FRE-B.2.1	Mola acumuladora do cilindro de freio está quebrada	Mola acumuladora não aciona o freio de estacionamento	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	8	_Fadiga da mola acumuladora;	4	Não há	2	64
				CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	Não aciona mecanismo de frenagem	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	8	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	6	Não há	4	192
CM-FRE-C	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista,	CM-FRE-C.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	CM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Falta de controle da velocidade do veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na regulagem da válvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	3	Não há	4	120
				CM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	8	_Falha na válvula reguladora de pressão; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há	2	64
		CM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Retentores permitindo passagem de graxa do cubo para o tambor.	8	Não há	1	56		
		CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	98		

CM-FRE-C	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista, proporcionalmente à força aplicada no pedal de freio.	CM-FRE-C.2	Frenagem deficiente, tempo de resposta elevado	CM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	8	_Falha na válvula reguladora de pressão; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há	2	64
				CM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Retentores permitindo passagem de graxa do cubo para o tambor.	8	Não há	1	56
				CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	98
				CM-FRE-C.2.4	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	3	Não há	2	42
				CM-FRE-C.2.5	Conjunto tambor e lona de freios vibram quando em contato	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	4	_Tambor de freio ovalizado	3	Inspeção auditiva, sem controle ou periodicidade	1	12
				CM-FRE-C.2.6	Cilindro de freio apresenta vazamento quando pedal do freio é acionado	Não aciona cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	6	_Diafragma do cilindro de freio danificado;	7	Inspeção visual, sem registro e sem periodicidade definida	1	42
CM-FRE-D	Permitir movimento livre do veículo quando não acionados os freios de serviço e de estacionamento	CM-FRE-D.1	Freio travado ao ser liberado	CM-FRE-D.1	Eixo S mantém o mecanismo de frenagem acionado	Contato indesejado entre lona e tambor	Não destrava a roda do veículo	Impossibilidade de movimentar o veículo	3	_Conjunto de lona e tambor desgastados, fazendo o eixo S atuar acima do limite de deslocamento recomendado	2	Não há	1	6

Sistema Fiep		FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis						SENAI						
Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão							
Everson Buch	Caminhão	CM	Suspensão	CM-SUS	07/08/2019	1.0								
Equipe multidisciplinar					Aprovado por		Auditado por							
Grupo de logística Ações Móveis														
Id_Função	Função	Id_Falha Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
CM-SUS-A	Reduzir tensões no chassi e compensar diferenças de altura entre o veículo e solo em terrenos irregulares e curvas acentuadas, mantendo a aderência e capacidade de tração dos pneu para o solo.	CM-SUS-A.1	Falta de aderência do pneu com o solo (perda de tração)	CM-SUS-A.1.1	Molas não tem força para manter a aderência do pneu com o solo	Dificuldade para reestabelecer posição da roda	Baixa pressão de contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Regulagem inadequada da pressão; _Molas desgastadas ou danificadas.	3	Não há	1	21
				CM-SUS-A.1.2	Válvula de nível demora para corrigir altura da mola	Tempo elevado para reposicionar roda	Baixa pressão de contato ou sem contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Regulagem inadequada da válvula de nível; _Vazamentos de ar comprimido na rede; _Válvula de nível danificada.	6	Não há	2	84
		CM-SUS-A.2	Falta de estabilidade	CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizador a não compensa torções no sistema	Roda suspensa ou com pouco contato com entre pneu e solo nas curvas	Instabilidade na direção do veículo	Falta de controle do veículo	10	_Barra estabilizadora danificada; _Bieleta solta ou danificada; _Buchas gastas, com muita folga.	4	Não há	3	120

Id_Função	Função	Id_Falha Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
CM-SUS-A	Reduzir tensões no chassi e compensar diferenças de altura entre o veículo e solo em terrenos irregulares e curvas acentuadas, mantendo a aderência e capacidade de tração dos pneu para o solo.	CM-SUS-A.1	Falta de aderência do pneu com o solo (perda de tração)	CM-SUS-A.1.1	Molas não tem força para manter a aderência do pneu com o solo	Dificuldade para reestabelecer posição da roda	Baixa pressão de contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Regulagem inadequada da pressão; _Molas desgastadas ou danificadas.	3	Não há	1	21
				CM-SUS-A.1.2	Válvula de nível demora para corrigir altura da mola	Tempo elevado para reposicionar roda	Baixa pressão de contato ou sem contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Regulagem inadequada da válvula de nível; _Vazamentos de ar comprimido na rede; _Válvula de nível danificada.	6	Não há	2	84
		CM-SUS-A.2	Falta de estabilidade	CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizador a não compensa torções no sistema	Roda suspensa ou com pouco contato com entre pneu e solo nas curvas	Instabilidade na direção do veículo	Falta de controle do veículo	10	_Barra estabilizadora danificada; _Bieleta solta ou danificada; _Buchas gastas, com muita folga.	4	Não há	3	120
CM-SUS-B	Manter a altura do veículo em relação ao solo quando em movimento estável ou parado.	CM-SUS-B.1	Falha no nivelamento do veículo ao trafegar por terrenos planos	CM-SUS-B.1.1	Válvula de nível não corrige a altura da mola.	Altura da mola inadequada	Diferença de altura entre as rodas do caminhão	Controle do veículo comprometido	4	_Ajuste inadequado da haste da válvula de nível; _Válvula de nível danificada.	6	Não há	2	48
CM-SUS-C	Absorver impactos entre as rodas e o solo, mantendo o conforto dos ocupantes, bem como evitando avarias à cargas.	CM-SUS-C.1	Balanço exagerado no veículo	CM-SUS-C.1.1	Amortecedor não absorve impactos	Rodas batem ao passar por pisos irregulares	Impactos transmitidos integralmente ao sistema	Controle do veículo comprometido	6	_Vazamento de óleo do amortecedor;	6	Inspeção visual sem registro	2	72
		CM-SUS-C.2	Ruídos ou estalos ao passar por terrenos irregulares	CM-SUS-C.2.1	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	Amortecedor solto	Falta de amortecimento dos impactos	Controle do veículo levemente comprometido	8	_Buchas gastas; _Parafuso de fixação solto.	6	Não há	2	96

Sistema Fiep		FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis						SENAI						
Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão							
Everson Buch	Caminhão	CM	Pneus	CM-PNE	25/07/2019	1.0								
Equipe multidisciplinar					Aprovado por		Auditado por							
Grupo de logística Ações Móveis														
Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
CM-PNE-A	Resistir às sobrecargas dinâmicas na aceleração ou frenagem impedindo derrapagens	CM-PNE-A.1	Pneu derrapando quando acionado o freio em condições normais	CM-PNE-A.1.1	Banda de rodagem do pneu com desgaste acima do limite de segurança (TWI)	Baixa aderência do pneu com o solo	Derrapagem do veículo	Falta de controle em curvas ou em frenagem de emergência	10	_Desgaste natural.	5	Inspeção visual sem registro	1	50
				CM-PNE-A.1.2	Banda de rodagem do pneu com desgaste irregular	Estrutura do pneu fragilizada e contato irregular com solo	Derrapagem do veículo	Falta de controle em curvas ou em frenagem de emergência	7	_Falha no alinhamento das rodas; _Falha no subsistema de suspensão.	4	Inspeção visual sem registro	1	28
CM-PNE-B	Suportar o peso do veículo sem sofrer deformações acima do especificado	CM-PNE-B.1	Pneu esvazia muito rápido quando rodoar está desligado	CM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	Pneu esvazia quando o sistema está desligado	Dificuldade na condução do veículo e possível deslocamento do pneu	Instabilidade do veículo ou impossibilidade de condução	10	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	8	Não há	4	320
				CM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	Pneu descalibrado	Dificuldade na condução do veículo	Instabilidade do veículo	4	_Conexões mal instaladas; _Conexão desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	8	Não há	4	128
				CM-PNE-B.2.2	Rodoar não mantém a calibragem dos pneus	Pneu descalibrado	Dificuldade na condução do veículo	Instabilidade do veículo	4	_Falha no equipamento rodoar; _Falha na válvula reguladora de pressão; _Falha no sensor de pressão.	4	Não há	2	32

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Freios	UM-FRE	31/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
UM-FRE-A	Parar totalmente o veículo em casos de emergência (frenagem brusca), trafegando em velocidade média de 80km/h, em menos de 100m.	UM-FRE-A.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	UM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Não para o veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na conexão entre UMe Cavalomecânico; _Vazamento no circuito antes da válvula relé.	3	Não há	4	120
		UM-FRE-A.2	Frenagem deficiente, tempo até a parada acima do especificado	UM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha na conexão entre UMe Cavalomecânico; _Vazamento em partes do sistema.	4	Não há	2	64
				UM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	112
				UM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Espaço demaziado para parar o veículo	8	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	7	Não há	2	112
UM-FRE-B	Manter o veículo parado quando o freio de	UM-FRE-B.1	Freios não travam o veículo totalmente	UM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	2	Não há	1	12
				UM-FRE-B.1.2	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	5	Não há	1	30

UM-FRE-B	Manter o veículo parado quando o freio de estacionamento está acionado.	UM-FRE-B.1	Freios não travam o veículo totalmente	UM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	2	Não há	1	12
				UM-FRE-B.1.2	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	6	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	5	Não há	1	30
		UM-FRE-B.2	Veículo totalmente destravado	UM-FRE-B.2.1	Mola acumuladora do cilindro de freio está quebrada	Mola acumuladora não aciona o freio de estacionamento	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	8	_Fadiga da mola acumuladora;	4	Não há	2	64
				UM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	Não aciona mecanismo de frenagem	Não mantém o veículo parado em piso inclinado	Movimento indesejado do veículo	8	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	6	Não há	4	192
UM-FRE-C	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista, proporcionalmente à força aplicada no pedal de freio.	UM-FRE-C.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	UM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Falta de controle da velocidade do veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na conexão entre UMe Cavallo Mecânico; _Vazamento no circuito antes da válvula relé.	3	Não há	4	120
		UM-FRE-C.2	Frenagem deficiente, tempo de resposta elevado	UM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	8	_Falha na conexão entre UMe Cavallo Mecânico; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há	2	64
				UM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Retentores permitindo passagem de graxa do cubo para o tambor.	8	Não há	1	56
				UM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	98
				UM-FRE-C.2.4	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderencia entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	3	Não há	2	42

UM-FRE-C	Reduzir a velocidade do veículo quando em movimento, trafegando com velocidade compatível com a pista, proporcionalmente à força aplicada no pedal de freio.	UM-FRE-C.1	Sem qualquer sinal de freio ao acionar o pedal	UM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	Não aciona mecanismo de frenagem	Falta de controle da velocidade do veículo	Colisão do veículo	10	_Falha na conexão entre UM e Cavallo Mecânico; _Vazamento no circuito antes da válvula relé.	3	Não há	4	120
		UM-FRE-C.2	Frenagem deficiente, tempo de resposta elevado	UM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	Acionamento deficiente do cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	8	_Falha na conexão entre UM e Cavallo Mecânico; _Vazamento na rede de alimentação.	4	Não há	2	64
				UM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Retentores permitindo passagem de graxa do cubo para o tambor.	8	Não há	1	56
				UM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	7	Não há	2	98
				UM-FRE-C.2.4	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	7	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	3	Não há	2	42
				UM-FRE-C.2.5	Conjunto tambor e lona de freios vibram quando em contato	Baixa aderência entre lona e tambor de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	4	_Tambor de freio ovalizado	3	Inspeção visual, sem registro e sem periodicidade definida	1	12
				UM-FRE-C.2.6	Cilindro de freio apresenta vazamento quando pedal do freio é acionado	Não aciona cilindro de freio	Falta de força para frear o veículo	Dificuldade em reduzir a velocidade do veículo	6	_Diafragma do cilindro de freio danificado;	7	Inspeção visual, sem registro e sem periodicidade definida	1	42
UM-FRE-D	Permitir movimento livre do veículo quando não acionados os freios de serviço e de estacionamento	UM-FRE-D.1	Freio travado ao ser liberado	UM-FRE-D.1	Eixo S mantém o mecanismo de frenagem acionado	Contato indesejado entre lona e tambor	Não destrava a roda do veículo	Impossibilidade de movimentar o veículo	3	_Conjunto de lona e tambor desgastados, fazendo o eixo S atuar acima do limite de deslocamento recomendado	2	Não há	1	6

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Suspensão	UM-SUS	09/08/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
UM-SUS-A	Reduzir tensões no chassi e compensar diferenças de altura entre o veículo e solo em terrenos irregulares e curvas acentuadas, mantendo a aderência e capacidade de tração dos pneu para o solo.	UM-SUS-A.1	Falta de aderência do pneu com o solo (perda de tração)	UM-SUS-A.1.1	Molas não tem força para manter a aderência do pneu com o solo	Dificuldade para reestabelecer posição da roda	Baixa pressão de contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Vazamento na rede de ar comprimido; _Molas desgastadas ou danificadas.	3	Não há	1	21
				UM-SUS-A.1.2	Válvula de nível demora para corrigir altura da mola	Tempo elevado para reposicionar roda	Baixa pressão de contato ou sem contato entre pneu e solo	Derrapagem e deslizamento do pneu	7	_Regulagem inadequada da válvula de nível; _Vazamentos de ar comprimido na rede; _Válvula de nível danificada.	6	Não há	2	84
UM-SUS-B	Manter a altura do veículo em relação ao solo quando em movimento estável ou parado.	UM-SUS-B.1	Falha no nivelamento do veículo ao trafegar por terrenos planos	UM-SUS-B.1.1	Válvula de nível não corrige a altura da mola.	Altura da mola inadequada	Diferença de altura entre as rodas da Unidade Móvel	Controle do veículo comprometido	4	_Ajuste inadequado da haste da válvula de nível; _Válvula de nível danificada.	6	Não há	2	48
UM-SUS-C	Absorver impactos entre as rodas e o solo, mantendo o conforto dos ocupantes, bem como evitando avarias à cargas.	UM-SUS-C.1	Balanço exagerado no veículo	UM-SUS-C.1.1	Amortecedor não absorve impactos	Rodas batem ao passar por pisos irregulares	Impactos transmitidos integralmente ao sistema	Controle do veículo comprometido	6	_Vazamento de óleo do amortecedor;	6	Inspeção visual sem registro	2	72
		UM-SUS-C.2	Ruídos ou estalos ao passar por terrenos irregulares	UM-SUS-C.1.2	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	Amortecedor solto	Falta de amortecimento dos impactos	Controle do veículo levemente comprometido	8	_Buchas gastas; _Parafuso de fixação solto.	6	Não há	2	96



FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis



Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Pneus	UM-PNE	25/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
UM-PNE-A	Resistir às sobrecargas dinâmicas na aceleração ou frenagem impedindo derrapagens	UM-PNE-A.1	Pneu derrapando quando acionado o freio em condições normais	UM-PNE-A.1.1	Banda de rolagem do pneu com desgaste acima do limite de segurança (TWI)	Baixa aderencia do pneu com o solo	Derrapagem do veículo	Falta de controle em curvas ou em frenagem de emergência	10	_Desgaste natural.	5	Inspeção visual sem registro	1	50
				UM-PNE-A.1.2	Banda de rolagem do pneu com desgaste irregular	Estrutura do pneu fragilizada e contato irregular com solo	Derrapagem do veículo	Falta de controle em curvas ou em frenagem de emergência	7	_Falha no alinhamento das rodas; _Falha no subsistema de suspensão.	4	Inspeção visual sem registro	1	28
UM-PNE-B	Suportar o peso do veículo sem deformações acima do especificado	UM-PNE-B.1	Pneu esvazia muito rápido quando rodar está desligado	UM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	Pneu esvazia quando o sistema está desligado	Dificuldade na condução do veículo e possível deslocamento do pneu	Instabilidade do veículo ou impossibilidade de condução	10	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	8	Não há	4	320
		UM-PNE-B.2	Sem controle da pressão dos pneus	UM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	Pneu descalibrado	Dificuldade na condução do veículo	Instabilidade do veículo	4	_Conexões mal instaladas; _Conexão desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	8	Não há	4	128

APÊNDICE 4 – ANÁLISE DAS CATEGORIAS DE FALHAS

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Freios	CM-FRE	30/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
CM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	SIM	SIM	SIM	ESA	120	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e substituir válvula relé.
CM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	SIM	SIM	SIM	ESA	64	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e realizar regulagem da pressão ou identificar ponto de vazamento para realizar a eliminação do mesmo.
CM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar os ajustes necessários.
CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças desgastadas.
CM-FRE-B.1.2	Válvula estacionária não despressuriza a rede	SIM	SIM	SIM	ESA	6	Calçar as rodas do veículo e corrigir regulagem da válvula estacionária ou acionar manutenção.

CM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças desgastadas.
CM-FRE-B.1.2	Válvula estacionária não despressuriza a rede	SIM	SIM	SIM	ESA	6	Calçar as rodas do veículo e corrigir regulagem da válvula estacionária ou acionar manutenção.
CM-FRE-B.1.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	NÃO	SIM	SIM	OSA	30	Calçar as rodas do veículo e realizar regulagem ou acionar manutenção.
CM-FRE-B.2.1	Mola acumuladora do cilindro de freio está quebrada	NÃO	SIM	SIM	OSA	64	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para troca da mola acumuladora.
CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	NÃO	SIM	SIM	OSA	192	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças danificadas.
CM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	NÃO	SIM	SIM	OSA	120	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e substituir válvula relé.
CM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	SIM	SIM	SIM	ESA	64	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e realizar regulagem da pressão ou identificar ponto de vazamento para realizar a eliminação do mesmo.
CM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	SIM	SIM	SIM	ESA	56	Parar veículo com auxílio do freio motor e eliminar graxa ou produtos indevidos existentes no conjunto.
CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	98	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
CM-FRE-C.2.4	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	NÃO	SIM	SIM	OSA	42	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar os ajustes necessários.
CM-FRE-C.2.5	Conjunto tambor e lona de freios vibram quando em contato	SIM	NÃO	SIM	EEO	12	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
CM-FRE-C.2.6	Cilindro de freio apresenta vazamento quando pedal do freio é acionado	SIM	SIM	SIM	ESA	42	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar a substituição do diafragma do cilindro de freio afetado.
CM-FRE-D.1	Eixo S mantém o mecanismo de frenagem acionado	SIM	SIM	SIM	ESA	6	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Suspensão	CM-SUS	07/08/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem consequências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
CM-SUS-A.1.1	Molas não tem força para manter a aderência do pneu com o solo	NÃO	SIM	SIM	OSA	21	Trafegar em velocidade segura e realizar regulagem da pressão ou substituição da mola pneumática quando necessário.
CM-SUS-A.1.2	Válvula de nível demora para corrigir altura da mola	NÃO	SIM	SIM	OSA	84	Trafegar em velocidade segura, realiar regulagem na válvula de nível e, na impossibilidade de regulagem, acionar a manutenção para a correção.
CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizadora não compensa torções no sistema	NÃO	SIM	SIM	OSA	120	Trafegar em velocidade segura e acionar a manutenção para correção do problema.
CM-SUS-B.1.1	Válvula de nível não corrige a altura da mola.	NÃO	SIM	SIM	OSA	48	Trafegar em velocidade segura, realiar regulagem na válvula de nível e, na impossibilidade de regulagem, acionar a manutenção para a correção.
CM-SUS-C.1.1	Amortecedor não absorve impactos	SIM	SIM	SIM	ESA	72	Trafegar em velocidade segura e acionar a manutenção para correção do problema.
CM-SUS-C.2.1	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	SIM	SIM	SIM	ESA	96	Trafegar em velocidade segura e acionar a manutenção para correção do problema.

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Caminhão	CM	Pneu	CM-PNE	25/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
CM-PNE-A.1.1	Banda de rodagem do peno com desgaste acima do limite de segurança (TWI)	SIM	SIM	SIM	ESA	50	Trafegar em velocidade reduzida e realizar a substituição do pneu afetado com urgência.
CM-PNE-A.1.2	Banda de rodagem do pneu com desgaste irregular	SIM	SIM	SIM	ESA	28	Trafegar em velocidade reduzida, acionar manutenção para corrigir falhas no alinhamento ou suspensão e realizar a substituição do pneu afetado com urgência.
CM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	NÃO	SIM	SIM	OSA	320	Acionar manutenção para substituição da válvula danificada.
CM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	SIM	SIM	SIM	ESA	128	Identificar ponto de vazamento para eliminação do mesmo ou acionar a manutenção para solução do problema.
CM-PNE-B.2.2	Rodoar não mantém a calibragem dos pneus	SIM	NÃO	SIM	EEO	32	Acionar manutenção para correção do conjunto.

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Freios	UM-FRE	31/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
UM-FRE-A.1.1	Válvula relé não aciona	SIM	SIM	SIM	ESA	120	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e substituir válvula relé.
UM-FRE-A.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	SIM	SIM	SIM	ESA	64	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e realizar regulagem da pressão ou identificar ponto de vazamento para realizar a eliminação do mesmo.
UM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
UM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	SIM	SIM	SIM	ESA	112	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar os ajustes necessários.
UM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças desgastadas.
UM-FRE-B.1.2	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	SIM	SIM	SIM	ESA	30	Calçar as rodas do veículo e corrigir regulagem da válvula estacionária ou acionar manutenção.

UM-FRE-B.1.1	Peças mecânicas apresentam desgaste	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para substituição das peças desgastadas.
UM-FRE-B.1.2	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	SIM	SIM	SIM	ESA	30	Calçar as rodas do veículo e corrigir regulagem da válvula estacionaria ou acionar manutenção.
CM-FRE-B.2.1	Mola acumuladora do cilindro de freio está quebrada	NÃO	SIM	SIM	OSA	64	Calçar as rodas do veículo e realizar regulagem ou acionar manutenção.
CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	NÃO	SIM	SIM	OSA	192	Calçar as rodas do veículo e acionar manutenção para troca da mola acumuladora.
UM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	NÃO	SIM	SIM	OSA	120	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e substituir válvula relé.
UM-FRE-C.2.1	Rede de alimentação não atinge a pressão especificada	NÃO	SIM	SIM	OSA	64	Parar veículo com auxílio do freio motor e de estacionamento e realizar regulagem da pressão ou identificar ponto de vazamento para realizar a eliminação do mesmo.
UM-FRE-C.2.2	Tambor e lona de freio estão com graxa	SIM	SIM	SIM	ESA	56	Parar veículo com auxílio do freio motor e eliminar graxa ou produtos indevidos existentes no conjunto.
UM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	SIM	SIM	SIM	ESA	98	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
UM-FRE-C.2.4	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	NÃO	SIM	SIM	OSA	42	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar os ajustes necessários.
UM-FRE-C.2.5	Conjunto tambor e lona de freios vibram quando em contato	NÃO	SIM	SIM	OSA	12	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados
UM-FRE-C.2.6	Cilindro de freio apresenta vazamento quando pedal do freio é acionado	SIM	NÃO	SIM	EEO	42	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar a substituição do diafragma do cilindro de freio afetado.
UM-FRE-D.1	Eixo S mantém o mecanismo de frenagem acionado	SIM	SIM	SIM	ESA	6	Conduzir o veículo em velocidade reduzida até a oficina mais próxima e realizar avaliação dos componentes afetados

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Suspensão	UM-SUS	09/08/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
UM-SUS-A.1.1	Molas não tem força para manter a aderencia do pneu com o solo	NÃO	SIM	SIM	OSA	21	Trafegar em velocidade segura e realizar regulagem da pressão ou substituição da mola pneumática quando necessário.
UM-SUS-A.1.2	Válvula de nível demora para corrigir altura da mola	NÃO	SIM	SIM	OSA	84	Trafegar em velocidade segura, realiar regulagem na válvula de nível e, na impossibilidade de regulagem, acionar a manutenção para a correção.
UM-SUS-B.1.1	Válvula de nível não corrige a altura da mola.	NÃO	SIM	SIM	OSA	48	Trafegar em velocidade segura, realiar regulagem na válvula de nível e, na impossibilidade de regulagem, acionar a manutenção para a correção.
UM-SUS-C.1.1	Amortecedor não absorve impactos	NÃO	SIM	SIM	OSA	72	Trafegar em velocidade segura e acionar a manutenção para correção do problema.
UM-SUS-C.1.2	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	SIM	SIM	SIM	ESA	96	Trafegar em velocidade segura e acionar a manutenção para correção do problema.

FMECA - Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Subsistema	Id_Subsistema	Data de criação	Versão	Data de Revisão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	Pneu	UM-PNE	25/07/2019	1.0	

Equipe multidisciplinar	Aprovado por	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	Categoria	NPR (S.O.D)	Tarefa corretiva (ação imediata para reestabelecer a função principal quando aplicável)
					ESA – Evidente Segurança Ambiente EEO – Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO – Oculto Econômico Operacional		
UM-PNE-A.1.1	Banda de rolagem do pneu com desgaste acima do limite de segurança (TWI)	SIM	SIM	SIM	ESA	50	Trafegar em velocidade reduzida e realizar a substituição do pneu afetado com urgência.
UM-PNE-A.1.2	Banda de rolagem do pneu com desgaste irregular	SIM	SIM	SIM	ESA	28	Trafegar em velocidade reduzida, acionar manutenção para corrigir falhas no alinhamento ou suspensão e realizar a substituição do pneu afetado com urgência.
UM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	NÃO	SIM	SIM	OSA	320	Acionar manutenção para substituição da válvula danificada.
UM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	SIM	SIM	SIM	ESA	128	Identificar ponto de vazamento para eliminação do mesmo ou acionar a manutenção para solução do problema.

APÊNDICE 5 – ANÁLISE DAS CONSEQUÊNCIAS DAS FALHAS



Consequência das falhas com alto NPR - Ações Móveis



Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Data de criação	Aprovado por	Versão
Everson Buch	Caminhão	CM	19/08/2019		1.0

Equipe multidisciplinar	Data de Revisão	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Categoria	NPR (S.O.D)	Consequência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional			
CM-PNE-B.1.1	OSA	320	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1			3					2	Inspeccionar calibragem dos pneus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	OP01
CM-FRE-B.2.2	OSA	192	Caminhão destravado quando estacionado, gerando risco de movimento descontrolado, colisões e atropelamentos.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV01
CM-PNE-B.2.1	ESA	128	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1									Observar se existem ruídos de vazamento.	OP02
CM-FRE-A.1.1	ESA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1					Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF01

CM-FRE-B.2.2	OSA	192	Caminhão destravado quando estacionado, gerando risco de movimento desgovernado, colisões e atropelamentos.				1					Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV01
CM-PNE-B.2.1	ESA	128	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1								Observar se existem ruídos de vazamento.	OP02
CM-FRE-A.1.1	ESA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1				Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF01
CM-FRE-C.1.1	OSA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1				Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF02
CM-SUS-A.2.1	OSA	120	Veículo instável nas curvas com alto risco de tombamento ou perda de direção.				1					Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV02
CM-FRE-A.2.2	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.							1		Realizar manutenção corretiva no conjunto.	PV03
CM-FRE-A.2.3	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1					Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV04
CM-FRE-C.2.3	OSA	98	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1					Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV05
CM-SUS-C.2.1	ESA	96	Risco de quebra do sistema de suspensão levando à perda do controle do veículo e gerando risco de acidente de trânsito.				1					Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV06

Consequência das falhas com alto NPR - Ações Móveis

Responsável Técnico	Sistema	Id_Sistema	Data de criação	Aprovado por	Versão
Everson Buch	Unidade Móvel	UM	19/08/2019		1.0

Equipe multidisciplinar	Data de Revisão	Auditado por
Grupo de logística Ações Móveis		

Id_Modo de Falha	Categoria	NPR (S.O.D)	Consequência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional			
UM-PNE-B.1.1	OSA	320	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1			3					2	Inspeccionar calibragem dos pneus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	OP01
UM-FRE-B.2.2	OSA	192	Dificuldade de estabilização da Unidade Móvel colocando em risco a operação.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV01
UM-PNE-B.2.1	ESA	128	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1									Observar se existem ruídos de vazamento.	OP02
UM-FRE-A.1.1	ESA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1					Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF01
UM-FRE-C.1.1	OSA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de transito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1					Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF02

Id_Modo de Falha	Categoria	NPR (S.O.D)	Conseqüência	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa	
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional			
UM-PNE-B.1.1	OSA	320	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1			3					2	Inspeccionar calibragem dos pneus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	OP01
UM-FRE-B.2.2	OSA	192	Dificuldade de estabilização da Unidade Móvel colocando em risco a operação.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV01
UM-PNE-B.2.1	ESA	128	Dano permanente ao pneu e risco de acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.	1									Observar se existem ruídos de vazamento.	OP02
UM-FRE-A.1.1	ESA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1					Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF01
UM-FRE-C.1.1	OSA	120	Veículo não para, podendo causar acidente de trânsito. Veículo não pode ser utilizado nesta situação.					1					Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	IF02
UM-FRE-A.2.2	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV02
UM-FRE-A.2.3	ESA	112	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.									1	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV03
UM-FRE-C.2.3	ESA	98	Descontrole da parada do veículo, causando risco de acidente de trânsito.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV04
UM-SUS-C.1.2	ESA	96	Risco de quebra do sistema de suspensão levando à perda do controle do veículo e gerando risco de acidente de trânsito.				1						Realizar manutenção preventiva no conjunto.	PV05

APÊNDICE 6 – PLANO DE MANUTENÇÃO

Plano de manutenção de Caminhões - Ações Móveis

Id_Sistema	Sistema	Criado por	Aprovado por	Data de criação	Folha XX de YY
CM	Caminhão	Everson Buch		21/08/2019	01 de 02

Subsistemas e Id_Subsistemas envolvidos	Data de revisão	Versão FMECA
Pneu CM-PNE, Freios CM-FRE, Suspensão CM-SUS		1.0

ID_Modo de Falha	Descrição do Modo de Falha	ID_Tarefa	Descrição da tarefa	Componentes críticos	Periodicidade	Responsável
CM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	OP01	Inspeccionar calibragem dos penus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	Semanal	Motorista
CM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	PV01	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	Trimestral	Oficina contratada
CM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	OP02	Observar se existem ruídos de vazamento.	_Conexões mal instaladas; _Conexão desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	Semanal	Motorista
CM-FRE-A.1.1 CM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	IF01 IF02	Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	_Falha na regulagem da válvula do pedal; _Vazamento no circuito antes da válvula relé. _Válvula relé danificada	Diariamente	Motorista
CM-SUS-A.2.1	Barra estabilizadora não compensa torções no sistema	PV02	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Barra estabilizadora danificada; _Bieleta solta ou danificada; _Buchas gastas, com muita folga.	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.2 CM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	PV03 PV05	Realizar manutenção corretiva no conjunto.	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	Trimestral	Oficina contratada
CM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	PV04	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	Trimestral	Oficina contratada
CM-SUS-C.2.1	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	PV06	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Buchas gastas; _Parafuso de fixação solto.	Trimestral	Oficina contratada



Plano de manutenção de Caminhões - Ações Móveis



Placa	Motorista	Data de abertura da ficha	Data de encerramento da ficha	Criado por	Aprovado por	Folha XX de YY
				Everson Buch		02 de 02

Sistema	Id_Sistema	Subsistemas e Id_Subistemas envolvidos	Data de criação	Data de revisão	Versão FMECA
Caminhão	CM	Pneu CM-PNE, Freios CM-FRE, Suspensão CM-SUS	21/08/2019		1.0

Dados da manutenção				Semana - preencher com a data da execução da atividade															
ID_Modo de Falha	ID_Tarefa	Períodicidade	Responsável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CM-PNE-B.1.1	OP01	Semanal	Motorista																
CM-FRE-B.2.2	PV01	Trimestral	Oficina contratada																
CM-PNE-B.2.1	OP02	Semanal	Motorista																
CM-FRE-A.1.1	IF01	Diariamente	Motorista	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CM-FRE-C.1.1	IF02																		
CM-SUS-A.2.1	PV02	Trimestral	Oficina contratada																
CM-FRE-A.2.2	PV03	Trimestral	Oficina contratada																
CM-FRE-C.2.3	PV05																		
CM-FRE-A.2.3	PV04	Trimestral	Oficina contratada																
CM-SUS-C.2.1	PV06	Trimestral	Oficina contratada																

Obs: Registrar detalhes da manutenção na Ficha de Controle de Manutenções do Motorista

Plano de manutenção de Unidades Móveis - Ações Móveis

Id_Sistema	Sistema	Criado por	Aprovado por	Data de criação	Folha XX de YY
UM	Unidade Móvel	Everson Buch		21/08/2019	01 de 02

Subsistemas e Id_Subistemas envolvidos	Data de revisão	Versão FMECA
Pneu UM-PNE, Freios UM-FRE, Suspensão UM-SUS		1.0

ID_Modo de Falha	Descrição do Modo de Falha	ID_Tarefa	Descrição da tarefa	Componentes críticos	Períodicidade	Responsável
UM-PNE-B.1.1	Válvula de retenção permite retorno do ar	OP01	Inspecionar calibragem dos pneus periodicamente. Realizar a reaperto da válvula de retenção ou substituição preventiva da mesma.	_Falha na válvula de retenção; _Válvula de retenção mal instalada.	Sempre que movimentar a Unidade Móvel	Motorista
UM-FRE-B.2.2	Peças mecânicas apresentam danos	PV01	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Alavanca, eixo S ou mecanismo de frenagem danificado	Semestral	Oficina contratada
UM-PNE-B.2.1	Rede com vazamento de ar	OP02	Observar se existem ruídos de vazamento.	_Conexões mal instaladas; _Conexões desgastadas; _Tubulações ou peças rompidas ou danificadas.	Sempre que movimentar a Unidade Móvel	Motorista
UM-FRE-A.1.1 UM-FRE-C.1.1	Válvula relé não aciona	IF01 IF02	Testar funcionalidade do freio antes de colocar o veículo em operação.	_Falha na conexão entre UM e Cavalinho Mecânico; _Vazamento no circuito antes da válvula relé.	Sempre que movimentar a Unidade Móvel	Motorista
UM-FRE-A.2.2	Peças mecânicas apresentam desgaste	PV02	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	Semestral	Oficina contratada
UM-FRE-A.2.3	Mecanismo de frenagem com ajuste inadequado	CR01	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Falha no ajuste do mecanismo de frenagem.	Semestral	Oficina contratada
UM-FRE-C.2.3	Peças mecânicas apresentam desgaste	PV03	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Lona de freio gasta/vitrificada; _Tambor espelhado; _Came do eixo S desgastado;	Semestral	Oficina contratada
UM-SUS-C.1.2	Fixação do amortecedor permite movimentos além dos especificados	PV04	Realizar manutenção preventiva no conjunto.	_Buchas gastas; _Parafuso de fixação solto.	Semestral	Oficina contratada



Plano de manutenção de Unidades Móveis - Ações Móveis



Placa	Motorista	Data de abertura da ficha	Data de encerramento da ficha	Criado por	Aprovado por	Folha XX de YY
				Everson Buch		02 de 02

Sistema	Id_Sistema	Subsistemas e Id_Subsistemas envolvidos	Data de criação	Data de revisão	Versão FMECA
Unidade Móvel	UM	Pneu UM-PNE, Freios UM-FRE, Suspensão UM-SUS	21/08/2019		1.0

Dados da manutenção				Mês - preencher com a data da execução da atividade															
ID_Modo de Falha	ID_Tarefa	Periodicidade	Responsável	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
UM-PNE-B.1.1	OP01	Ao deslocar	Motorista																
UM-FRE-B.2.2	PV01	Semestral	Oficina contratada																
UM-PNE-B.2.1	OP02	Ao deslocar	Motorista																
UM-FRE-A.1.1	IF01	Ao deslocar	Motorista																
UM-FRE-C.1.1	IF02																		
UM-FRE-A.2.2	PV02	Semestral	Oficina contratada																
UM-FRE-A.2.3	CR01	Semestral	Oficina contratada																
UM-FRE-C.2.3	PV03	Semestral	Oficina contratada																
UM-SUS-C.1.2	PV04	Semestral	Oficina contratada																

Obs: Registrar detalhes da manutenção na Ficha de Controle de Manutenções do Motorista