

ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIATIVA DO PROCESSO DE
MANUTENÇÃO MECÂNICA EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE
PÚBLICO POR ÔNIBUS

CAMILA MENDONÇA ROMERO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2011

**ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIATIVA DO PROCESSO DE
MANUTENÇÃO MECÂNICA EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE
PÚBLICO POR ÔNIBUS**

CAMILA MENDONÇA ROMERO

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual
do Norte Fluminense, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Engenharia de Produção.”

Orientadora: JACQUELINE MAGALHÃES RANGEL CORTES, D. Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2011

ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIATIVA DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO MECÂNICA EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE PÚBLICO POR ÔNIBUS

CAMILA MENDONÇA ROMERO

“Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual
do Norte Fluminense, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Engenharia de Produção.”

Aprovada em 18 de Julho de 2011.

Comissão Examinadora:

Prof. André Luís Policani Freitas, D.Sc., UFF

Prof. Rodrigo Tavares Nogueira, D.Sc., UENF

Prof., Sérgio Vasconcellos Martins, D.Sc., IFF

Prof.^a Jacqueline Magalhães Rangel Cortes, D.Sc. - UENF (Orientadora)

DEDICATÓRIA

***Ao meu filho Afrânio e ao meu marido Diego,
que são minhas inspirações, fonte de luz e
verdadeiro amor.***

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor e força dedicados a mim, o que me torna ainda mais perseverante e com fé para que eu possa me dedicar a minha família e aos meus projetos;

Aos meus pais, pelo carinho e amor incondicional em todos os momentos da minha vida;

À professora e amiga Jacqueline, pela orientação e dedicação dada a este projeto;

A todo o pessoal da empresa estudada, que com boa vontade e esclarecimentos técnicos, tornaram mais simples o levantamento de dados para a pesquisa;

À CAPES pelo apoio financeiro;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense / Laboratório de Engenharia de Produção pela oportunidade de realizar mais um grande sonho.

A todos que, direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

**“Quando a gente acha que tem todas as respostas,
vem a vida e muda todas as perguntas”.
Luís Fernando Veríssimo**

RESUMO

O trabalho tem como objetivo pesquisar a manutenção realizada nos ônibus de uma empresa localizada em Campos dos Goytacazes e desenvolver uma proposta para a utilização de uma Análise de Manutenção de Transportes Públicos por Ônibus Urbanos, partindo do princípio que a manutenção proveniente de bases científicas pode proporcionar melhoras significativas no processo operacional, usuários e órgãos gestores. Utilizando a Teoria da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), faz-se uma análise da empresa estudada, consistindo em levantamento das distribuições de falhas do subsistema freio, por ser considerado o subsistema problema pela empresa em questão e por não possuir dados suficientes para analisar os demais subsistemas. Os dados são referentes a uma amostra de veículos operando sob condições conhecidas durante um tempo determinado, obtendo assim sua curva de confiabilidade. Atualmente todo o processo de manutenção na empresa é do tipo corretivo, o que gera muitas ocorrências de falha e parada nos equipamentos. A partir dos tempos gastos para reparos, é possível elaborar as curvas de manutenibilidade, sendo possível avaliar a duração média para recuperação das falhas existentes. E ainda, faz-se o levantamento da disponibilidade, sendo considerada a variável de grande importância quando se trata de dimensionamento de frotas. Por fim, foi proposto a utilização de um sistema que visa acompanhar o processo de manutenção da empresa, assim como gerenciar as melhorias que forem implementadas no processo de manutenção. Os estudos retrataram que este subsistema demonstra padrões de falhas críticos, exigindo esforços no sentido de propiciar maior confiabilidade ao mesmo.

Palavras-chave: Gerência de Manutenção, Confiabilidade e Disponibilidade.

ABSTRACT

The study aims to investigate the maintenance performed on the buses of a bus company located in Campos and develop a proposal for the use of an Analysis for Maintenance of Public Transport Buses, assuming that maintenance from a scientific basis can provide significant improvements in operational processes, users and governing bodies. Using the Theory of Reliability Centered Maintenance (RCM), an analysis of the company studied is made, consisting in a survey of the subsystem's brake failures distributions, once it is considered the issue subsystem by the company concerned and by having not enough data to analyze the other subsystems. The data are referred to a sample of vehicles operating under known conditions for a specified period, thus obtaining their reliability curve. Currently the whole process of the company is maintaining the corrective type, which generates many instances of failure and equipment stops. From the time spent for repairs, it is possible to draw the curves of maintainability, and also evaluate the average time to recovery of failures. And yet, it is possible to find out the availability, what is considered a variable of great importance when it comes to sizing the fleet. Finally, it was proposed the use of a system designed to monitor the process of maintenance of the company as well as manage the improvements that are implemented in the maintenance process. The studies have demonstrated that this subsystem demonstrates patterns of critical failures, requiring efforts to provide greater reliability to it.

Key words: Maintenance management, reliability and availability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos da Engenharia de Manutenção	7
Figura 2 - Curva da Banheira	12
Figura 3 - Curva de Confiabilidade pra TMEF e KMEF distribuídos exponencialmente.....	34
Figura 4 - Categorias do tempo total de um Reparo.....	34
Figura 5 - Simbologia utilizada na árvore de falhas.....	34
Figura 6 - Tipos de Falhas	40
Figura 7 - Confiabilidade Atingida (LIC) x Quilometragem entre Manutenção (Subsistema Freios)	49
Figura 8 - Subsistemas	49
Figura 9 - Curva de confiabilidade mista (LIC x LSC).....	51
Figura 10 - Manutenibilidade x Tempo de Reparo	53
Figura 11 - Disponibilidade Inerente da Amostra	56
Figura 12 - Gradiente de Falha Subsistema Freio – Média Amostral	58
Figura 13 - Disponibilidade x Tempo Médio para Reparar	61
Figura 14 - Combinações de KMEF e TMPR x Disponibilidade Inerente.....	62

LISTA DE SIGLAS

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de veículos automotores

TMEF – Tempo Médio entre Falhas

KMEF – Quilometragem Média entre Falhas

TMPR – Tempo Médio para Reparar

MQMO – Média do Quantitativo de mão-de-obra

DO – Disponibilidade Operacional

DI – Disponibilidade Inerente

KMPR – Quilometragem Média para reparar

DHp – Distância Hipotética Percorrida

EXL – Extensão Média de Percurso

TMp – Tempo Médio de Percurso

LIC – Limite Inferior de Confiabilidade

LSC – Limite Superior de Confiabilidade

TMPR_{H-H} – Tempo Médio para Reparar (Homem x Hora)

DILs – Disponibilidade Inerente Limite Superior

DIL_i – Disponibilidade Inerente Limite Inferior

MCC – Teoria da Manutenção Centrada na Confiabilidade

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de ônibus no Brasil por Fabricante no ano de 2010	2
Tabela 2 - Linhas Pesquisadas	38
Tabela 3 - Característica das Linhas 114, 115 e 116	38
Tabela 4 - Composição da Frota estudada por Linhas	38
Tabela 5 - Combinações TMEF x TMPR para otimização de Disponibilidade Inerente	62

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais	72
Anexo B – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais	74
Anexo C - Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais.....	75
Anexo D - Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010)	78
Anexo E - Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010).....	79
Anexo F - Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010).....	80
Anexo G - Relatório Mecânico	81
Anexo H - Relatório Mecânico	86
Anexo I - Relatório Mecânico	88

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE SIGLAS	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo Geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura da dissertação	4
Capítulo 2 – Conceituação de Manutenção	6
2.1 Competitividade Empresarial	6
2.2 Engenharia de Manutenção	7
2.3 Eficácia dos Sistemas.....	8
2.3.1 Sistemas e suas Partes	8
2.3.2 Ciclos de Vida dos Sistemas.....	8
2.3.3 Vida Útil dos Sistemas	9
2.3.4 Dependabilidade	9
2.4 Teoria da Confiabilidade	11
2.4.1 Definição de Falhas	12
2.5 Curva da Banheira	13
2.6 Taxas de Falhas	14
2.6.1 Tipos de Distribuição de Falhas	15
2.7 Tempo x Quilometragem.....	18
2.8 Manutenibilidade.....	19
2.9 Tipos de Manutenção.....	22
2.9.1 Manutenção Corretiva.....	22
2.9.2 Manutenção Preventiva	22
2.9.3 Manutenção Preditiva	23

2.9.4 Manutenção Detectiva	24
2.10 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)	24
Capítulo 3 – Manutenção de ônibus urbanos	26
3.1 A análise de confiabilidade e manutenibilidade	26
3.2 Tempo Médio entre Falhas - TMEF	26
3.3 Intervalos de Confiança	27
3.4 Tempo Médio para Reparar – TMPR	28
3.5 Tempo Médio para Reparar (Homem x Hora)	28
3.6 Presteza Operacional	29
3.7 Disponibilidade Operacional	29
3.8 Disponibilidade Inerente	30
3.8.1 Índice de Indisponibilidade	32
3.9 Tempo Mediano de reparo de Manutenção	32
3.9.1 Tempo Máximo de Manutenção	33
3.10 Ferramentas de Análise	33
3.10.1 Análise de Árvore de Falhas	34
3.10.2 Diagramas de Blocos	35
Capítulo 4 – Análise dos transportes da empresa estudada	36
4.1 Ambiente Empresarial analisado	36
4.1.1 Características Técnicas	37
4.1.2 Ambiente Operacional	37
4.1.3 Padrão de Falhas	39
4.2 Período de Análise	39
4.3 Modo de Falhar	40
4.4 Regime de Manutenção	42
4.4.1 Efetivos de Manutenção por Turnos	42
4.5 Metodologia de Análise	43
4.5.1 Análise de Manutenibilidade	44
4.5.2 Análise de Disponibilidade	45
4.6 Análise de Dados	46
4.7 Subsistema Freio	47
4.8 Avaliação da Confiabilidade Sistêmica	49
4.9 Manutenibilidade Sistêmica	52
4.10 Disponibilidade Sistêmica	55

Capítulo 5 – Análise de Sensibilidade	57
5.1 Análise de sensibilidade de Confiabilidade	57
5.1.1 Cenário de Avaliação de Análise de Sensibilidade de confiabilidade	58
5.2 Análise de Sensibilidade de Manutenibilidade	59
5.3 Análise de Sensibilidade de Disponibilidade	60
Capítulo 6 – Conclusão.....	63
6.1 Propostas de Melhorias para a empresa.....	67
6.2 Pesquisas Futuras	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
Anexo A – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais	72
Anexo B – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais	74
Anexo C – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais	75
Anexo D – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010).....	81
Anexo E – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010).....	83
Anexo F – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010).....	84
Anexo G – Relatório Mecânico	81
Anexo H – Relatório Mecânico.....	86
Anexo I – Relatório Mecânico	88

Capítulo 1 – Introdução

“Neste capítulo é apresentada uma visão geral deste trabalho, sua justificativa, seus objetivos e a metodologia empregada.”

Para a sobrevivência das empresas no mercado torna-se necessário a implantação de novas metodologias que possibilitem uma redução dos custos em serviços prestados, visando o aumento nos lucros e um maior poder de competitividade. Sendo assim, as empresas, vem apegando-se às tendências que registram a importância da aplicação da gestão do conhecimento, através da aquisição de novas técnicas de gestão.

Para que a empresa consiga rentabilidade e competitividade torna-se fundamental que sua base seja estruturada em qualidade e produtividade. A maior parte das decisões estratégicas da gestão de uma frota de veículos tem como pontos de análise a problemática do controle e redução dos sistemas de manutenção.

No setor de Transporte Público por ônibus, alguns pontos necessitam de monitoração no sistema de manutenção. Isto significa que a manutenção dos veículos é tão importante quanto a prestação de serviços prestados por estes transportes, pois é através da qualidade da manutenção que os veículos conseguem trafegar atendendo os requisitos estabelecidos pela Lei 9503 de 23 de setembro de 1997.

A solução mais utilizada pelas empresas é o aumento do número de profissionais no setor de manutenção para melhorar as condições de operação dos veículos, sendo esta solução inviável em função do aumento considerável e imediato do custo fixo, quando a necessidade maior é a redução destes em um curto espaço de tempo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é desenvolver uma proposta para a utilização de uma Análise de Manutenção de Transportes Públicos por Ônibus Urbanos, em que a empresa será orientada a aplicar as propostas obtidas a partir do estudo realizado nesta dissertação, assim como preencher relatórios de controle de manutenção, que possibilitem um estudo mais detalhado da manutenção existente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a gestão empresarial existente;
- Calcular a Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade dos veículos;
- Propor melhorias no sistema de transporte público por ônibus na empresa estudada.

1.2 Justificativa

Quando se trata de sistemas de transporte, uma degradação operacional dos veículos pode causar riscos aos usuários, resultados econômico-financeiros insatisfatórios, além de comprometer a credibilidade e a imagem da empresa.

A indústria nacional de ônibus em 2010 registrou no acumulado de janeiro a novembro de 2010, segundo os dados da (ANFAVEA, 2010) uma fabricação de 43.550 ônibus. Este número representa alta de 34,4% em comparação ao acumulado no mesmo período de 2009, quando a produção de ônibus atingiu 32.405 unidades.

FABRICANTE	PRODUÇÃO ANUAL
AGRALE S.A.	4.349
MERCEDES-BENZ DO BRASIL S.A.	25.299
SCANIA LATIN AMERICA LTDA	1.705
VOLVO DO BRASIL LTDA	997
MAN LATIN AMERICA IND COM VEIC LTDA	10.352
IVECO MERCOSUL LTDA	848
TOTAL	43.550

Tabela 1 - Produção de ônibus no Brasil por Fabricante no ano de 2010

Fonte: ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de veículos automotores - 2011

Dos 43.550 ônibus fabricados de janeiro a novembro de 2010, 38.250 foram para serviços urbanos e 5.299 possuem características rodoviárias. Em relação às exportações de ônibus, em novembro foram enviados para o exterior 1532 ônibus e em outubro 1591 (BAZANI, 2010).

Algumas pesquisas no âmbito do problema abordado, já foram desenvolvidas por outros pesquisadores, conseguindo assim, contribuir para uma melhor gestão nas empresas estudadas.

Em sua dissertação de mestrado Barbosa (2007) apresentou uma proposta de metodologia para a manutenção de ônibus urbanos e Ferrão (2009) um estudo sobre a fiabilidade e manutenção em veículos de transporte público. Ambas as dissertações analisaram através de dados avaliativos e estatísticos a situação atual das empresas e proporam melhorias, baseados na condição real e crítica existente neste setor.

Tendo como referência trabalhos similares aos citados, esta dissertação foi desenvolvida a fim de proporcionar à empresa estudada condições de melhorias através de um trabalho acadêmico e voltado para as condições existentes no setor, visto que quando se trata de ônibus urbanos, em Campos dos Goytacazes, o estudo reveste-se de considerável importância, pois o ônibus é a principal modalidade de transporte da cidade.

1.3 Metodologia

A pesquisa consiste em coletar dados de manutenção de uma empresa operadora de transportes coletivos na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ com o intuito de fazerem-se medições de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade atingidas pela empresa e ainda propor uma metodologia de gestão da manutenção existente.

A partir da coleta de dados, obtidos por meio de relatórios de manutenção, calculam-se para um determinado subsistema as propriedades de confiabilidade.

A confiabilidade adquire um elevado grau de importância, uma vez que, além de contribuir para a melhoria da qualidade do serviço, colabora para o aumento da

produtividade e da competitividade da empresa, influenciando diretamente na redução dos custos de retrabalho e correções.

Após serem obtidas as características Confiabilidade e Manutenibilidade, foram construídas curvas de Disponibilidade, sendo possível identificar o subsistema freio como crítico no sistema existente, assim como sugerir atividades que aperfeiçoem a operação dos ônibus.

As abordagens dos assuntos relacionados se utilizam de ferramental estatístico e matemático.

Os dados foram tratados tendo como ferramenta de auxílio para construção das tabelas e dos gráficos o Excel.

A coleta de dados foi realizada tendo como fontes os relatórios de manutenção de uma empresa de Transporte Público por ônibus, no período de aproximadamente três anos.

Utilizou-se como parâmetro de análise, a ocorrência de falhas, segundo critérios estabelecidos na análise de confiabilidade, assim como os tempos de paradas para reparos das respectivas falhas.

1.4 Estrutura da dissertação

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – Introdução: Apresenta uma visão geral deste trabalho, sua justificativa, seus objetivos e a metodologia empregada.

Capítulo 2 – Conceituação de manutenção: Apresenta uma revisão de literaturas utilizadas, a partir da Teoria da Confiabilidade e da Teoria dos Sistemas.

Capítulo 3 – Manutenção de ônibus urbanos: Apresenta como serão definidos os parâmetros para a análise que está sendo proposta.

Capítulo 4 – Análise dos transportes da empresa estudada: Apresenta as características do Sistema estudado.

Capítulo 5 – Análise de Sensibilidade: Será apresentada uma estruturação da Análise de Sensibilidade.

Capítulo 6 – Conclusão: Serão apresentadas as conclusões, as recomendações para melhorias futuras, seguidas pelas referências bibliográficas e os anexos.

Capítulo 2 – Conceituação de Manutenção

“Neste capítulo é apresentada uma revisão de literaturas utilizadas, a partir da Teoria da Confiabilidade e da Teoria dos Sistemas.”

2.1 Competitividade Empresarial

Atualmente o processo de mudanças no mercado de atuação das empresas, em razão da grande revolução tecnológica é bem mais rápido do que no passado, e as empresas para sobreviverem neste mercado devem se transformar no mesmo ritmo.

Para Klippel (1998), a competitividade que possibilita a sobrevivência das organizações passa pela profunda reestruturação das mesmas: não apenas novas tecnologias e métodos de trabalho são indispensáveis, mas também uma mudança radical com relação ao mercado e ao comportamento das pessoas que pertencem à organização.

O aumento da concorrência internacional gerado pela globalização obriga as empresas a cortarem custos diminuindo os preços. Torna-se fundamental acompanhar os novos tempos, através da garantia da qualidade dos produtos, diretamente ligada a preços competitivos de mercado.

Em Tubino (1999) é afirmado que fatores relacionados à sobrevivência das empresas em mercados altamente competitivos estão ligados à forma como as organizações planejam estrategicamente seus negócios.

Dando continuidade, esclarece que agora, as empresas se vêem forçadas a rever a postura existente e pensar em como seus sistemas devem se posicionar estrategicamente para garantir vantagens em relação à concorrência.

Com a competitividade entre as empresas tornando-se cada vez mais acirrada, as empresas procuram eliminar todos os desperdícios e perdas. Para a conquista dos desafios cada vez mais difíceis, há a necessidade de uma motivação apropriada.

2.2 Engenharia de Manutenção

Sob o enfoque da Engenharia, a manutenção deve ser vista de forma abrangente. A Engenharia de Manutenção ocupa-se do planejamento e gerenciamento de sistemas em operação, mantendo-os em conformidade com os objetivos propostos.

Segundo definição do *American Institute of Industrial Engineers* apud Almeida e Wasjman (1989), a Engenharia de Manutenção é a atividade que estuda o projeto e a implantação de sistemas integrados de homens, materiais, equipamentos e ambientes, tendo como base conhecimentos matemáticos, físicos e sociais, em paralelo com os métodos de análise e de projeto técnico, para especificar e avaliar os resultados a serem obtidos destes sistemas.

A Engenharia de Manutenção atua na busca constante para o alcance do desenvolvimento e implementação de novas soluções para as atividades de manutenção. Opera também na melhoria do desempenho da manutenção na obtenção de um padrão classe mundial e no desenvolvimento de serviços globais e de satisfação do cliente, podendo também ser suporte à área de Gestão de Manutenção de uma empresa, redesenho dos processos de trabalho, entre outros. Como pode ser observado na figura 1.

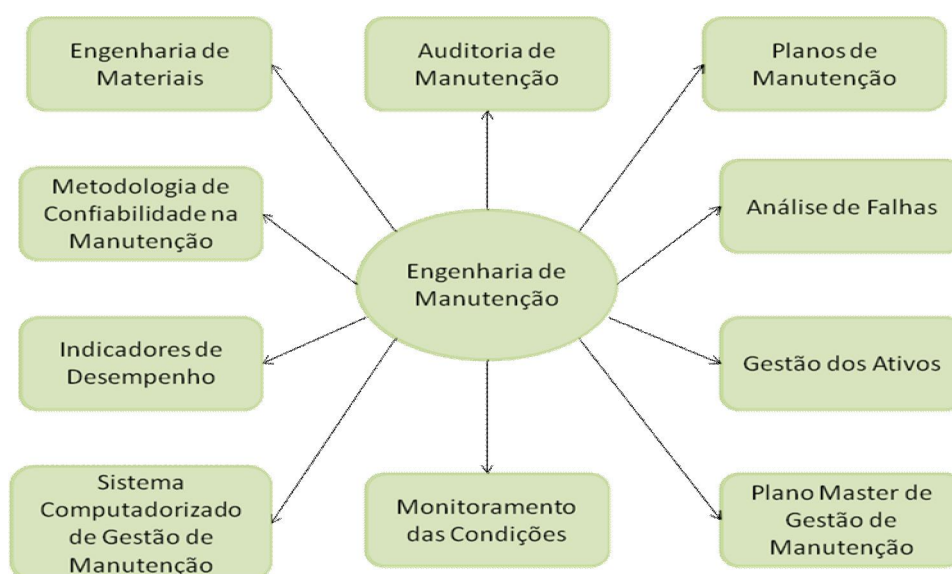


Figura 1 - Produtos da Engenharia de Manutenção

Fonte: Adaptada de www.siemens.com.br/templates (2001).

A Engenharia de Manutenção utiliza-se das ferramentas da Engenharia de Produção, que se divide em três áreas básicas, sendo:

- Gerência de Produção;
- Pesquisa Operacional;
- Engenharia Econômica.

Segundo Barbosa (1997), dentre as aplicações da Engenharia de Manutenção pode-se destacar:

- Avaliação de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade;
- Planejamento de paradas de manutenção preventiva;
- Dimensionamento de equipes, reserva técnica e estoque sobressalente;
- Avaliação da Vida Útil dos sistemas.

2.3 Eficácia dos Sistemas

2.3.1 Sistemas e suas Partes

Luz (1986) em sua dissertação de mestrado define um sistema como sendo um conjunto de dispositivos e recursos que operam formando uma unidade destinada a cumprir determinada função ou executar determinado trabalho, incluindo todos os equipamentos, facilidades, materiais, software, serviços e pessoal requeridos para sua operação e apoio em um grau em que o sistema passa a ser considerado auto-suficiente no ambiente operacional que lhe foi destinado.

2.3.2 Ciclos de Vida dos Sistemas

Em Barbosa (1997) é afirmado que um sistema passa por diversas fases num período determinado entre concepção e desativação. Basicamente podem ser resumidas em quatro etapas básicas, sendo:

- Formulação Conceitual;
- Desenvolvimento Experimental;
- Produção;
- Operação.

Na formulação conceitual é obtido um conjunto de requisitos operacionais, nessa fase as potencialidades existentes são testadas, obtendo assim mais opções. Já no desenvolvimento experimental, os requisitos operacionais são transformados em um conjunto de requisitos do sistema, protótipos, etc. No processo de produção, o sistema é produzido e colocado em operação. Por fim, o sistema é utilizado e submetido a um apoio logístico, sendo mantido e adaptado à medida que isto se torna necessário.

2.3.3 Vida Útil dos Sistemas

Os sistemas não são capazes de operar, sem intervenções, por um tempo indeterminado. Durante a operação, ocorre desgaste dos componentes, o que pode vir a provocar ocorrência de falhas, sendo este processo de desgaste contínuo, em função do número de horas ou quilometragem de operação. Mesmo tendo uma minimização das falhas decorrente das intervenções de manutenção, chega a um ponto em que a operação torna-se inviável, tanto econômica quanto tecnologicamente.

Polovko (1968) define Vida Útil de um sistema como o espaço de tempo compreendido entre o início de operação e sua desativação. Ressalta também a importância de não se confundir vida útil com o conceito de confiabilidade. A vida útil de um sistema não é determinada apenas pela vida útil de cada componente individualmente, mas dependerá de sua complexidade, visto que a inter-relação entre os componentes afeta todo o conjunto. Além disso, a vida útil é função das condições de operação, tecnologia e controle de qualidade.

2.3.4 Dependabilidade

Em Villemeur (1992), a dependabilidade pode ser definida como “a ciência das falhas. Ela abrange o conhecimento dessas falhas, suas avaliações, suas previsões, suas medidas e seus controles”.

Ainda, em Villemeur (1992), em um sentido mais restrito, dependabilidade “é a habilidade de uma entidade desempenhar uma ou mais funções sob dadas condições”.

Os principais conceitos que caracterizam a dependabilidade são apresentados por Villemeur (1992), como seguem:

Confiabilidade – é a habilidade de uma entidade executar uma função requerida sob dadas condições por um dado intervalo de tempo, sendo medida pela probabilidade de que uma entidade E possa executar uma função requerida sob dadas condições para um intervalo de tempo $[0, t]$:

$$R(t) = P [E \text{ não falhar durante } [0, t]]$$

Disponibilidade – é a habilidade de uma entidade estar em um estado de executar uma função requerida sob dadas condições a um dado instante de tempo. Sendo medida pela probabilidade de que uma entidade E esteja em um estado para executar uma função requerida sob dadas condições e em um dado instante t :

$$A(t) = P [E \text{ não estar em falha no instante } t]$$

Manutenibilidade – é a habilidade de uma entidade ser mantida em, ou reparável para, um estado em que ela possa executar uma função requerida, quando uma manutenção é executada sob dadas condições e utilizando-se procedimentos e recursos previamente determinados. A mesma é geralmente medida pela probabilidade que a manutenção de uma entidade E , executada sob dadas condições, e usando dados procedimentos e recursos, esteja completa no tempo t , dado que a entidade falhou no tempo $t = 0$:

$$M(t) = P [\text{da manutenção de } E \text{ estar completada no tempo } t]$$

Este conceito aplica-se apenas a sistemas reparáveis. A manutenibilidade caracteriza a habilidade de um sistema retomar o desempenho de suas funções após uma falha.

Segurança – é a habilidade de uma entidade não causar, sob dadas condições, eventos críticos ou catastróficos. Medida pela probabilidade de que uma entidade E , sob dadas condições, não causará eventos críticos ou catastróficos.

2.4 Teoria da Confiabilidade

Kardec e Nascif (2001) definem confiabilidade como sendo “a probabilidade de um item desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso”. A taxa de falhas (λ), em geral, segue a curva da banheira, que é definida por três fases marcantes: a mortalidade infantil, em que ocorre um número elevado de falhas devido a defeitos de fabricação de componentes e erros de projeto; a vida útil, em que a taxa de falhas reduz sensivelmente e tende a ficar constante; e a fase de desgaste, em que a taxa de falhas volta a subir devido ao desgaste natural do equipamento e seus componentes.

Tan (2003) afirma que um dos requisitos essenciais no desenvolvimento de produtos ou serviços são os estudos de confiabilidade e que vem sendo empregado por um grande número de empresas. Por isso, a confiabilidade deve ser vista como parte da estratégia empresarial (MADU, 2005), capaz de gerar impactos relevantes na qualidade de serviços que não podem ser alcançados sem que haja confiabilidade (MADU, 1999).

A função confiabilidade será sempre decrescente com o tempo, pois as probabilidades de sobrevivência de um componente sempre diminuem de acordo com a taxa de utilização e em razão dos mecanismos de desgaste e de fadiga.

Barbosa (1997), em sua dissertação de mestrado, trata a confiabilidade como sendo a habilidade de um determinado sistema em preservar suas características de funcionamento livres de falhas, dentro das condições de operação estabelecidas pelo fabricante, desde que sujeito à manutenção, sendo definida como a probabilidade de um item desenvolver suas funções com sucesso, sob condições específicas em um dado intervalo de tempo.

Ainda em BARBOSA (1997) é possível identificar as fórmulas básicas:

$$R(t) = N_s(t) / (N_s(t) + N_f(t)) = N_s(t) / N_0 \quad (1)$$

Em que:

$N_s(t)$: Número de itens que funcionam sem apresentar falha durante o tempo t ;

$N_f(t)$: Número total de itens que apresentam falhas durante o tempo t ;

N_0 : Número total de itens no início da análise.

Se $R(t)$ representa a probabilidade de sucesso em uma determinada missão em um intervalo de tempo t e se a probabilidade de falhas, no mesmo intervalo de tempo for expressa por $F(t)$, pode-se escrever:

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2)$$

A função probabilidade de falhas pode ser expressa por:

$$F(t) = N_f(t) / N_0 \quad (3)$$

Uma vez que $F(t) + R(t) = 1$, pode-se afirmar que:

$$R(t) = 1 - N_f(t) / N_0 \quad (4)$$

Para a obtenção de índices de confiabilidade satisfatórios, faz-se necessária a utilização de componentes ou peças com elevada qualidade, assim como tornar as condições de operação as mais adequadas possíveis.

2.4.1 Definição de Falhas

Pode ser considerada falha de um dado sistema quando ocorre qualquer tipo de interrupção durante a execução do mesmo. Do ponto de vista da análise da confiabilidade as falhas subdividem-se em dois grupos, o das falhas identificáveis e o das falhas não identificáveis.

Podendo ser caracterizadas como Falhas identificáveis as que permitem ser atribuídas a falhas de projeto ou fabricação, assim como as decorrentes de utilização contínua, desde que sob condições compatíveis com as especificações de projeto.

As Falhas Identificáveis são originadas de erros de projeto ou fabricação, sendo cabível a responsabilidade de tais falhas ao fabricante do equipamento, pelo menos no período denominado de garantia.

Em se tratando das falhas não identificáveis podem ser atribuídas aquelas cujas causas são a exposição a tensões acima das especificações de projeto, erros de operação, assim como manutenção insatisfatória. É denominada de Não Identificáveis devido ao fato de que estas falhas são de difícil determinação por parte dos analistas.

As falhas podem ser analisadas quanto à maneira que se manifestam, sendo:

- Falhas Permanentes: Ocasionam ausência total da função exercida pelo componente ou dispositivo até que o defeito seja solucionado;
- Falhas Intermitentes: Ausência momentânea da função, que logo após são restabelecidas não sendo tomada ação corretiva.

O estudo da maneira de falhar dos sistemas reverte-se de grande importância para a estruturação do estudo da confiabilidade e manutenibilidade, visto que, dependendo do tipo de falha, poderá acontecer perda parcial ou total da confiabilidade.

2.5 Curva da Banheira

Diversos autores como Bergamo (1997); Blanchard (2003); Mathew (2004) e Moraes (2004) apontam que determinados produtos, independente de fabricante, material e complexidade, têm o histórico de confiabilidade dividido em três fases diferentes, sendo elas apresentadas na figura 3:

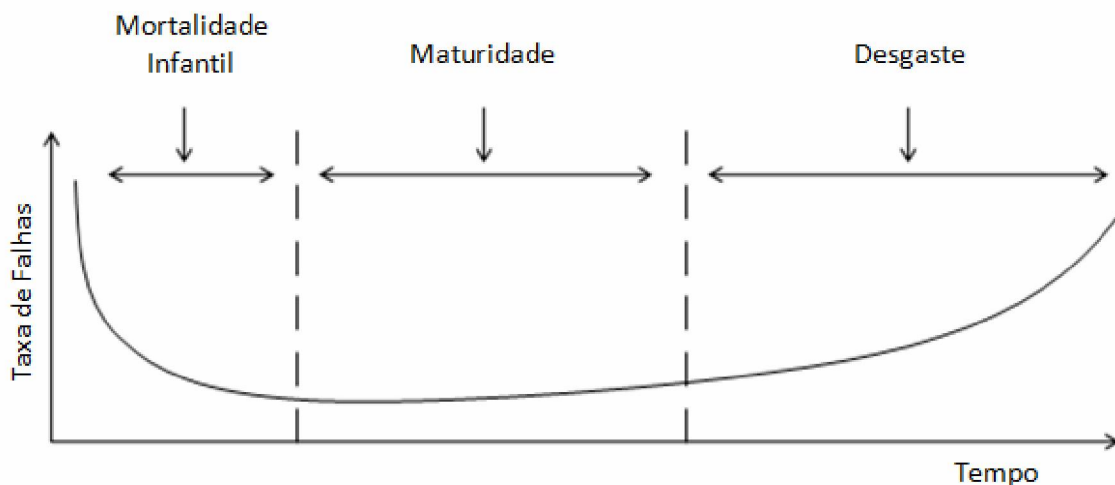


Figura 2 - Curva da Banheira

Fonte: Adaptada de BLANCHARD (2003).

Em Moraes (2004), outras curvas representativas de determinados comportamentos são apresentadas, ou seja, a taxa de falhas ao longo do tempo. A chamada curva da banheira pode ser considerada como um modelo teórico e bastante aplicável a componentes mecânicos que, por algum motivo, não puderam ser devidamente testados após a montagem do sistema e apresentam um modo

de falha predominante. Este modelo não é universal e aplicável a qualquer equipamento ou sistema.

A Curva da Banheira permite descrever as seguintes fases:

- Mortalidade Infantil: sendo a fase inicial da vida de um produto, quando ocorrem as chamadas falhas prematuras que necessitam de depuração do processo de produção e dos componentes do sistema. Nesta fase a taxa de falhas é alta, porém em decréscimo e não deve ser utilizada para efeitos de cálculo da confiabilidade, pois as características do dispositivo podem ser modificadas, até se atingir a configuração final. Nesta fase, o fabricante deve executar testes e ensaios acelerados, buscando antecipar a maturidade do dispositivo, sendo possível disponibilizar ao mercado, um produto com valores adequados de confiabilidade.
- Maturidade: trata-se do período mais longo do produto, em que a taxa de falha se mantém estável, no seu nível mais baixo. Segundo Rosa (2003), este é o período durante o qual ocorrem as chamadas falhas casuais, que são devidas em sua maioria a fatores complexos, incontroláveis e nem sempre conhecidos. Este período também pode ser considerado como sendo a vida útil do componente ou sistema.
- Desgaste: é a fase da vida do produto que compreende o período de crescimento súbito e contínuo da taxa de falhas, tendo como resultado o aumento da frequência de manutenção. Vaccaro (1997) afirma que “a manutenção de equipamentos que já tenham atingido esta fase tenderá a tornar-se demasiadamente onerosa”. Sendo assim, e sob a perspectiva do planejamento do ciclo de vida, antes de um dispositivo atingir esta fase, deve-se haver uma definição para se avaliar qual ação é mais vantajosa, sendo possível optar pela recuperação, modernização, substituição ou desativação de um produto ou sistema.

2.6 Taxas de Falhas

Segundo Barbosa (1997) Com base na expressão (4) e derivando-a em relação ao tempo, obtém-se:

$$dR(t) / dt = -1/N_0 \times dN_f(t) / dt \quad (5)$$

Quando dt se aproxima de zero, a expressão (5) torna-se função densidade de probabilidade de falha instantânea, $f(t)$:

$$dR(t) / dt = - f(t) \quad (6)$$

Relacionando as equações (1) e (5), tem-se:

$$dN_f / dt = - N_0 \times dR(t) / dt = - dN_s(t) / dt \quad (7)$$

Dividindo-se os membros da equação (7) por N_s , tem-se:

$$1/N_s(t) \times dN_f(t) / dt = - N_0 / N_s(t) \times dR(t) / dt \quad (8)$$

O termo $(1/N_s(t) \times dN_f(t) / dt = - N_0 / N_s(t) \times dR(t) / dt)$ é a taxa de falhas $z(t)$, também conhecida como taxa de falha em função do tempo, que expressa a taxa de falhas por unidade de tempo de operação do sistema.

2.6.1 Tipos de Distribuição de Falhas

Para se estudar as fases do ciclo de vida dos sistemas, torna-se importante definir o padrão de distribuição das falhas ao longo do tempo. A distribuição normal retrata o período de falhas de Desgaste.

O fato de que o termo $z(t)$ (taxa de falhas) torna-se constante, pode ser considerado como a principal característica da Distribuição Exponencial de Falhas. Dentro do período em que se torna válida a hipótese de distribuição exponencial, não ocorrem incrementos de $z(t)$ ao longo do tempo de operação, tornando-o constante.

No momento em que o $z(t)$ torna-se constante, a taxa passa a ser denominada gradiente de falhas λ , que fornece a probabilidade de falha em um determinado espaço de tempo. Pode-se afirmar que o gradiente de falhas é o indicador do número de falhas que pode vir a acontecer em um determinado intervalo de tempo, em geral 01 hora de operação. O gradiente de falhas torna-se característica intrínseca de cada componente, tendo três fatores que exercem grande influência sobre este, sendo:

- O projeto do componente ou peça;
- O padrão de qualidade no qual foi construído;
- As condições de operação, assim como a rotina de manutenção a que o componente está sujeito.

Barlow, Proschan e Hunter (1965) citado por Barbosa (1997), consideram que para sistemas compostos de vários subsistemas dotados de grau de complexidade, cada um sujeito a padrões de falhas diferentes, assim como todos responsáveis pelo padrão de falha do sistema como um todo, a distribuição exponencial pode vir a representar de forma satisfatória a distribuição dos tempos entre falhas, desde que sejam obedecidas algumas condições, sendo elas:

- O sistema deve ser formado por um número considerável de subsistemas, que por sua vez, são formados por uma quantidade relevante de componentes;
- Os componentes que formam os subsistemas são estocasticamente independentes;
- As falhas nos subsistemas causam a falha do sistema;
- Todos os componentes devem ser reparados ou substituídos imediatamente após a constatação das falhas.

Pode-se dizer que os sistemas, em geral, na medida em que aumentam o grau de complexidade, a tendência é de que seus tempos entre falhas sejam representados por uma distribuição exponencial.

Para os casos em que o gradiente de falhas é decrescente, ou ainda crescente a taxas diferentes das verificadas em distribuições normais, utilizam-se as distribuições Weibull, que de acordo com a calibração dos parâmetros pode assumir tanto o formato de uma distribuição normal ($z(t)$ crescente), distribuição exponencial ($z(t)$ constante), quanto distribuições com $z(t)$ decrescentes.

Em Barbosa (1997), a relação entre $z(t)$ e $R(t)$, pode ser dada por:

$$F(t) = R(t) \times z(t) \quad (9)$$

Em que:

$F(t)$: Função Densidade de Probabilidade de Falha Instantânea;

Se for realizada uma substituição das equações (1) e (6) na equação (9), tem-se:

$$dR(t) / R(t) = - z(t) dt \quad (10)$$

Integrando-se a expressão (10) de 0 a t , tem-se:

$$\ln R(t) = -z(t) dt \quad (11)$$

Quando adotada uma distribuição de tempos entre falhas exponenciais, o que considera $z(t) = \text{constante} = \lambda$, tem-se:

$$\ln R(t) = -\lambda t \quad (12)$$

Logo:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (13)$$

Em que:

$R(t)$: Confiabilidade do subsistema (Probabilidade do item executar determinada tarefa de maneira completamente satisfatória);

t : Duração da missão (tempo ou distância percorrida)

λ : Gradiente de falhas do sistema.

A figura 4 ilustra o formato da curva de confiabilidade para distribuições dos tempos entre falhas exponenciais.

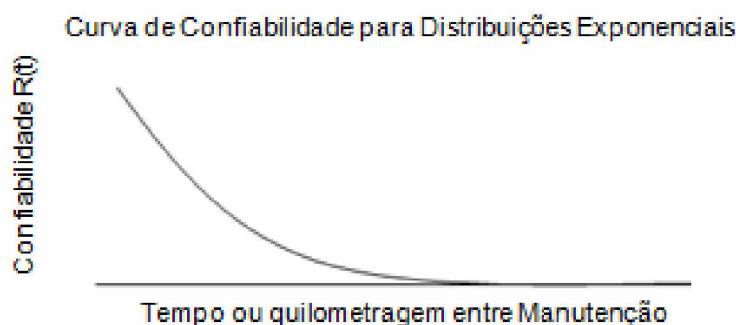


Figura 3 - Curva de Confiabilidade para TMEF ou KMEF distribuídos exponencialmente

Supondo-se que o tempo entre falhas apresenta uma distribuição normal, Meyer (1982), citado por Barbosa (1997), demonstrou que a confiabilidade $R(t)$ é dada por:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad (14)$$

Em que:

θ : Parâmetro da distribuição normal;

t : Duração da missão (tempo ou distância);

μ : Média de tempos entre falhas;

σ : Desvio Padrão do Tempo Médio entre Falhas.

Caplen (1972), citado por Barbosa (1997), demonstrou que em distribuições Weibull, a confiabilidade $R(t)$ é dada por:

$$R(t) = \exp(-(t - \gamma)^{\beta / \alpha}) \quad (15)$$

Na qual α , β e γ são, respectivamente, parâmetro de escala, parâmetro de forma e parâmetro de localização. Fazendo-se $\gamma = 0$, $\beta = 1$ e considerando-se $\alpha = 1/\lambda$, obtemos a função da confiabilidade para distribuições exponenciais, equação (13).

A variação do parâmetro de forma conduz a distribuições que possuem desde taxas de falhas decrescentes ($\beta < 0$) até distribuições com taxas de falhas crescentes ($\beta > 0$).

2.7 Tempo x Quilometragem

É possível definir como Tempo Médio entre Falhas (TMEF) aquele tempo durante o qual um subsistema desempenhará normalmente suas funções sem nenhum tipo de ocorrência de falhas. (BARBOSA, 1997 apud LUZ, 1986) mostra que, quando o tempo para falhar é distribuído exponencialmente, o TMEF é o recíproco (inverso) do gradiente de falhas λ ($TMEF = 1 / \lambda$).

Quando se trata de sistemas de transporte terrestres, a variável quilometragem percorrida tem grande significância em relação à variável tempo, visto que o controle operacional tende a ser feito por meio de odômetros (usados para medir a quilometragem, são interessantes por sua simplicidade, nada mais são que um conjunto de engrenagens com uma grande relação de velocidade) e não por medidores de tempo.

Conforme a expressão (8), a confiabilidade é dada por $R(t) = e^{-\lambda t}$ em que o produto do expoente gera um adimensional, pois se multiplica o parâmetro λ , cuja unidade é (1/ unidade de tempo), pela duração da missão, cuja unidade, inicialmente, é (unidade de tempo).

Analogamente para o caso de se trabalhar com a Quilometragem Média entre Falhas (KMEF), considerando-se uma distribuição exponencial das ocorrências de falhas, o gradiente de falhas λ será dado pelo inverso da KMEF ($\lambda = 1/KMEF$), cuja unidade será (1/unidade de distância). Da mesma forma que no

caso anterior, o produto do expoente da função de confiabilidade continuará sendo um número adimensional (produto de λ [1/km] por duração da missão [km]), comprovando que se pode trabalhar com a variável tempo ou com a variável distância percorrida indistintamente.

2.8 Manutenibilidade

A análise isolada da variável confiabilidade pode trazer indicações incorretas ao analista sobre a disponibilidade do equipamento. Sistemas com índices de confiabilidade elevados podem não atender às exigências operacionais, caso possuam valores baixos de outra propriedade denominada Manutenibilidade, pois pode estar operando um equipamento com probabilidade de falhas baixas, porém, quando esta ocorrer, haverá dificuldades para restabelecer-lhe as condições iniciais de operação, o que implica o sistema estar indisponível para operação durante um período de tempo considerável.

A variável de maior relevância neste conceito probabilístico, quando se trata de manutenibilidade é o tempo gasto na realização das atividades de manutenção.

Para Barbosa (1997), os tempos de manutenção são de alguma forma, distribuídos estatisticamente. De forma genérica, manutenibilidade pode ser definida como a probabilidade com que um sistema em pane é retomado às suas condições operacionais dentro de um determinado tempo.

Em linguagem algébrica, pode-se expressar a propriedade Manutenibilidade como sendo:

$$M(t) = P(t < \text{TMPR}) \quad (16)$$

Em que:

TMPR: Tempo médio para reparar (obtido da média da distribuição dos tempos utilizados para manutenção).

t: Tempo de realização de um reparo específico;

A partir de uma análise temporal das atividades de manutenção, divide-se o tempo total (t) empreendido em um reparo, em três categorias, como mostrado na Figura 4, a seguir:

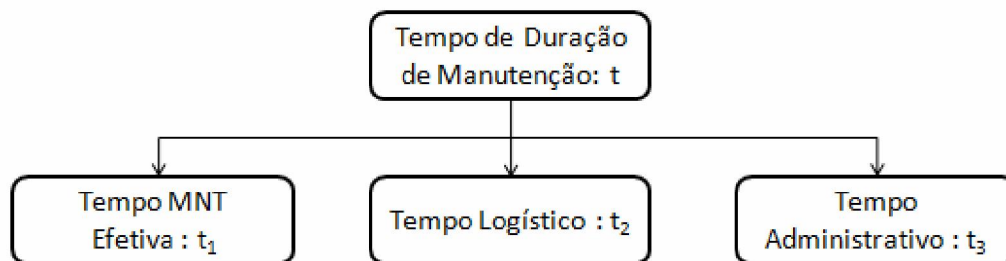


Figura 4 - Categorias do Tempo Total de um reparo

Fonte: Adaptado de Barbosa (1997)

- 1) Tempo de Manutenção Efetiva (t_1): Trata-se do intervalo de tempo durante o qual são efetivamente realizadas tarefas de manutenção nos sistemas. Durante esse período os técnicos realizam reparos, ajustes, trocas ou substituições dos equipamentos.
- 2) Tempo Logístico (t_2): Compreende todo o tempo gasto nas atividades de suporte tais como obtenção de materiais, peças, alocação de ferramentas, etc.
- 3) Tempo Administrativo (t_3): Estão incluídos todos os desperdícios de tempo com atividades que não estejam diretamente relacionados à área técnica. Compreendendo desde atrasos por falta de mão de obra, falta de ferramentas ou peças de reposição, até a incapacidade das instalações em atender a um determinado tamanho de frota. Podendo ser considerada como a primeira variável a se trabalhar no caso de se pretender obter uma otimização de TMR.

O Tempo Médio para Reparar (TMR), torna-se um requisito quantitativo de confiabilidade que resulta em um requisito deduzido de manutenibilidade.

$$TMR = \sum \lambda_i \cdot t_i / \sum \lambda_i \quad (17)$$

Em que:

λ_i : Gradiente de falhas do i -ésimo componente reparável ou substituível do sistema;

t_i : Tempo necessário para realizar o reparo no i -ésimo componente que apresenta falha.

Analogamente ao estudo da confiabilidade, adotando-se uma distribuição exponencial do tempo para reparar, a manutenibilidade poderá ser calculada pela seguinte expressão:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (18)$$

Em que:

μ : Gradiente de Reparo Constante, igual ao inverso do TMPR ($\mu = 1/\text{TMPR}$);

T: Tempo de duração da atividade manutenção ($t = t_1 + t_2 + t_3$)

A otimização de TMPR e, conseqüentemente da manutenibilidade, implica trabalhar com os menores tempos possíveis. Isso ocasiona que manutenibilidade é influenciada por toda a estrutura organizacional. As organizações mais ágeis do ponto de vista gerencial/administrativo tendem a obter resultados satisfatórios da propriedade manutenibilidade, principalmente tornando os tempos t_2 e t_3 mais próximos de zero e minimizando os tempos t_1 , contribuindo assim, para a obtenção de uma maior disponibilidade de seus sistemas.

O objetivo principal da análise da propriedade manutenibilidade constitui-se na otimização da variável tempo. Ocorre, porém, que inúmeros aspectos devem ser considerados de modo a possibilitar a minimização desses tempos.

Segundo a Reliasoft (2003), manutenibilidade é definida como “a probabilidade de executar uma ação de reparo bem sucedida dentro de um dado tempo”. Ou seja, a manutenibilidade mede a facilidade e a velocidade com que um sistema pode ser restaurado para um estado operacional após uma falha ocorrer. Por exemplo, se um sistema possui 90% de manutenibilidade em uma hora, isso significa que há 90% de probabilidade de que o mesmo será reparado dentro de uma hora. A principal variável levada em conta para o cálculo da manutenibilidade é o tempo de reparo.

Segundo Kraus (1988), o parâmetro de manutenibilidade mais comumente utilizado é o tempo médio para reparo, ou MTTR (*mean time to repair*). O MTTR é medido como o tempo transcorrido para se efetuar uma operação de manutenção, e é utilizado para se estimar o tempo em que o sistema não está operacional e também a sua disponibilidade.

2.9 Tipos de Manutenção

Paralelamente à entrada em operação de um sistema, deve existir um programa de manutenção, cujo objetivo deve ser o de manter a confiabilidade e a disponibilidade, para que se mantenham os gradientes de falhas os menores possíveis.

As intervenções de manutenção são realizadas sob diversos enfoques. A intervenção pode ocorrer após a ocorrência de pane, antes e próximo do esgotamento da vida útil do componente. Cada enfoque gera parâmetros de confiabilidade e manutenibilidade e custo operacional diferentes.

2.9.1 Manutenção Corretiva

É a mais conhecida, baseando-se na ocorrência da falha do equipamento, para não executar o reparo. Implica em perda de produção e danos consideráveis à máquina, constituindo-se no método mais dispendioso.

Quanto mais eficaz a operação dos sistemas, em menor frequência este tipo de manutenção ocorrerá. Por se tratar de ocorrências não programadas, além de, em alguns casos comprometer a segurança e durabilidade dos sistemas, provoca degradação dos índices de disponibilidade, uma vez que sua ocorrência geralmente decorre de falhas permanentes, tendo o equipamento que ser retirado de operação.

Modernamente adota-se a manutenção corretiva somente para as soluções de panes que estejam intrinsecamente ligados ao período de falhas estável, que são processos aleatórios e não podem ser evitados.

2.9.2 Manutenção Preventiva

Consiste em uma manutenção que visa exercer um controle sobre o equipamento, de forma a reduzir a probabilidade de falhas, baseado em intervalos regulares de manutenção. O problema deste tipo de manutenção está na escolha de um intervalo apropriado para se programar a parada do equipamento, sendo este intervalo de difícil determinação.

Pode ser considerada como as atividades desenvolvidas rotineiramente com o intuito de, preventivamente, substituir ou reparar componentes que estejam

próximos de falhar. As intervenções geralmente são realizadas de maneira programada, em horários fora do pico de utilização, não tendo efeito nos índices de disponibilidade operacional.

A abordagem preventiva mantém o gradiente de falhas λ dentro de valores sob controle do operador. Uma outra vantagem a ser considerada é de que além de obter otimização na variável disponibilidade, evitam-se prejuízos consideráveis, pois em alguns sistemas uma falha pode inutilizá-los completamente.

Barbosa (1997) afirma que um programa de Manutenção Preventiva deve levar em consideração os seguintes aspectos:

a) O Gradiente de Falhas λ , obtido após as intervenções, deve ser inferior ao obtido anteriormente.

b) É necessário que se faça a intervenção numa região próxima ao ponto em que o Gradiente de Falhas inicia comportamento crescente. Operadores com histórico de informações suficientes e confiáveis podem traçar a curva de possibilidade de falhas do sistema em função do tempo de operação, ou de outra variável que exprima a carga operacional (quilometragem por exemplo, muito utilizada nos modos de transporte terrestre). Tratando-se de operadores desprovidos de histórico de informações, seja por inexperiência operacional ou falta de um banco de dados confiável, é imperativo seguir as recomendações dos fabricantes, cujas informações basearam-se em históricos de operação de protótipos ou, até mesmo, de experiência operacional de outras operadoras.

2.9.3 Manutenção Preditiva

É um meio termo entre os dois tipos de manutenção anteriores. Consiste em se programar a parada no momento necessário, isto torna-se possível através do acompanhamento das condições da máquina e como estas variam com tempo.

Com o desenvolvimento dos modelos matemáticos e lógicos, aliados às técnicas e aparelhos de monitoramento, tornou-se possível um acompanhamento de modificações de parâmetros de relevância operacional.

Uma vez que a análise estatística utilizada na elaboração de programas de Manutenção Preventiva leva em consideração a média dos tempos de falhas de cada componente, eventualmente pode-se efetuar a intervenção de manutenção

em componentes cuja vida útil encontre-se em um limite inferior da propriedade (tempo ou quilometragem de operação). Sistemas em que há contínuo monitoramento operacional por meio das diversas técnicas disponíveis podem adotar uma filosofia de manutenção que permite maximizar a vida útil dos componentes, fazendo com que as intervenções sejam feitas o mais próximo possível da região de interface entre a taxa de falhas constante e a região de falhas de Desgaste.

2.9.4 Manutenção Detectiva

A Manutenção detectiva começou a ser mencionada na literatura a partir da década de 90. Sua denominação está ligada à palavra Detectar - em inglês *Detective maintenance*. Pode ser definida da seguinte forma:

Segundo Kardec; Nascif (2006) a Manutenção detectiva é a atuação realizada em sistemas de proteção buscando detectar “Falhas cultas” ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.

2.10 Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

A MCC é um método de planejamento da manutenção industrial que visa racionalizar e sistematizar a definição de tarefas de manutenção, além de garantir a confiabilidade e a segurança operacional ao menor custo, utilizando diversas técnicas de manutenção existentes.

Tendo início na aviação civil americana, na década de 60. A MCC é uma técnica que substitui as tarefas de manutenção de vários equipamentos de tempo fixo em tarefas com intervalos que dependem da sua condição crítica determinada pela análise de seu desempenho passado.

Pode ser considerado como objetivo da maioria das práticas de manutenções preventivas a preservação da condição do equipamento. Até recentemente, isto era feito sem qualquer questionamento do porquê de certas ações e qual sua prioridade para utilização dos recursos expedidos para manutenção preventiva.

Existem algumas características que definem a MCC, diferenciando-a de um planejamento de manutenção preventiva, sendo:

1º : Preserva a função do sistema

Em MCC o foco não é mais o equipamento e sim a função do sistema. Entenda-se função como: “finalidade para a qual um sistema foi desenhado ou projetado ou montado” Filho (2000) ou “função consiste de um verbo, um objeto e um padrão desejável de desempenho” Moubray (1997).

2º: Identificar os modos de falha que podem provocar a perda das funções “Modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional” Moubray (1997,p.53).

3º: Priorizar as funções necessárias (modo de falhas). O RCM fornece uma proposta sistemática para decidir que prioridade deve ser feita com os recursos alocados.

4º: Selecionar apenas tarefas de Manutenção Preventiva efetivas.

Capítulo 3 – Manutenção de ônibus urbanos

“Neste capítulo são definidos os parâmetros para a análise que está sendo proposta, visto que a confiabilidade e a manutenibilidade são ferramentas indispensáveis para mensurar os critérios de qualidade e eficiência demandados pelo mercado consumidor deste tipo de serviço.”

3.1 A análise de confiabilidade e manutenibilidade

No segmento de transporte de passageiros no meio urbano, há uma necessidade permanente de se trabalhar com índices satisfatórios de confiabilidade e disponibilidade. A primeira exigência decorre da necessidade de se oferecer cada vez mais um serviço de qualidade, visto que o mercado consumidor tem apresentado uma elasticidade crescente em relação à qualidade dos serviços prestados. Já a segunda exigência é função direta da escassez de recursos para investimento na composição das frotas. Quanto maior a disponibilidade atingida, menor será o tamanho da frota exigida.

A partir da definição dos parâmetros necessários para a análise proposta, torna-se possível estabelecer quais dados deverão ser coletados e tratados, possibilitando a análise da atividade manutenção em bases científicas, assim como racionalizando o processo de coleta, tratamento e análise de dados. Com isto, torna-se possível que se trabalhe somente com os dados efetivamente necessários, evitando a coleta e armazenagem de uma massa de dados volumosa e que, na maioria das vezes, não traz informações necessárias ao profissional da área de manutenção.

3.2 Tempo Médio entre Falhas - TMEF

Parâmetro das análises de confiabilidade e manutenibilidade. Expressando a média da distribuição de tempos de falhas dos componentes submetidos a um regime de operação regular.

Quando o tempo para falhar é distribuído exponencialmente, nota-se que TMEF é o inverso do gradiente de Falhas λ .

$$\text{TMEF} = 1 / \lambda \quad (19)$$

Tratando-se de Sistemas de Transportes, pode se considerar a variável distância percorrida mais significativa que a variável tempo. Analogamente ao definido na expressão (16), define-se que KMEF será o inverso do gradiente de falhas.

$$\text{KMEF} = 1 / \lambda \quad (20)$$

3.3 Intervalos de Confiança

Em se tratando da utilização de dados de uma amostra para estimar valores de parâmetros populacionais, utilizam-se Intervalos de Confiança, que possibilitarão estabelecer margens de erro, decorrentes da dispersão dos dados obtidos na amostra, assim como em função do tamanho da amostra pesquisada.

Optou-se por realizar a estimação dos parâmetros com uma confiança desejada de 90%. Spiegel (1977) demonstra que para amostras com mais de 30

¹Graus de Liberdade, para uma confiança de 90%, o erro de estimação obtido é dado por:

$$e = 1,65 \times (S/(N)^{1/2}) \quad (21)$$

Na qual:

e: Erro de Estimação (Tomando como referencial o valor estimado, pode variar positiva ou negativamente);

S: Desvio Padrão da Amostra;

N: Tamanho da Amostra.

¹ Grau de Liberdade: Diferença entre o número de observações efetuadas e o número de variáveis que se deseja obter. Geralmente GL = N-1

3.4 Tempo Médio para Reparar – TMPR

Corresponde à média da distribuição de tempos para reparar os componentes do sistema, cujo valor pode ser obtido seguinte expressão:

$$TMPR = \Sigma \lambda_i \cdot t_i / \Sigma \lambda_i \quad (22)$$

Tendo:

λ_i : Gradiente de falhas do i-ésimo componente reparável ou substituível do sistema;

t_i : Tempo necessário para realizar o reparo no i-ésimo componente que apresenta falha.

Tratando-se de medições de campo, pode-se utilizar diretamente a média dos tempos empregados nas atividades de manutenção, cujos valores geralmente constam nas fichas de controle.

3.5 Tempo Médio para Reparar (Homem x Hora)

Considera-se como sendo um índice de fundamental importância no dimensionamento da estrutura de manutenção (instalações físicas, ferramentas, pessoal, etc.), em função do tamanho de frota, assim como o tamanho da frota em função da disponibilidade alcançada.

Devido às características próprias da demanda de um sistema de transportes coletivos urbanos, as empresas devem trabalhar especialmente na manutenção, com turnos ininterruptos. Ocorre, entretanto, na maioria das vezes, que os efetivos dos turnos geralmente não são equivalentes, havendo mais ou menos funcionários em cada turno, em função das características operacionais da demanda atendida por estas empresas.

A análise do Tempo Media de Reparo é feita de forma relativa, não se levando em consideração o efetivo disponível para a execução das tarefas. O TMPR é de forma implícita, função da estrutura de pessoal existente. Este será maior ou menor, considerados os limites das Leis dos Rendimentos Crescentes, quanto menor ou maior for a quantidade de mão de obra disponível.

Em se tratando de análise ou planejamento da atividade manutenção, torna-se conveniente estabelecer um parâmetro absoluto, que possibilite

comparações em torno de um mesmo referencial. Este parâmetro é denominado de $TMPR_{H.H}$ (Tempo Médio de Reparo (Homem x Hora)) e dá o tempo gasto na atividade de manutenção, se esta fosse realizada por apenas um homem.

É dada por:

$$TMPR_{H.H} = TMPR \times MQMO \quad (23)$$

Em que:

MQMO: Média do quantitativo de mão-de-obra empregada por veículo.

Trata-se de um índice de grande utilidade, pois propicia ao analista estabelecer comparações a partir de bases idênticas (o quanto um homem gastaria na execução de determinada tarefa). A partir daí pode-se avaliar se uma atividade realmente demanda muito tempo ou se há falta de pessoal. Com isso, é possível, em função das necessidades operacionais de manutenibilidade, o dimensionamento de um quadro funcional adequado.

3.6 Presteza Operacional

Define-se como presteza operacional a probabilidade de que o sistema estará pronto para ser utilizado ou colocado em operação quando demandado, incluindo o tempo em que o sistema esteja em reserva operacional (tempo em que o veículo não é demandado).

$$P_{po} = T_{operável} / T_{total} = T_{operável} / (T_{operável} + T_{inoperável}) \quad (24)$$

3.7 Disponibilidade Operacional

Trata-se de um índice que define a probabilidade de um sistema operar satisfatoriamente em qualquer intervalo de tempo em que seja solicitado. Este índice difere da Presteza Operacional, uma vez que é definido como a relação entre o tempo que o equipamento permanece operável e a soma dos tempos operáveis e inoperáveis solicitados. É um indicador mais realista, visto que não degrada a eficácia do sistema nos tempos não solicitados. Isto implica dizer que a realização das intervenções de manutenção realizada de maneira programada,

fora do horário de utilização do equipamento, não afeta a disponibilidade operacional do equipamento.

$$DO = T_{\text{operável}} / (T_{\text{operável}} + T_{\text{inop-solicitado}}) \quad (25)$$

Para Reliasoft (2003) quando se trata de sistemas reparáveis, a disponibilidade é um critério de medida de desempenho, e que considera a confiabilidade e a manutenibilidade dos componentes de um sistema. Ela é definida como a “probabilidade de que o sistema esteja operando adequadamente quando ele é requisitado para uso”. Analogamente, é a probabilidade de que o sistema não está falho ou necessitando uma ação corretiva quando ele precisa ser utilizado.

3.8 Disponibilidade Inerente

Em Barbosa (1997) a disponibilidade inerente traduz a probabilidade de um sistema operar satisfatoriamente num cenário em que são consideradas apenas as ocorrências de manutenção coletiva (desconsiderando a manutenção preventiva). Numa situação de apoio ideal (não havendo restrições de ferramentas, peças, mão-de-obra), ou seja, desconsiderando as categorias de tempo logístico t_2 e tempo administrativo t_3 , o índice fornece a relação exata entre o tempo operável e o tempo utilizado no reparo do componente. Denomina-se, portanto, DI% (Disponibilidade Inerente Potencial). O fato de este índice não considerar os tempos inoperáveis utilizados na manutenção preventiva, apoio logístico e administrativo, o torna um parâmetro importante na indicação da eficácia do sistema. É utilizado com frequência na fase de desenvolvimento experimental dos projetos, e se torna um padrão de referência.

Ainda em Barbosa (1997), dependendo do nível de precisão das informações disponíveis, o TMPR nem sempre se encontra com as parcelas t_1 , t_2 e t_3 , respectivamente, explicitadas, sendo fornecido um valor global para todas as parcelas. Desta forma, torna-se necessário definir o indicador Disponibilidade Inerente Efetiva - DI_{Efetivo} , que será o valor considerado para efeito de análise da atividade de manutenção de maneira global. A fim de simplificar a nomenclatura utilizada, daqui para frente, DI_{Efetivo} será representado simplesmente por DI.

Para Kraus (1988) a disponibilidade inerente, corresponde à probabilidade de que um sistema ou equipamento irá operar satisfatoriamente em um determinado momento de tempo. Ela considera os tempos de esperas administrativas, logística, e o tempo em que o equipamento está pronto, mas inativo ou desligado.

Quanto mais eficiente a manutenção se torna do ponto de vista técnico-administrativo, DI_{Efetivo} se torna mais próxima de $DI_{\text{pot.}}$

Trata-se de um índice que combina medidas de confiabilidade e manutenibilidade simultaneamente.

$$DI = T_{\text{operável}} / (T_{\text{operável}} + T_{\text{MNT corretiva}}) = (TMEF / TMEF + TMPR) \quad (26)$$

Podendo ser representado em função das distâncias percorridas:

$$DI = [TMEF / (TMEF + TMPR)] = [KMEF / (KMEF + KMPR)]$$

Em se tratando de sistemas de transporte urbano, há que se estabelecer uma correlação entre as variáveis distância percorrida entre falhas (KMEF) e tempo de reparo (TMPR). Visto que a análise é específica para uma frota padronizada, operando numa linha específica, pode-se correlacionar a distância hipotética que o sistema percorreria em função do tempo em que esteve retido para reparos (Distância Hipotética = f(tempo retido para reparos)).

Para tanto, estabelece-se a relação entre a extensão média e o respectivo tempo de percurso, cujo valor fornecerá a distância média percorrida por unidade de tempo de operação do veículo nas condições especificadas.

$$KMPR = DH_p = (EXL / TM_p) \times TMPR \quad (27)$$

Em que:

KMPR: Quilometragem Média para Reparar [KM];

DHp : Distância Hipotética Percorrida [Km];

EXL : Extensão Média da Linha [Km];

TM_p :Tempo Médio de Percurso [Min];

TMPR: Tempo Médio para Reparar [Min].

A correlação Distância/Tempo, portanto, obtida pela equação (27), possibilita a transformação da variável tempo em distância hipoteticamente

percorrida, cujo valor dará a quilometragem que o sistema deixou de percorrer por estar retido em manutenção.

Reescrevendo a equação (26), tem-se:

$$DI = TMEF / (TMEF + TMPR) = KMEF / (KMEF + KMPR) \quad (28)$$

Toma-se importante salientar que o índice acima é obtido levando-se em consideração os valores integrais de TMEF e TMPR. Conforme foi visto nas análises de confiabilidade e manutenibilidade, considerando-se distribuições exponenciais, os valores obtidos para as respectivas propriedades utilizando, respectivamente, TMEF e KMEF são:

$$C(TMEF) = 1/e = 36,79\%$$

$$M(TMPR) = 1 - (1/e) = 63,21\%$$

Pelo fato de a confiabilidade apresentar correlação negativa com o tempo, apresenta valores extremamente altos quando t é pequeno até o valor de 36,79% quando $t = TMEF$. A manutenibilidade apresenta o valor de 63,21%, quando $t_{reparo} = TMPR$. Quando a disponibilidade é calculada para todo um período, considerando o intervalo de utilização do sistema para efeito do cálculo da disponibilidade como sendo:

$\Delta t_{conf.} = TMEF$ ($t_0 = 0$ e $t_i = TMEF$) e $\Delta t_{Mnt} = TMPR$, conforme a expressão (28), obtém-se um indicador de disponibilidade plenamente satisfatório.

3.8.1 Índice de Indisponibilidade

Este índice traduz a relação entre TMPR e a soma de TMPR e TMEF. Reflete a ineficácia do sistema sob o ponto de vista técnico. Os sistemas que são projetados com uma preocupação com a propriedade manutenibilidade tendem a possuir este índice com valores reduzidos

$$T_{IND} = TMPR / (TMPR + TMEF) = KMPR / (KMPR + KMEF) \quad (29)$$

3.9 Tempo Mediano de reparo de Manutenção

É definido como a mediana da distribuição dos tempos de reparo de um equipamento ou sistema. Corresponde, portanto, ao tempo no qual é possível

realizar cinquenta por cento das atividades de manutenção. Considerando Distribuições Exponenciais, tem-se:

$$T_{Md} = 0,7 \times T_{MPR} \quad (30)$$

3.9.1 Tempo Máximo de Manutenção

É o tempo em que noventa e cinco por cento das atividades de manutenção podem ser realizadas dentro deste intervalo. Considerando-se os tempos de manutenção como constituintes de uma Distribuição Normal, $TMNT_{max}$ será dado por:

$$TMNT_{max} = T_{MPR} + 1,65 \times \sigma \quad (31)$$

Em que:

σ : Desvio Padrão da distribuição de Tempos para Reparar.

Uma vez que se trata de distribuições exponenciais, considera-se como tempo máximo de manutenção o tempo que propicie uma Manutenibilidade de 95%, ou seja, o tempo no qual há 95% de probabilidade de realização de uma atividade de manutenção. Para distribuições exponenciais:

$$TMNT_{max} = 3 \times T_{MPR} \quad (32)$$

3.10 Ferramentas de Análise

O gerenciamento da manutenção consiste em atingir uma posição de equilíbrio entre confiabilidade e manutenibilidade, situação em que ocorre uma otimização da variável confiabilidade (maximizando KMEF) e manutenibilidade (minimizando T_{MPR}), e sujeita a restrições de caráter operacional, físico e econômico.

À medida que se analisam sistemas com nível crescente de complexidade, há uma necessidade de dispor de ferramentas analíticas que possibilitem a análise de forma dedutiva. No caso da análise de confiabilidade, duas ferramentas de grande utilidade são destacadas:

3.10.1 Análise de Árvore de Falhas

Análise da Árvore de Falha (FTA – *Fault Tree Analysis*) pode ser considerada como uma técnica em que se começa considerando o sistema completo e os seus modos de falha, trabalhando, então, para baixo, de modo a identificar o modo de falha de cada parte, que individualmente ou em combinação com outras, possam resultar em uma falha do sistema (O'CONNOR, 1983)

As árvores de falhas são instrumentos que possibilitam estabelecer inter-relações entre os diversos componentes e subsistemas. Tal instrumento permite a avaliação de sistemas bastante complexos de maneira simplificada, permitindo uma visualização hierarquizada das causas das falhas, por meio da análise de falhas em subsistemas imediatamente inferiores em nível hierárquico. São instrumentos de grande utilidade na fase de projeto, em que os técnicos procuram relacionar as partes às suas causas.

Por meio desta técnica, pode-se traçar um diagrama lógico que permite uma visão panorâmica de todo o sistema, que dá ao projetista ou operador do sistema uma noção de todas as relações hierárquicas envolvidas e, conseqüentemente, todas as potencialidades de transmissão de falhas.

Como a Árvore de Falha é um processo lógico, uma simbologia de lógica padrão e eventos é utilizada para representá-la (O'CONNOR, 1983), conforme mostrado na Figura 6.

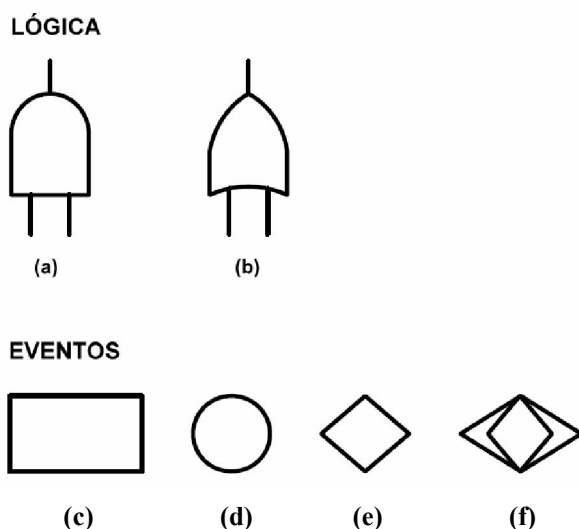


Figura 5 - Simbologia utilizada na árvore de falhas

Fonte: O'Connor (1983)

Segundo O'Connor (1983), o seu significado é o seguinte:

- Figura 6a – Porta E – a falha ocorrerá se todas as entradas falharem;
- Figura 6b – Porta OU – a falha ocorrerá se qualquer entrada falhar;
- Figura 6c – Retângulo – uma falha que resulta de efeitos combinados ou de outra falha;
- Figura 6d – Círculo – evento básico, que não necessita de subdivisões;
- Figura 6e – Diamante – evento básico, que pode ser subdividido em outros eventos básicos, mas que não é feito por falta de informações ou utilidade;
- Figura 6f – Diamante duplo – evento básico, que depende de outros eventos inferiores, e importante o suficiente para justificar uma análise em separado.

3.10.2 Diagramas de Blocos

Trata-se de um dos mais importantes instrumentos de análise da Engenharia de Manutenção. Por meio dos diagramas de blocos podem-se encadear as relações existentes entre os diversos componentes do sistema, da parte ao sistema. Isto torna possível o arranjo dos componentes de acordo com sua posição relativa aos demais. Portanto, consegue-se, partindo dos indicadores de cada componente do sistema, chegar às propriedades do sistema como um todo.

A importância dessa ferramenta encontra-se no fato de possibilitar a análise de um sistema bastante complexo, partindo dos componentes de menor complexidade que o compõem. Sem essa forma de abordagem, seria impossível analisar sistemas com grau de complexidade, pois não seria possível isolar as particularidades de cada componente, assim como o seu efeito junto aos demais componentes dentro do sistema.

Capítulo 4 – Análise dos transportes da empresa estudada

“Neste capítulo serão definidas as características do Sistema estudado.”

4.1 Ambiente Empresarial analisado

O trabalho analisará as características de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade atingida para uma frota de veículos circulares, operando na cidade de Campos dos Goytacazes, cujo trajeto de percurso possui como principais características:

a) Distância Média entre Paradas reduzida, se comparada às outras linhas padrão que operam na região;

b) Operação em áreas urbanas de topografia plana, com um fluxo de tráfego intenso, assim como um número significativo de semáforos em todo o percurso;

c) As características da via de circulação enumeradas acima têm reflexo direto nas características operacionais dos veículos analisados, quais sejam:

- Elevado desgaste do subsistema freio em decorrência do significativo número de paradas durante o trajeto, assim como a média de carregamento dos veículos serem relativamente altas, o que aumenta consideravelmente a inércia do veículo, exigindo um esforço maior do subsistema;

- Elevado desgaste do conjunto de embreagem (subsistema motopropulsor), provocado pelas constantes arrancadas do veículo;

Além das características operacionais associadas à via de circulação, podem-se, ainda, ressaltar:

- Os sistemas de ônibus, principalmente os urbanos, operam com mão-de-obra geralmente não qualificada, cujos efeitos se fazem sentir na dispersão das propriedades obtidas dos veículos (confiabilidade, vida útil, etc.). Os motoristas

geralmente operam os veículos segundo padrões próprios, que geralmente não satisfazem aos padrões prescritos pelos fabricantes;

- Vários motoristas dirigindo o mesmo veículo, cada qual com seu estilo de dirigibilidade, provocam uma degradação mais acelerada do equipamento, quando comparado a uma situação de maior uniformidade dessa característica;

4.1.1 Características Técnicas

A amostra da frota de ônibus em estudo é formada por 11 (onze) ônibus montados sobre chassis Mercedes Benz e carrocerias do tipo: Micro Neobus, CAIO e Ciferal GLS, ano 1999, 2007 e 2008 respectivamente, dotados das seguintes características:

- Motor Diesel Mercedes Benz de 06 cilindros modelo 366 A, refrigerado a água, montado na seção dianteira do veículo, dotado de sistema de injeção direta de combustível;
- Sistema de Embreagem a disco com acionamento hidráulico e a ar;
- Sistema de Transmissão manual, com caixa de mudanças de cinco velocidades;
- Sistema de freios por acionamento pneumático dotado de mecanismo de regulagem das lonas por catraca manual;
- Abertura de portas com acionamento pneumático comandado pelo motorista;
- Sistema Elétrico alimentado por gerador acionado pelo motor, com bateria de acumulação de energia;

4.1.2 Ambiente Operacional

Os veículos em análise operam nos bairros Parque Califórnia, Centro, Horto, Shopping Estrada e Flamboyant em Campos dos Goytacazes-RJ, fazendo a ligação destes bairros de forma circular, na linha denominada (A1, A2 e A3) cujos códigos (fictícios) são dados na tabela abaixo.

Código	Denominação da Linha
114	A1
115	A2
116	A3

Tabela 2 - Linhas Pesquisadas

Fonte: Empresa Estudada

O trajeto da linha em estudo apresenta a extensão média de 24 quilômetros (Tabela 3). Cada veículo, em média, tem a missão de percorrer 9 viagens/dia, o que totaliza aproximadamente 231 quilômetros/dia, trajeto garagem – missão - garagem, que é de aproximadamente 15 quilômetros.

A topografia da área de operação pode ser considerada plana em 100% de seu trajeto. O efetivo de veículos escalados para atender à empresa é de 10 unidades, contando com uma reserva operacional de 01 veículo, aproximadamente 10% da frota escalada.

Ao término de cada trajeto de 24 quilômetros o veículo para no ponto final, no qual permanece 01 veículo em estado de alerta, pronto para substituir qualquer um dos veículos que apresentar falha.

Extensão média de percurso (Km)	Tempo médio de percurso (Min)
24	70

Tabela 3 - Característica das Linhas 114, 115 e 116

Fonte: Empresa Estudada

Linha	Quantidade de veículos
A1	04
A2	04
A3	02
Reserva Operacional	01
Total	11

Tabela 4 - Composição da Frota estudada por Linhas

Fonte: Empresa Estudada

4.1.3 Padrão de Falhas

O padrão de falhas considerado para a análise de confiabilidade e manutenibilidade em sistemas de transportes coletivos urbanos é bastante específico, pois atende a características próprias do sistema: transportar grandes volumes de passageiros com um coeficiente de segurança aceitável em distâncias relativamente curtas, se comparadas a sistemas de transporte intermunicipal ou interestadual, por exemplo.

A análise proposta considerará o objeto de análise (Ônibus Urbano) um sistema composto de vários subsistemas, a saber:

- Subsistema Motopropulsor;
- Subsistema de Transmissão;
- Subsistema Chassis e Suspensão;
- Subsistema Elétrico;
- Subsistema Freio.

Cada subsistema apresenta características próprias de confiabilidade e manutenibilidade. Neste trabalho o subsistema tratado será o de Freio, por ser o único subsistema com dados completos sobre o mesmo. Para que fosse possível uma análise do Sistema completo era preciso um estudo dos demais subsistemas acima descritos.

4.2 Período de Análise

O sistema de ônibus é composto por diversos subsistemas e estes formados por uma gama de equipamentos, que satisfazem às condições enumeradas por Barlow, Proschan e Hunter (1965), sendo:

- O sistema é dotado de um grau de complexidade significativo;
- Os componentes que formam os subsistemas são estocasticamente independentes;
- As falhas nos subsistemas implicam falhas nos sistemas;
- Todos os componentes devem ser reparados ou substituídos logo quando constatadas as falhas.

As características ressaltadas acima respaldam a adoção de Distribuições Exponenciais dos Tempos entre Falhas, assim como dos Tempos para Reparar.

As fases da vida útil de um determinado sistema subdividem-se em:

- 1) Período de Falhas Mortalidade Infantil;
- 2) Período de Falhas Maturidade;
- 3) Período de Falhas Desgaste.

A análise dos veículos situa-se, em média, na faixa compreendida entre 240.000 Km e 480.000 Km. Trata-se de uma fase da vida útil do veículo que se encontra dentro da faixa denominada de Período de Taxas de Falhas Estáveis, conforme apresentado na seção **2.5** (Segundo trecho da Figura 3 "Curva da Banheira").

O resultado imediato da adoção da hipótese dos tempos entre falhas distribuírem-se exponencialmente é que, no período de análise, assume-se um Gradiente de Falhas (λ) Constante.

4.3 Modo de Falhar

O estudo tem por finalidade a análise das falhas existentes no período de operações analisado. Esquemáticamente, podem-se agrupar os tipos de falhas estudados de acordo com a Figura 7.

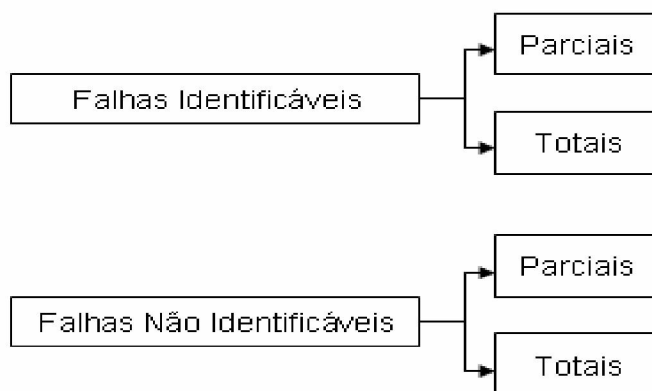


Figura 6 - Tipos de Falhas

Fonte: Barbosa (1997)

A dissertação propõe-se a analisar o desempenho da amostra dos ônibus, dentro das condições existentes. Estabelecendo-se, portanto, duas categorias de falhas.

Podem ser consideradas falhas parciais aquelas cuja ocorrência provoca degradação operacional leve, sendo o desempenho do sistema reduzido, não provocando retirada imediata de circulação. Como exemplos de falhas parciais pode-se citar: o surgimento de folgas excessivas em alguns dos subsistemas, (freios desregulados até certo limite, pequenos problemas elétricos nos sistemas secundários, problemas de suspensão, etc.). A consequência de uma falha parcial seja ela identificável ou não, é que o veículo prossiga a missão (viagem) até o final. Para o caso em estudo, percorrerá o restante do trajeto de 24 Km, e então será substituído por um dos veículos da reserva operacional. Trata-se de uma falha que afeta de maneira indireta a matriz operacional da empresa, visto que não degrada diretamente a oferta de transportes, uma vez que não se interrompe a viagem. Tal padrão de falha encontra-se descrito pelo que se pode denominar de Limite Inferior de Confiabilidade (LIC).

Para Barbosa (1997) pode-se definir como LIC aquele obtido a partir do levantamento de todas as falhas ocorridas no sistema num determinado período. Por todas as falhas entende-se o total de falhas ocorridas no período (Falhas Parciais + Falhas Totais). O LIC sinaliza, portanto, a confiabilidade, considerando como evento sucesso a não ocorrência de panes de qualquer espécie. Trata-se, portanto, do indicador de uma situação ideal:

$$LIC = P \text{ (Não ocorrência de Falhas Parciais e Totais);}$$

Podem ser consideradas como Falhas Totais aquelas cuja consequência imediata seja a impossibilidade de o veículo continuar operando, mesmo que somente até o término do percurso.

Estabeleceu-se o Limite Superior de Confiabilidade (LSC) como sendo a confiabilidade considerando como Evento Sucesso a não ocorrência de Falhas Totais. Portanto, mesmo que no período considerado ocorram somente falhas parciais, o evento será considerado como sucesso para efeito de análise do Limite Superior de Confiabilidade. Logo:

LSC = P (Não ocorrência de Falhas Totais);

O resultado imediato de uma Falha Total é que todos os passageiros deverão desembarcar e permanecer à espera de outro veículo. Observa-se que, além de provocar uma degradação imediata da oferta de transportes, a ocorrência de Falhas Totais ainda traz consigo as seguintes conseqüências:

- Falhas Totais são resultados de processos gradativos de falha, isso quer dizer que a ocorrência desse tipo de falha é o resultado extremo de uma combinação de Falhas Parciais. Uma vez que sua ocorrência pressupõe a pane completa de um dos subsistemas, pode provocar perdas das condições mínimas de segurança, como, por exemplo, a falha total no Subsistema de Freios. Além disso, sua ocorrência gera um impacto econômico bastante maior, visto que em alguns casos há até mesmo a inutilização do subsistema;
- A toda ocorrência de Falhas Totais há uma reação bastante desfavorável por parte dos usuários. Esta reação gera, a princípio, uma degradação da imagem do operador perante aqueles e, num caso mais extremo, pode ainda provocar reações de vandalismo, cujos resultados são absolutamente indesejáveis.

4.4 Regime de Manutenção

Durante o período da análise, os veículos foram submetidos a rotinas de manutenção periódicas. Trata-se de um período em que a idade média da frota da empresa esteve significativamente alta, ocasionando dificuldades para que um programa de manutenção estruturado pudesse ser implantado, pois houve um número significativo de falhas totais nos veículos mais antigos, exigindo que os veículos mais novos fossem utilizados além da disponibilidade que permitisse o cumprimento adequado da programação de manutenção.

4.4.1 Efetivos de Manutenção por Turnos

A empresa estudada trabalha com 2 turnos ininterruptos de 8 horas, com os seguintes efetivos:

- a) 1º Turno: (06:00 às 14:00 Horas)
 - Seção de Manutenção Corretiva: 01 funcionário;

- Seção de Manutenção Preventiva: 01 funcionário;
- Seção de Lanternagem, Pintura e Estofamento: 01 funcionário;
- Seção de Manutenção Elétrica: 01 funcionário;
- Seção de Abastecimento e Lubrificação: 01 funcionário;
- Seção de Lavagem: 02 funcionários;
- Total do Efetivo de Manutenção Diurno: 07 funcionários.

b) 2º Turno (14:00 às 22:00 Horas)

- Seção de Reparos Rápidos (Freios): 01 funcionário;
- Seção de Lanternagem: 01 funcionário;
- Seção de Manutenção Elétrica: 01 funcionário;
- Seção de Borracharia: 01 funcionário;
- Seção de Abastecimento e Lubrificação: 1funcionários;
- Seção de Lavagem: 1funcionários;
- Total do Efetivo de Manutenção (2º Turno): 06 funcionários.

Além dos profissionais envolvidos nas atividades de manutenção, existe ainda o serviço de Apoio Administrativo, cujos efetivos são:

- Apoio Administrativo: 04 funcionários;

4.5 Metodologia de Análise

A análise de Confiabilidade da amostra tomou por base os relatórios de manutenção dos referidos veículos, coletados pelo setor de manutenção da empresa estudada e divididos por subsistemas. Os dados utilizados na pesquisa são referentes ao período de Fevereiro/2008 a Dezembro/2010 (Anexo A), correspondendo a uma quilometragem percorrida, por cada veículo, de aproximadamente 242.550 km, conforme visto na seção 4.2.

A estrutura de tabulação dos dados consiste no registro das ocorrências de falhas no subsistema freio em ordem cronológica, assim como as ações tomadas e os motivos por terem ocorrido tais falhas, conforme modelo no Anexo A.

Analisa-se a confiabilidade do subsistema em função da estrutura de manutenção existente. Isto implica dizer que serão computadas todas as

intervenções de manutenção de caráter corretivo. Tal análise proporciona um critério de avaliação estrutural, bem como da eficácia dos intervalos periódicos em que o veículo estará sujeito a revisões. Vale ressaltar que qualquer mudança na política de manutenção implica mudanças no perfil de confiabilidade (KMEF, k e Confiabilidade).

Não foi computada a troca de componentes ao final de sua vida útil, desde que sua troca tenha sido devidamente programada.

4.5.1 Análise de Manutenibilidade

Em relação à Manutenibilidade, foram consideradas as distribuições de Tempos para Reparar o subsistema em um período de aproximadamente 10 meses (análogo ao período considerado para efeito de análise LSC – Janeiro /2010 a Outubro/2010), como pode ser observado no Anexo D. Período este em que as amostras encontram-se mais homogêneas, visto que a frota esta sendo substituída aos poucos e o programa de manutenção deve se adaptar a esta nova situação.

Para esta análise, conta-se com uma fonte de dados através de um relatório de controle de entrada e saída de veículos da oficina, em que o tempo registrado contempla todo o período em que o veículo esteve efetivamente à disposição da atividade manutenção.

O tempo registrado foi dividido da seguinte forma:

$$\text{TMPR} = (t_1 + t_2 + t_3)$$

O relatório utilizado na análise registra o TMPR global. Seus valores, portanto, estarão passíveis de otimização nas variáveis t_1 , t_2 e t_3 , respectivamente.

Para efeito de análise, os tempos e reparos são divididos em três categorias distribuídas dentro de um intervalo de 24 horas:

- Média da distribuição de todos os tempos para reparar falhas indistintamente quanto ao período do dia em que é realizado;
- Média da distribuição dos tempos para reparar falhas, cuja entrada do veículo na oficina se deu fora do período operacional (20 às 06 Horas), encontra-se no anexo E;

- Média da distribuição dos tempos para reparar falhas, cuja entrada do veículo na oficina se deu dentro do período operacional (06 às 20 Horas), visível no anexo F;

Ao adotar uma classificação como descrita acima se entende que o veículo ao entrar na oficina dentro do período compreendido entre 06 e 20 horas, manifestou alguma falha total em linha, pois necessariamente foi retirado de operação. Já para os veículos cuja entrada na oficina se dá fora do referido horário, presume-se que, em sua grande maioria, as falhas ali manifestadas são do tipo parcial leve, pois mesmo que se tenha manifestado em horário operacional foi possível continuar operando o equipamento até o momento oportuno de se realizar o reparo.

A construção das três curvas de manutenibilidade distintas fornece uma visão globalizada do processo, uma vez que possibilita a comparação dos TMPR em cada situação. Com isso é possível estabelecer avaliações da estrutura de manutenção como um todo, bem como separadamente, em função dos respectivos turnos de serviço.

De forma análoga, as análises de $TMPR_{H-H}$ possibilitam avaliar o tempo gasto na manutenção em bases absolutas, possibilitando avaliar os tempos empregados, redimensionar quadros, assim como associar ao tempo o potencial tipo de falha apresentada.

A obtenção do parâmetro $TMPR_{H-H}$ pressupõe o conhecimento da média do quantitativo de mão-de-obra empregada na manutenção de cada veículo. A partir do levantamento deste dado, torna-se possível transformar o parâmetro TMPR num índice independente do efetivo empregado na realização dos serviços.

Nesta pesquisa, no entanto, não foi possível obter o parâmetro MQMO, porque a empresa ainda não utiliza este dado, não existindo, portanto, este parâmetro em seu banco de dados. Como consequência, não se pôde obter o parâmetro $TMPR_{H-H}$.

4.5.2 Análise de Disponibilidade

A análise de disponibilidade traça as relações entre os tempos disponíveis para operação e os tempos em que o veículo é demandado.

O índice de disponibilidade é definido como uma relação entre TMEF (KMEF) e TMPR (KMEF). Uma vez que a fonte de dados fornece KMEF e TMPR, houve a necessidade de realizar a conversão de medidas de tempo em quilometragem.

Estabeleceram-se duas classificações de Disponibilidade:

- Disponibilidade Inerente Limite Superior (DILs);
- Disponibilidade Inerente Limite Inferior (DILi);

O sistema operará no intervalo compreendido entre os dois limites de disponibilidade.

4.6 Análise de Dados

Foram consideradas falhas todas aquelas ocorrências em que o referido subsistema não apresentou um bom funcionamento, provocando uma situação de impossibilidade de funcionamento (Falha Total) ou funcionamento parcial (Falhas Parciais). Para a análise, portanto, dividiu-se o estudo em duas categorias:

- Limite Inferior de Confiabilidade (LIC), cujo parâmetro é a não ocorrência de qualquer dos tipos de falhas (Totais ou Parciais);
- Limite Superior de Confiabilidade (LSC), cujo parâmetro é a não ocorrência de falhas totais;

A inexistência de relatórios individualizados das distribuições de falhas totais para o subsistema levou à utilização do relatório de Socorros Mecânicos prestados pela empresa, no período compreendido entre Janeiro e Outubro de 2010. Além de ser um período mais equilibrado entre os veículos, comparados ao período de 2008 e 2009, devido à renovação da frota.

A eficácia do plano de manutenção da empresa pode ser medida em razão dos índices de confiabilidade atingidos, ou em função das quilometragens percorridas.

Índices de confiabilidade baixos merecem análises, na seguinte hierarquia:

- a) O equipamento é inadequado para operar sob as condições existentes;
- b) Os operadores utilizam o sistema de maneira insatisfatória;

- c) Os intervalos de manutenção são inadequados à estrutura operacional vigente;
- d) A qualidade dos serviços realizados pela manutenção é insatisfatória, não restabelecendo as condições originais dos equipamentos.

4.7 Subsistema Freio

A análise, primeiramente, trata do Subsistema Freio por ser considerado o mais crítico do sistema cuja falha pode ocasionar as maiores repercussões. Em decorrência, deve operar sob condições de regulação bastante específicas, dentro de limites bastante estreitos.

Uma vez que a amostra analisada opera em condições de tráfego urbano, com elevados fluxos e numa região em que há um número considerável de semáforos, é praticamente o subsistema mais exigido durante a operação do veículo. A KMEF obtida das amostras analisadas situa-se em torno de 1134 km (quilômetros / falha), o que está apresentado no Anexo A.

Constata-se, portanto, que qualquer tentativa de otimização da confiabilidade do sistema necessariamente passará pela otimização da confiabilidade do subsistema freios.

Os veículos sob análise possuem sistema de regulação das lonas por intermédio de catraca manual. Os resultados obtidos levam em consideração que todas as regulagens foram feitas de forma corretiva, daí o índice obtido ser considerado insatisfatório, pois todas as regulagens foram feitas de maneira não programada. Este procedimento, no entanto, desde que acompanhado de uma programação, pode e deve ser feito de forma preventiva, preferencialmente durante a noite, não penalizando a Disponibilidade Inerente do veículo. Com isso, para efeito de levantamento de confiabilidade, passariam a ser consideradas somente as regulagens efetivamente não programadas.

A adoção de uma rotina de regulagens programadas do subsistema freios possibilita que se aumente significativamente seu KMEF, dilatando os prazos de inspeção necessários para se manter no patamar de confiabilidade de 80%.

Fica evidente que o acompanhamento das condições do Subsistema Freios favorece a obtenção de índices de confiabilidade satisfatórios, sem incorrer em prejuízos de disponibilidade.

As Lonas de Freio são fontes de problemas freqüentes durante a manutenção dos veículos (Anexo B), visto que não possuem uma boa durabilidade dentro das condições apresentadas pelos transportes da empresa.

Experiências realizadas em alguns veículos, da empresa estudada por Barbosa (1997) em sua dissertação de mestrado, demonstram que a instalação de "2Freio-motor Inteligente" prolonga a vida útil das lonas em mais de 50%). Conjugadamente, a utilização de catraca automática de regulagem propicia a redução considerável do número de ocorrências de regulagens, pois a não ser que haja problemas, a lona é regulada de forma automática ao longo de toda sua vida útil. Desta forma, caso a empresa analisada aplicasse tais procedimentos, provavelmente deixaria de existir a necessidade de se efetuar regulagens sistemáticas no subsistema, o que gera potencialidade de aumento do KMEF.

A adoção de treinamento sistemático da mão-de-obra operacional (motoristas) contribui de forma significativa para a ampliação da KMEF do subsistema. A operação do veículo em velocidades compatíveis com as vias de circulação, bem como a dosagem da relação velocidade x espaço de frenagem resultarão em aumentos de KMEF e, como consequência, da confiabilidade.

Apesar de se constituir no mais crítico dos subsistemas, o Subsistema Freios possui mecanismos de otimização a custos acessíveis. Além disso, suas ocorrências constituem-se, na grande maioria, em regulagens e ajustes, itens que, além de não possuírem grandes TMPR (Anexo C), podem ter sua execução planejada para o período noturno.

A figura a seguir mostra a relação de Confiabilidade e quilometragem entre manutenção dos subsistema freios, dados obtidos do Anexo A.

²Dispositivo de freio-motor inteligente, constituído de caixa blindada com circuito automático, acionando a válvula solenóide do pistão de acionamento do freio-motor, permitindo que o dito freio-motor seja acionado somente quando necessário.

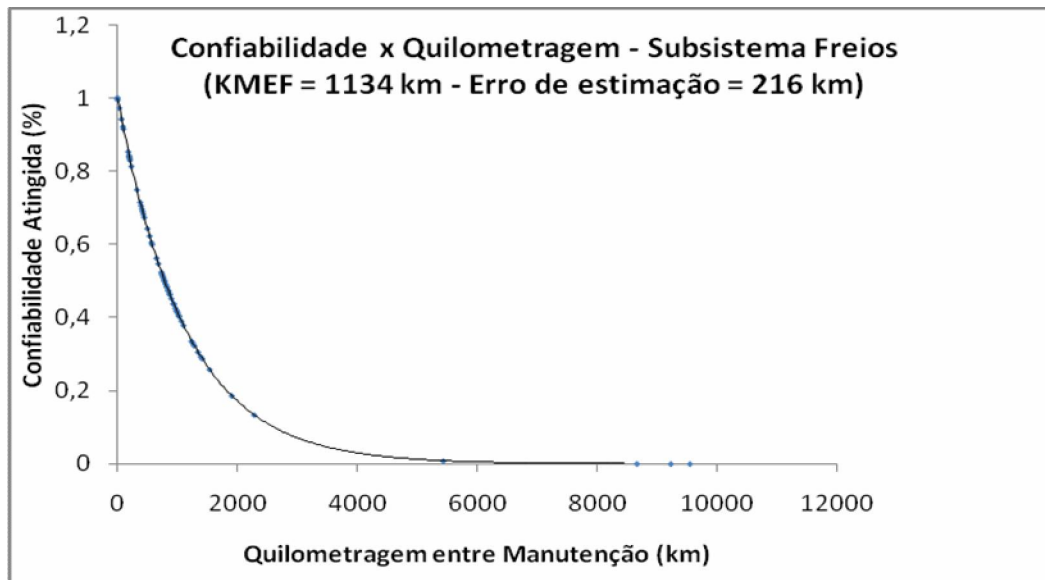


Figura 7 - Confiabilidade Atingida (LIC) x Quilometragem entre Manutenção (Subsistema Freios)

4.8 Avaliação da Confiabilidade Sistêmica

A análise realizada até agora foi feita analisando-se as propriedades do subsistema Freio.

No caso específico de ônibus o subsistema referido relaciona-se com os demais, de tal forma que:

- A falha provoca o colapso no funcionamento de todo o sistema;
- As conseqüências da ocorrência de falhas restringem-se, na grande maioria das vezes, ao próprio subsistema, não havendo propagação dos efeitos da falha para os demais subsistemas.

As características mencionadas são indicadores de que os subsistemas em análise estão associados em série, como apresentado na figura 8.

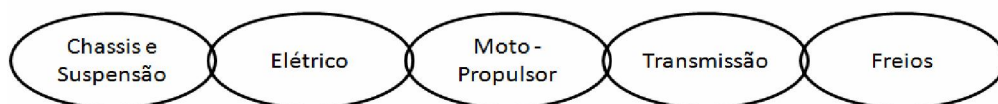


Figura 8 - Subsistemas

A associação dos subsistemas em série implica que a falha em qualquer dos subsistemas resulta na falha de todo o sistema. Portanto, a probabilidade de operação sem que haja falhas (Confiabilidade) implica a não ocorrência de falhas

em nenhum dos subsistemas. Para tanto, a confiabilidade será dada pelo produto das probabilidades de sucesso de cada subsistema, ou ainda pela expressão:

$$C = e^{-\lambda_{\text{total}} \times Km}$$

Em que:

C = Confiabilidade Atingida;

$\lambda_{\text{Total}} = \sum \text{subsistema};$

Km = Quilometragem entre Manutenção (km).

Uma vez que o valor da confiabilidade de cada subsistema é um valor compreendido entre 0 e 1 ($0 < \text{subsistema} < 1$), a confiabilidade sistêmica será um valor menor que o valor da confiabilidade de todos os subsistemas individualmente. O conjunto de valores de confiabilidade sistêmica, obtida a partir da confiabilidade do subsistema freio, em função das quilometragens percorridas entre manutenção pode ser considerado como:

$$\text{KMEF (LIC)} = 1134 \text{ Km} - (\text{Anexo A})$$

$$\text{KMEF (LSC)} = 6200 \text{ Km} - (\text{Anexo B})$$

O LIC é baseado no levantamento de todos os tipos de falhas (totais e parciais). A visualização do problema pelo extremo oposto é obtida pela confecção da curva do LSC. Os dados para a confecção desta curva foram obtidos dos relatórios de socorro mecânico prestados em situações de falhas totais (o veículo interrompeu sua missão na rua).

Não se pode dizer que o sistema opera sobre uma ou outra curva. O que se pode afirmar com certeza é que o sistema operará dentro da região compreendida entre as curvas LIC e LSC, conforme ilustra a Figura 09.

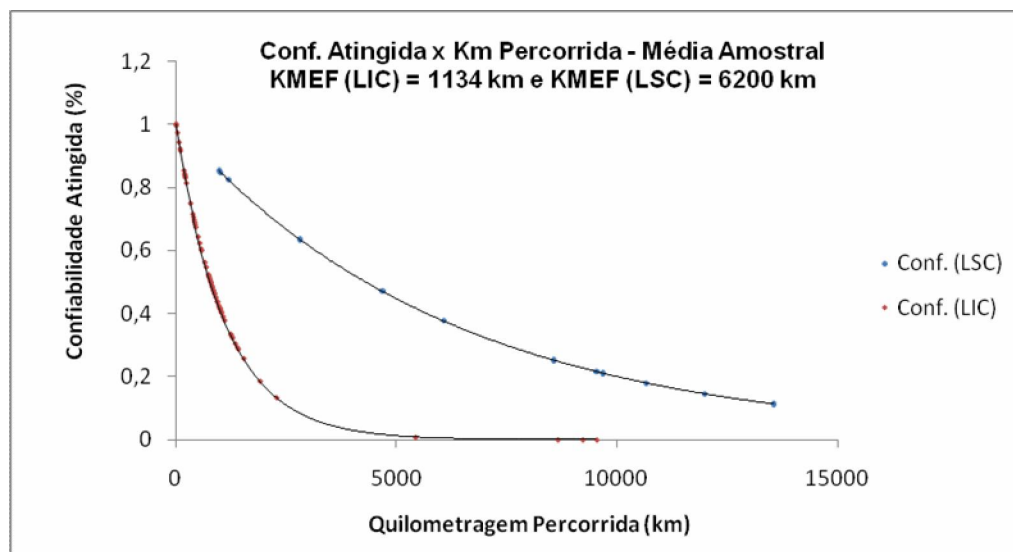


Figura 9 - Curva de confiabilidade mista (LIC x LSC)

A avaliação de LSC ilustra de forma clara a eficácia da manutenção preventiva. Geralmente, LSC baixos pressupõem LIC baixos, pois um número significativo de falhas totais provém de um número considerável de falhas parciais, visto que as primeiras decorrem da progressão das segundas.

Situações em que se atenda o mínimo exigível de LSC, porém não se contemplem índices razoáveis de LIC, devem sugerir ao analista a verificação da qualidade dos serviços efetuados, pois pode estar ocorrendo montagens, regulagens e ajustes de maneira incorreta. Isso pode vir a provocar retornos constantes do veículo à oficina para pequenos reparos, que, apesar de não provocarem falhas totais, degradam a disponibilidade da frota.

A otimização se dá quando o LIC aproxima-se do LSC otimizado, ou seja, a interface entre as duas curvas é a menor possível, estreitando a região compreendida pelas curvas, e ambas atinjam valores acima de 80 %.

Efetuando-se a análise da curva de LSC para a amostra da frota estudada, observa-se que $KMEF_{LSC}$ situa-se na faixa de aproximadamente 6200 Km. Uma vez que se trata de LSC, toma-se claro que a tolerância torna-se menor, visto que, neste caso, a ocorrência de falha necessariamente pressupõe o veículo interromper a missão no meio do trajeto.

A princípio, é conveniente estabelecer um relatório de ocorrências a ser preenchido pelos motoristas quando do recolhimento do veículo à garagem, em que sejam anotados todos os parâmetros básicos do veículo.

De acordo com os resultados obtidos, o programa de manutenção preventiva deverá estabelecer, de modo a assegurar LSC mínimo de 80%, sub-rotinas de monitoramento dos componentes de maior relevância dos respectivos subsistemas em intervalos iguais ou inferiores a 2500 Km, de modo que, no período de 10.000 Km (intervalo mínimo adotado para manutenção preventiva), o sistema mantenha a confiabilidade exigida.

É relevante, ainda, esclarecer que o treinamento da mão-de-obra operacional (motoristas) é de fundamental importância no sentido de criar uma preocupação destes com a monitoração contínua dos instrumentos de painel, assim como das condições gerais do veículo, pois por meio deste acompanhamento previne-se a ocorrências de falhas totais, que na maior parte das vezes manifesta-se de forma gradativa.

4.9 Manutenibilidade Sistêmica

A análise de manutenibilidade foi feita por meio dos levantamentos dos tempos em que o veículo esteve retido à disposição da manutenção.

Na análise da confiabilidade, consideram-se os tempos de reparo distribuídos exponencialmente. A manutenibilidade pode ser calculada pela expressão abaixo:

$$M = 1 - e^{-\mu \times \text{KMPR}}$$

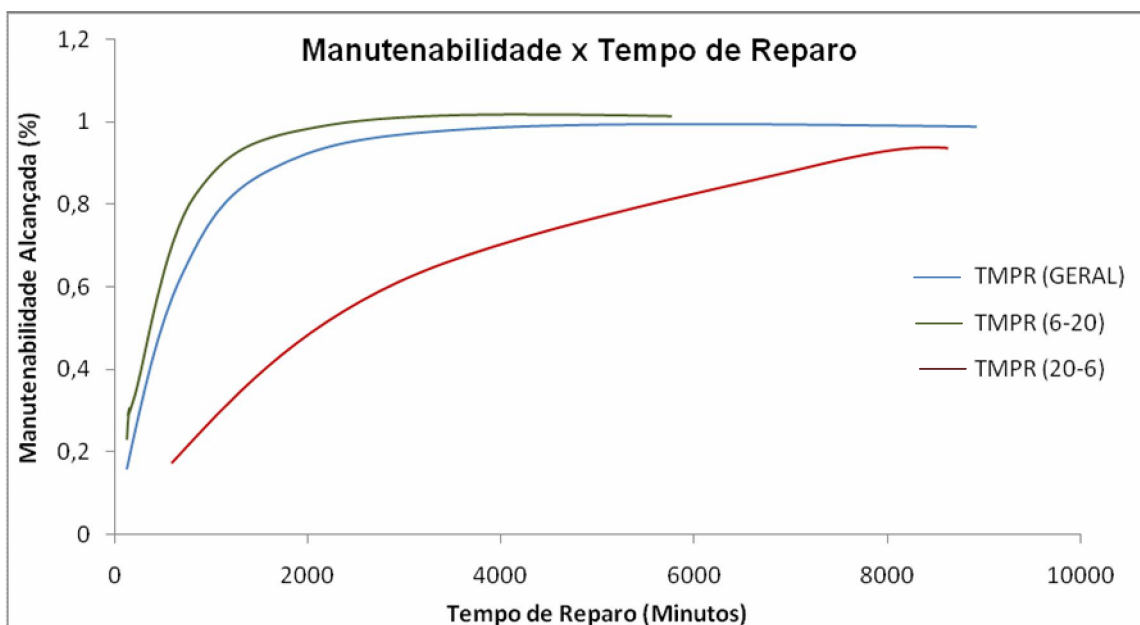


Figura 10 - Manutibilidade x Tempo de Reparo

Conforme análise da Figura 10, obtida a partir da média dos tempos de reparo dos veículos da amostra, observam-se três curvas distintas. A primeira leva em consideração o levantamento da distribuição de todas as atividades de manutenção realizadas no período, denominada Curva de Manutibilidade Genérica (baseada no parâmetro μ_1), Anexo D. A partir daí, constroem-se duas novas curvas de manutibilidade, uma levantado da distribuição de tempos para reparar de serviços realizados dentro do período operacional 20 às 06 horas (parâmetro μ_2), Anexo E e o μ_3 (obtido da distribuição de tempos para reparar de serviços realizados fora do período operacional 06 às 20 horas), Anexo F.

Conforme se observa na figura acima, a curva μ_2 apresenta os maiores valores de manutibilidade, a curva genérica apresenta valores intermediários e a curva μ_3 apresenta os valores mais baixos. Apresentar valores elevados de manutibilidade significa possuir TMPR menores, ou seja, há uma maior probabilidade de se realizar um dado reparo dentro de um determinado tempo.

Conforme visto anteriormente, os desdobramentos de falhas totais acarretam desde propagação do estrago dentre outros componentes do subsistema até a inutilização do mesmo.

Os reparos realizados fora do período operacional estão resultando em maior manutenibilidade, o que significa que os TMPR (20 às 06) são maiores, o que não traz benefícios para o sistema, visto que esta direção deveria ser inversa, uma vez que os reparos realizados neste período geralmente decorrem de necessidade de regulagens, ajustes, apertos, etc.

De acordo com a Figura 10, pode-se comprovar que os reparos realizados dentro do período operacional (geralmente decorrentes de falhas totais) demandam menores tempos, que aqueles realizados no período não operacional (geralmente decorrentes de falhas parciais). Tempo este que apesar de ser inferior ao período não operacional, não pode ser considerado satisfatório para sistema em questão, que demanda do número máximo de veículos em operação.

O levantamento do efetivo de mão de obra demonstra que o setor de manutenção da empresa estudada trabalha com uma relação funcionário (manutenção)/veículo de aproximadamente 1,2, apesar de este fator se situar para efeito de cálculo de tarifa, dependendo da cidade, de acordo com Orrico (1996), na faixa de 0,7 a 0,9. Considerando-se que a idade média da frota total é avançada, constata-se que o valor atingido pela empresa pesquisada, diante das condições, não deve ser considerado insatisfatório. O grande problema com a manutenção pode ser oriunda de profissionais em escala de trabalho diferente da demanda real da empresa, tendo um número satisfatório no horário de não operação, ou até mesmo profissional pouco capacitado no horário de operação, dificultando o processo de liberação dos veículos.

É conveniente salientar que a análise de TMPR deve ser feita para cada subsistema, constituindo-se numa ferramenta bastante útil no dimensionamento dos efetivos para cada área. No entanto, conforme foi apresentado na seção anterior, os dados de TMPR disponíveis referem-se somente ao subsistema freio. Apesar de não possibilitar análises conclusivas, possibilita avaliações qualitativas acerca da propriedade manutenibilidade.

Conclui-se, portanto, que a manutenção, minimizando a ocorrência de falhas totais, além de melhorar a confiabilidade, proporciona benefícios de uma maior manutenibilidade, menor TMPR (06 às 20), com isso minimizando a

ocorrência de lucros cessantes, bem como evitando prejuízos relacionados à ocorrência de falhas totais.

4.10 Disponibilidade Sistêmica

A análise de disponibilidade conjuga simultaneamente as propriedades Confiabilidade e Manutenibilidade. A otimização de ambas implica, necessariamente, a otimização da propriedade Disponibilidade. Processos de otimização isolados, muitas vezes podem gerar situações de desequilíbrio, pois pode-se chegar situações tais como:

- Operação com índices de Confiabilidade extremamente elevados e índices de Manutenibilidade baixos. Esta situação ilustra a hipótese de um sistema cuja ocorrência de falhas seja bastante rara. Porém, quando esta ocorrer, será necessário um grande espaço de tempo para realizar o reparo;

- Operação com índices de confiabilidade reduzidos, porém com índices de Manutenibilidade elevados (baixo TMR). Esta situação, oposta à primeira, demonstra a hipótese de o sistema apresentar falhas com frequência significativa, porém o tempo em que permanece retido para reparos é reduzido.

Diante das alternativas demonstradas, conclui-se que as hipóteses extremas não contemplam índices de Disponibilidade aceitáveis gerando ineficiência alocativa.

O estudo da propriedade disponibilidade encerra o objetivo das análises propostas, pois em última instância, os usuários de transporte coletivo e os empresários terão suas expectativas atendidas toda vez que confiabilidade e manutenibilidade situarem-se dentro de limites mínimos estabelecidos.

Conforme apresentado anteriormente, os limites de disponibilidade classificam-se em:

- DI_{Ls} (Limite Superior);
- DI_{Li} (Limite Inferior).

Considera-se que DILs seja o indicador que melhor exprime as condições de disponibilidade do sistema, pois trabalha com a média dos TMR, não fazendo distinção entre os tipos de reparos realizados.

Para a amostra estudada, os dados de Disponibilidade e Indisponibilidade (Evento Complementar) são demonstrados na Figura 11, abaixo.

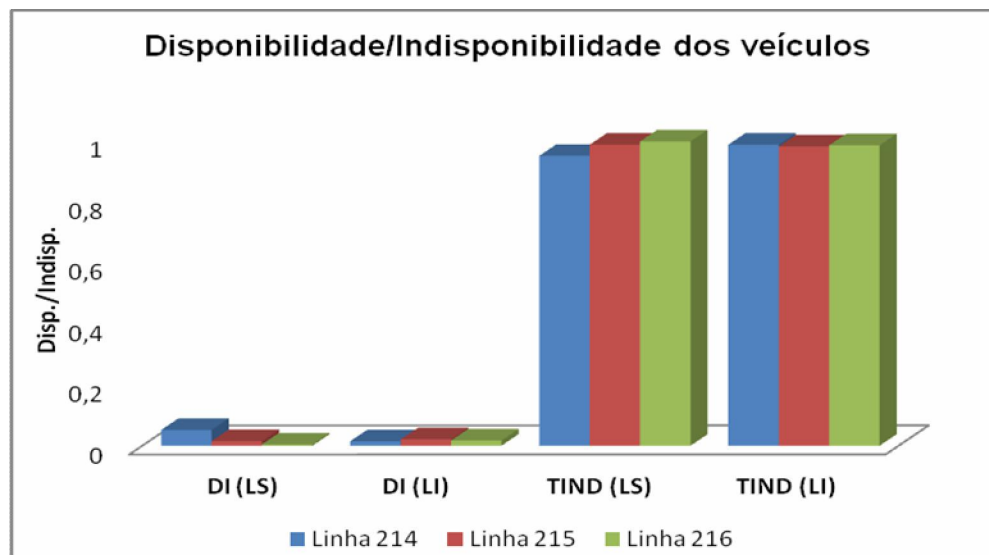


Figura 2 - Disponibilidade Inerente da Amostra

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com a análise da Figura 11, os valores dos limites superiores de Disponibilidade situam-se, em média, na faixa de 15%, o que significa que, para que se tenham disponíveis para operação 10 ônibus, deve-se escalar uma frota além do número de veículos que a empresa possui fato que gera problemas, pois a empresa estudada possui apenas 11 veículos.

Uma vez que cada veículo tem o custo a partir de R\$ 85.000, a obtenção de Índices elevados de disponibilidade possibilita a redução do volume de capital investido. Sendo que o que se pode observar é exatamente o oposto ao que vem acontecendo com os veículos da empresa estudada.

Capítulo 5 – Análise de Sensibilidade

“Neste capítulo é apresentado uma estruturação da Análise de Sensibilidade”.

Conforme retratada no capítulo 4, a situação da frota analisada é crítica e necessita de melhorias sob diversos aspectos, visto que o subsistema apresenta alguns resultados considerados insatisfatórios. Em se tratando de uma análise sistêmica, o analista deve estudar as variáveis de forma global, procurando, de forma dedutiva, propor soluções para o subsistema a partir das otimizações possíveis.

A partir das condições obtidas dos levantamentos de dados efetuados, procuram-se traçar cenários em que se simulam variações de algumas das características, KMEF, TMPR, etc., avaliando seu impacto em nível sistêmico.

5.1 Análise de sensibilidade de Confiabilidade

Conforme foi apresentado, o gradiente de falhas (λ) do sistema (ônibus urbano) é dado pela soma dos gradientes de falha dos respectivos subsistemas, uma vez que estes encontram-se associados em série.

A partir do levantamento dos gradientes de falha (λ) de cada um dos subsistemas, estabelecem-se seus percentuais, tomando como base o gradiente do sistema. Entretanto, neste trabalho será retratado o gradiente de falha do subsistema freios, permitindo observar quantas falhas ocorrerão por unidade de distância percorrida.

No caso da amostra estudada, observa-se que o sistema de freio de serviço apresenta sozinho quase metade do número de ocorrências do subsistema. É, sem dúvida alguma, um parâmetro crítico. Percebe-se através da figura 13, que o subsistema freio é um subsistema crítico e por isso a necessidade de estudo pela empresa, sendo desta forma indispensável que qualquer tentativa de otimização da confiabilidade dos veículos estudados necessariamente passe pela sua otimização.

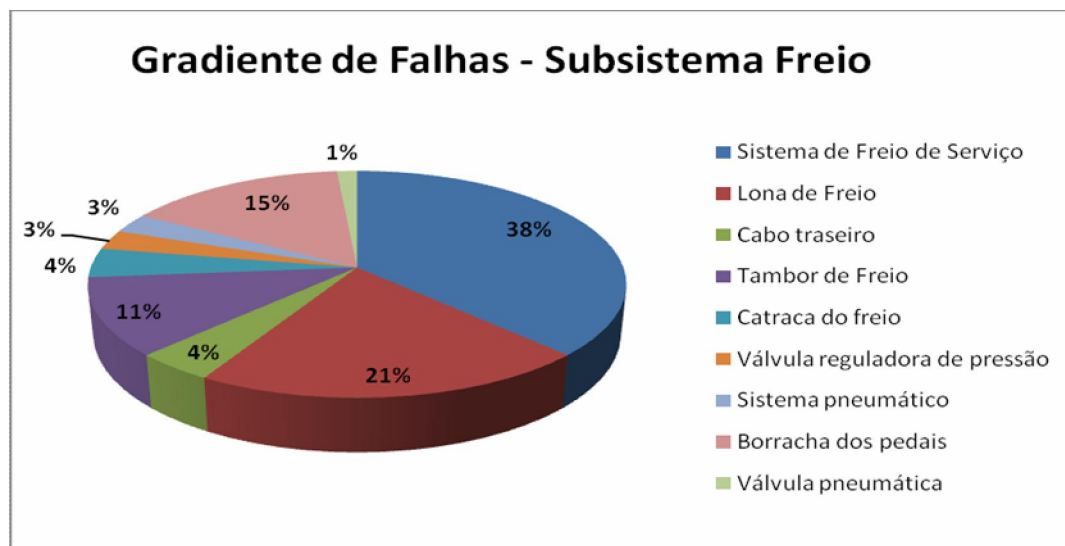


Figura 3 - Gradiente de Falha Subsistema Freio – Média Amostral

5.1.1 Cenário de Avaliação de Análise de Sensibilidade de confiabilidade

Aumentando-se de forma isolada a KMEF do subsistema freio em 40%, por exemplo, aumenta-se a confiabilidade (LIC).

Torna-se interessante analisar isoladamente as potencialidades de otimização do perfil de confiabilidade subsistema freio (o mais crítico, identificado pela empresa e confirmado pelos cálculos deste trabalho) com a utilização simultânea das seguintes ferramentas:

Freio Inteligente;

Possibilita que se diminua substancialmente o nível de solicitação dos freios, visto que o freio motor é acionado toda vez em que o veículo for desacelerado, dispensando a necessidade de frenagens sistemáticas. O efeito da utilização do freio inteligente traduz-se no aumento em até 50% da durabilidade das lonas de freio;

Catraca Automática de Regulagem de Lonas;

Possibilita a diminuição substancial do número de ocorrências de regulagens implicando aumento de KMEF. A não ser que haja problemas com as catracas, as lonas se auto regulam ao longo de toda sua vida útil.

Programação de Regulagens ou Trocas de Lonas;

Uma vez que se reduz o número de intervenções necessárias ao sistema, possibilita-se à gerência de manutenção estabelecer programações de trocas ou regulagens (quando necessárias). O fato de as intervenções poderem ser realizadas de maneira programada otimizam o KMEF, pois para seu levantamento somente são consideradas as intervenções corretivas;

A adoção de tais ferramentas tende a aumentar de forma bastante significativa KMEF do subsistema. Os valores efetivos de $KMEF_{Freio}$, resultantes da utilização das ferramentas de otimização devem ser obtidos a partir de medições nos veículos, nas condições de operação vigentes.

5.2 Análise de Sensibilidade de Manutenibilidade

Considerando-se que é possível minimizar o TMPR por meio da minimização individualizada de cada uma das parcelas de tempo que compõem o tempo total empregado na manutenção, pode-se proceder de acordo com as seguintes diretrizes:

Otimização de t_1 (Tempo Efetivo de Reparo):

- Qualificação de mão-de-obra;
- Operação com frotas preferencialmente padronizadas.

Otimização de t_2 (Tempo Logístico):

- Formação de efetivo de manutenção condizente com o tamanho e idade da frota, bem como com as condições de operação a que esta se sujeita. Dependendo das características operacionais, haverá maior ou menor necessidade de uma melhor estruturação em determinada área;
- Implementação de Programação de Serviços e Agilização dos processos de fornecimento de insumos pelos almoxarifados, de tal forma que quando o veículo entrar na oficina, as peças e ferramentas necessárias aos serviços estejam disponíveis aos mecânicos.

Otimização de t_3 (Tempo Administrativo):

- Planejamento do estoque de peças de forma a atender prontamente às necessidades da atividade manutenção, minimizando o capital investido (imobilizado).

- Adequar a capacidade instalada de manutenção ao nível de solicitação da frota, mantendo turnos de serviços capazes de atender à demanda.

A otimização dos tempos de reparo (Minimização de TMPR) demonstra, de maneira inequívoca, os benefícios atingidos, quais sejam:

- Aumento da disponibilidade dos veículos na medida em que se minimizam os tempos não disponíveis para operação, minimizando, portanto, a necessidade de reserva operacional e conseqüentemente o volume de investimento de capital;
- Possibilidade de se manter uma estrutura de manutenção mais enxuta, sob a ótica de capacidade instalada (maquinário e instalações), bem como do quadro de pessoal;
- Toma-se importante ressaltar ainda que, à medida em que se aumenta o nível de confiabilidade atingida, modificam-se os perfis de falhas.

Operando-se com índices de confiabilidade elevados, eliminam-se muitas das falhas em seu estágio inicial (parcial), evitando com isso o desenvolvimento de potenciais falhas totais. Comprova-se, portanto, mais uma vez, que políticas integradas de otimização de confiabilidade e manutenibilidade produzem resultados globais superiores aos seus efeitos individuais, constituindo-se no que se denomina um processo de Sinergia.

5.3 Análise de Sensibilidade de Disponibilidade

Em se tratando de altos investimentos envolvidos na composição de frotas, deve-se trabalhar com as maiores disponibilidades possíveis. Além do custo direto de aquisição do veículo, há ainda os custos indiretos tais como impostos sobre a propriedade de veículos, seguros, estrutura de manutenção e capacidade instalada, todos eles funções diretas do tamanho da frota.

Uma vez que a disponibilidade é derivada dos conceitos de confiabilidade e manutenibilidade, sua otimização, conforme já visto, implica a otimização daquelas.

A disponibilidade da amostra não apresenta correlação positiva com KMEF, isso quer dizer que a empresa não consegue atender a demanda em níveis de qualidade razoável no que se refere à manutenção existente.

Fixando-se o valor de TMEF em 14 dias e variando-se os valores de TMPR de 24 a 5 Horas, obtém-se os valores de disponibilidade, conforme apresentado na figura 14. A partir de TMPR aproximadamente igual a 5 Horas, atingem-se valores de disponibilidade próximos a 75%.

As análises feitas por meio da Figura 14 mede individualmente os efeitos da otimização das variáveis envolvidas.

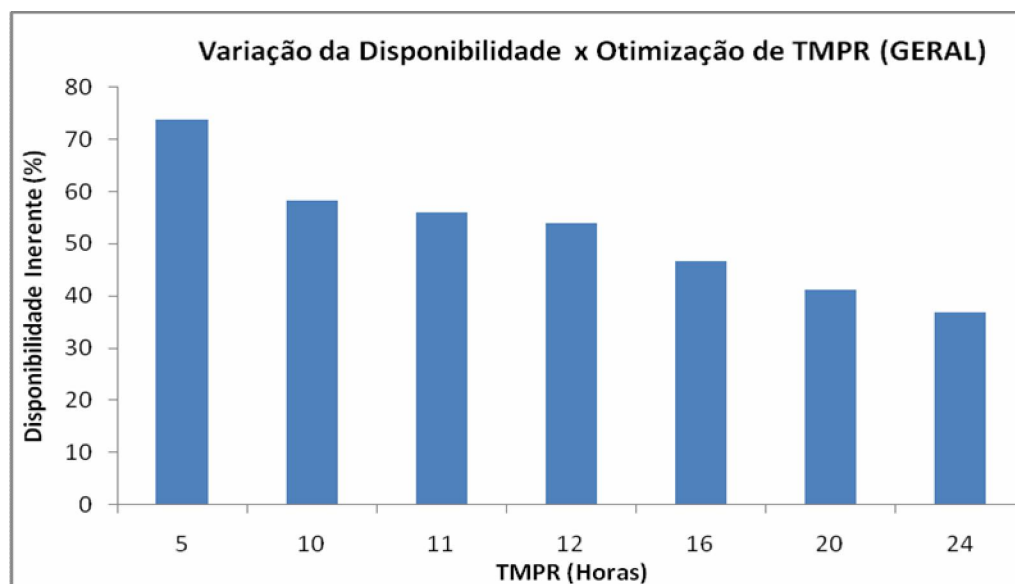


Figura 4 - Disponibilidade x Tempo Médio para Reparar

Uma vez que os efeitos da otimização de TMEF e TMPR, isoladamente, contribuem para o aumento os índices de disponibilidade, torna-se evidente que, otimizando ambas simultaneamente, maximizar-se-á a disponibilidade do sistema.

De acordo com a análise da manutenibilidade da amostra estudada, obteve-se um valor de Manutenibilidade Geral em torno de 24 horas. Valor que pode ser considerado elevado uma vez que pode deixar o veículo até mesmo um dia fora de operação.

A Figura 14 mostra o processo de otimização integrada de TMEF e TMPR. As combinações de TMEF e TMPR utilizadas na análise são descritas de acordo com a tabela 5.

Combinações	A	B	C	D	E
TMEF – (dias)	14	20	40	60	100
TMPR (GERAL) – (horas)	6	5	4	3	2
TMPR (6-20) - (horas)	8	7	6	5	4
LI _{LS} (%)	63,64	74,07	86,96	92,31	96,15
LI _{LI} (%)	70,00	80,00	90,91	95,24	98,04

Tabela 5 - Combinações TMEF x TMPR para otimização de Disponibilidade Inerente

Conforme se pode observar, a partir da combinação C já se atingem valores de disponibilidade superiores a 85%. Em se tratando de sistemas de ônibus urbanos, constituem-se valores considerados satisfatórios. Observa-se portanto, que os processos de otimização devem visar valores de TMEF iguais ou superiores e TMPR iguais ou inferiores aos observados na combinação C.

As combinações entre KMEF, TMPR e ³Disponibilidade Inerente podem ser observadas na figura 15.

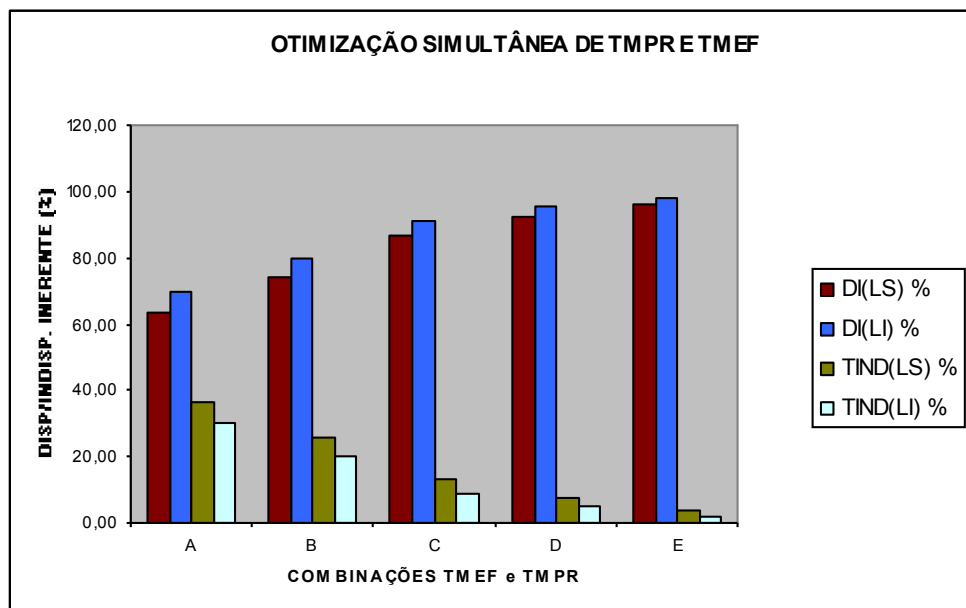


Figura 5 - Combinações de KMEF e TMPR x Disponibilidade Inerente

³Disponibilidade Inerente é calculado por:

$$T_{IND} = \text{TMPR} / (\text{TMPR} + \text{TMEF}) = \text{KMPR} / (\text{KMPR} + \text{KMEF})$$

$$DI = [\text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMPR})] = [\text{KMEF} / (\text{KMEF} + \text{KMPR})]$$

Capítulo 6 – Conclusão

“Neste capítulo é apresentada as conclusões, as recomendações para melhorias futuras, seguidas pelas referências bibliográficas e os anexos.”

O segmento de transporte público urbano sofreu nos últimos anos mudanças em suas características: o que se traduziu na elastização da oferta de serviços de transporte. Os efeitos mais visíveis nesta mudança de estrutura foram o aumento da competitividade do setor. A partir do momento que um número maior de empresários se dispôs a investir e operar neste mercado, os segmentos que atuavam por meio uma estrutura administrativa paternalista, encontram-se diante de duas alternativas:

- Modificação de seu modelo gerencial;
- Saída do mercado por falta de condições de operar nas novas condições vigentes.

Diante deste contexto, o papel da manutenção toma-se estratégico, uma vez que propicia às organizações atuantes no segmento de transporte público urbano, condições de otimizar seus resultados no que diz respeito à maximização da utilização dos sistemas e minimização dos custos a ela relacionados. Diferentemente do que observou no passado, a manutenção deixou de ser encarada como uma atividade periférica nos organogramas empresariais, cuja maior característica era realizar despesas e solucionar contratempos operacionais, passando a se constituir numa atividade de relevância, em que se geram receitas na medida em que se evitam gastos, seja de forma direta, seja sob a forma de indisponibilidade da frota.

As análises obtidas a partir da amostra coletada na empresa estudada, permitem constatar que os veículos analisados operam com índices de confiabilidade insatisfatórios.

Por meio da análise do Subsistema Freios, foi possível analisar sua criticidade no sistema, possibilitando, a partir daí, estabelecer prioridades no processo de otimização.

O Subsistema Freio estudado apresentou $KMEF_{LIC}$ de aproximadamente 1134 Km. Apesar de se tratar o parâmetro LIC, ainda assim os valores são insatisfatórios, devendo-se adotar as diretrizes de otimização sugeridas, tais como utilização de freio inteligente, catraca automática de regulação de lonas de freios, bem como o treinamento da mão de obra operacional (motoristas).

O sucesso de um programa de manutenção consistirá em se conseguir estabelecer as variáveis de monitoramento, para que se possa detectar potenciais falhas, evitando que elas venham a se manifestar em operação.

Vale ressaltar que as variáveis de monitoramento devem ser de fácil observação (rapidez e baixo custo), de modo a não penalizar a disponibilidade do equipamento, ou impor uma relação custo-benefício desfavorável.

A partir do estudo de Confiabilidade (LIC e LSC), obtém-se um intervalo de confiabilidades no qual o sistema opera. A situação ideal será atingida quando LSC e LIC forem os mais altos possíveis e a região compreendida entre eles for a menor possível.

A avaliação da propriedade Manutenibilidade fornece subsídios significativos para a estrutura administrativa e operacional das empresas. Os valores observados a partir da amostra analisada nos permitem concluir que os TMPR observados encontram-se passíveis de reduções, o que pode ser considerado um dos maiores problemas da empresa estudada. O processo de otimização, conforme foi visto na tabela 5, abrange inúmeras variáveis, sob domínio das mais diversas áreas da empresa. Fica claro, portanto, que não se trata de um processo isolado na área de oficinas, mas um trabalho conjunto dos mais diversos setores da empresa.

A análise da manutenibilidade permite ainda que se constate que o TMPR de Manutenção Corretiva é sensivelmente superior ao TMPR de Manutenção Preventiva, o que indica que a manutenção reduz custos tanto sob a ótica do aumento da vida útil dos equipamentos, quanto sob a ótica da redução de seu tempo indisponível.

Valores aceitáveis de Disponibilidade para um sistema de transporte urbano na modalidade ônibus situam-se na faixa de 85%. Conforme foi visto, a otimização

desta variável pressupõe a otimização simultânea de Confiabilidade e Manutenibilidade. Em última instância, será a variável cuja otimização feita de forma racional traduzir-se-á em eficiência alocativa, contemplando as expectativas de operadores e usuários.

As Simulações de potenciais combinações destas propriedades apresentadas na Tabela 5 mostra que valores de TMEF maiores ou iguais a 40 dias e $TMPR_{Geral}$ menores ou iguais a 4 Horas, para a amostra estudada, podem ser considerados referenciais de otimização, uma vez que nestas situações os índices de disponibilidade são superiores.

A análise global dos resultados permite que se tracem as seguintes considerações:

a) Os veículos não apresentam características apropriadas para a linha operada, se constituindo, desta forma, em causa dos problemas verificados;

b) A forma com que os veículos são operados exerce influência significativa nas propriedades pesquisadas. Uma vez que se trata de uma mão de obra recrutada sem a qualificação necessária, acredita-se que programas de qualificação de motoristas, ou até mesmo uma reciclagem de conhecimentos, tem o potencial de otimizar significativamente as propriedades avaliadas;

c) Muitas regulagens e ajustes, que deveriam ter sido realizadas dentro do programa de manutenção preventiva, foram realizadas de forma corretiva: degradando o gradiente de falhas.

d) Uma análise qualitativa dos relatórios de manutenção demonstra reincidência de um número significativo de falhas. Isto aponta para a necessidade de se avaliar a qualificação da mão de obra empregada, bem como a qualidade das peças utilizadas e serviços de recuperação contratados de terceiros.

Os resultados obtidos referem-se à operação com características específicas, a saber:

- Padrão dos veículos utilizados;
- Condições operacionais descritas (Topografia, pavimentação, mão de obra, etc.);
- Padrão de manutenção determinado.

A modificação em qualquer um dos parâmetros acima traduz-se em modificações nas propriedades estudadas. Uma vez que cada marca ou até mesmo cada modelo de veículo possui características próprias, modelos diferentes apresentarão λ e μ diferentes.

As condições operacionais constituem-se nas variáveis de maior influência nas propriedades e como tal, quanto mais severas, resultarão em menor confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade para o sistema.

À medida que a manutenção preventiva atua de forma satisfatória, falhas que poderiam se manifestar são detectadas precocemente. Para a amostra estudada, o cumprimento de todos os intervalos de manutenção, conforme programados, certamente teriam levado a resultados de KMEF superiores aos obtidos.

Alguns processos de Manutenção Preditiva quais podem ser utilizados para monitorar componentes sujeitos a um universo considerável de condições operacionais.

A proposta de análise de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade para o caso específico de Sistemas de ônibus esbarrou numa série de dificuldades enumeradas abaixo:

- 1) Uma vez que se trata de uma aplicação concreta, houve uma grande dificuldade de conciliação dos conceitos teóricos às propriedades possíveis de se obter a partir dos dados disponíveis na empresa;
- 2) Constatou-se uma massa de dados de volume considerável, que, no entanto, possui pouca ou nenhuma utilidade para o controle operacional e administrativo da empresa.
- 3) Os funcionários possuem pouco conhecimento sobre o setor de manutenção e por não conhecerem muitos termos técnicos, a coleta de informações foi prejudicada;
- 4) Apenas um dos subsistemas era controlado, por ser considerado um problema para a empresa, o que inviabilizou o estudo do sistema completo, uma vez que se torna necessário que todos os subsistemas sejam analisados.

6.1 Propostas de Melhorias para a empresa

A empresa deve buscar maneiras de se atualizar de forma a garantir a excelência no sistema de Manutenção de sua frota.

A adoção de algumas ações, por exemplo: Freio Inteligente, Catraca Automática de Regulagem de Lonas, Programação de Regulagens, Troca de Lonas, entre outros, podem aumentar de forma significativa KMEF do subsistema Freios.

Torna-se viável realizar os registros de entradas e saídas na oficina, cadastrar e controlar as peças de estoque, obter índices de disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade, além de avisar possíveis manutenções sendo preventiva, corretiva ou preditiva por quilometragem ou por data.

6.2 Pesquisas Futuras

A implantação de um plano de manutenção em empresas de transporte coletivo na modalidade ônibus exige um planejamento detalhado das metas e objetivos a serem alcançados. O processo, que na grande maioria das vezes é gradativo, parte, no primeiro momento, da melhoria das condições operacionais traduzidas por incrementos na KMEF e decrementos em TMPR, e, posteriormente, por meio de técnicas de Manutenção Preditiva, para maximizar a vida útil dos componentes dos subsistemas.

A fim de atingir o primeiro estágio do processo, o planejamento deve contemplar a obtenção dos seguintes dados:

1) Análise de Confiabilidade

- Registros individualizados das quilometragens relativas aos dois tipos de falhas (Parciais e Totais), divididas por subsistemas. Estes registros devem informar na medida do possível, quando referentes a Falhas Totais, o percentual da vida útil residual do componente, bem como a quilometragem acumulada desde a última manutenção, pois estes dados permitem avaliar de imediato se a falha corresponde ao processo probabilístico de falhas ou trata-se de negligência de manutenção, que eventualmente não procedeu às inspeções prescritas

2) Análise de Manutenibilidade:

- Levantamento criterioso dos tempos empregados em manutenção, preferencialmente explicitando suas parcelas (t_1 , t_2 e t_3). Esta análise deve classificar os tempos de reparo em categorias distintas (regulagens e ajustes e troca de componentes), de modo a possibilitar sua ponderação no cálculo de TMPR, visto que os primeiros ocorrem com maior frequência que os segundos. Os tempos t_1 , e t_2 devem ser confrontados com tempos padrão estabelecidos a partir de condições ótimas, de modo a avaliar a capacidade instalada do setor.

- Obtenção do parâmetro MQMO (Média do Quantitativo de Mão de Obra empregada por cada veículo). Para tanto basta estabelecer-se a média de veículos atendidos por dia na oficina. A partir de MQMO toma-se possível estabelecer comparações em termos absolutos, ou seja, Homem x Hora empregado, o que dá subsídios para o dimensionamento do quadro funcional necessário às exigências operacionais.

Uma vez que as análises de confiabilidade e manutenibilidade possibilitam avaliar a criticidade dos subsistemas, torna-se possível obter, além da análise da atividade de manutenção, como um subproduto, subsídios para um programa de treinamento de mão de obra. A partir dos dados de criticidade de confiabilidade, torna-se possível orientar os operadores (motoristas) a operarem dentro de limites estabelecidos, bem como proceder a um treinamento da mão de obra de manutenção, voltado para aquelas atividades em que se gasta maior tempo de reparo.

É necessário elaborar os procedimentos de manutenção a serem aplicados na empresa e realizar um posterior treinamento com os funcionários. O interessante é que se realize um confronto de dados entre as análises desta dissertação e um possível trabalho futuro. A proposta de implantação de um sistema, realizada nesta dissertação dará a base fundamental para uma futura continuação do trabalho e constante controle das atividades já realizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. T. e WASJMAN, D. **Engenharia de Manutenção – Visão Conceitual**, 4º Congresso Brasileiro de Manutenção, São Paulo, SP, 1989.

Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br/anuário.html>>, último acesso em 03 de março de 2011.

BARBOSA, F. C. **Uma proposta de Metodologia para Aplicação em Manutenção de Ônibus**, Brasília – Dept ° de Engenharia Civil, 1997. (Dissertação de Mestrado).

BARLOW E. R. PROSCHAN F., e HUNTER L.C. **Mathematical Theory of Reliability**, John Wiley Sons & Inc., New York, 1965.

BAZANI, A. **Cai produção de ônibus**, 2010. Disponível em <<http://onibusbrasil.com/blog/category/artigos/artigostecnicos/>>, último acesso em 10 de fevereiro de 2011.

BERGAMO, V. F. **Confiabilidade Básica e Prática**. São Paulo: E. Blücher, 1997.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **Logistics Engineering and Management**. 6th ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2003.

CAPLEN, R. H. **A practical Approach to Reliability**. Londron, Business Books Limited, 1972.

Engenharia de Manutenção. Disponível em <<http://www.siemens.com.br/templates/coluna1.aspx?channel=3727>>, último acesso em 06 de abril de 2011.

FILHO, G. B. **“Dicionário de Termos de Manutenção e Confiabilidade”**, 2. ed. Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2000;

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 2ªed. Rio de Janeiro: Qualimark, 2001;

KARDEC, A e NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica** – 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2006;

KLIPPEL, A. F. **Liderança: O desafio do futuro**. Criciúma, 1998. Monografia de especialização em Gestão Empresarial, Universidade do Extremo Sul Catarinense.

KRAUS, J. W. **Maintainability and reliability**. In: IRESON, W. G.; COOMBS JR. Handbook of reliability engineering and management. New York: McGraw-Hill, 1988.

LUZ, Vicente. **Metodologia para Completa Utilização de Dados de Confiabilidade e Manutenibilidade na Avaliação da Eficácia e Custo no Ciclo de Vida de Sistemas:**

Uma Aplicação a Carro de Combate, Brasília UNB – Dept ° de Estatística, 1986. (Dissertação de Mestrado).

MADU, C. N. **Reliability and quality interlace**. International journal of quality and reliability management, Bradford- UK, V.16, N.7, 1999.

MADU, C. N. **Strategic value of reliability and maintainability management**. International journal of quality and reliability management, Bradford- UK, V.22, N.3, 2005.

MATHEW, S. **Optimal inspection frequency: a tool for maintenance planning/forecasting**. In: International Journal of Quality & Reliability Management. v. 21, n. 7. Bradford: Emerald Group, 2004.

MEYER, P.L. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**; tradução de Ruy de C.B. Lourenço Filho, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro, RJ, 1982;

Moubray, J. **“RCM II – Reliability – Centered Maintenance”**, 2. ed. Industrial Press Inc, New York, 1997;

MORAIS, V. C. **Metodologia de priorização de equipamentos médico- hospitalares em programas de manutenção preventiva**. Campinas: Unicamp, 2004.

O’CONNOR, P. D. T. **Practical reliability engineering**. Norwich: John Wiley & Sons, 1983.

ORRICO, R. D. **Ônibus Urbano, Custo de Capital, Manutenção e Tarifas**. in Revista dos Transportes Públicos, 1996.

POLOVKO, A. M., **Fundamentals of Reliability Theory**, New York: Academic Press, 1968.

RELIAISOFT. **System analysis reference, reliability, availability and optimization**. Tucson: ReliaSoft Publishing, 2003. Disponível em <<http://www.weibull.com>>. Último acesso em: 9 de maio 2011.

ROSA, L. C. **Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho: apostila de gerência de riscos**. Centro de Tecnologia. Santa Maria: UFSM, 2003.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. Tradução de Pedro Cosentino, Mc Graw Hill do Brasil, São Paulo, SP, 1977.

TAN, C. M. **Customer – focused build-in reliability: A case study**. International journal of Quality and Reliability Management, 2003.

TUBINO, Dálvio Ferrari. **Sistemas de Produção: A PRODUTIVIDADE NO CHÃO DE FÁBRICA**. Porto Alegre: Bookman, 1999.

VACCARO, G. L. R. **Modelagem e análise da confiabilidade de sistemas**. Porto Alegre: UFRGS, 1997.

VILLEMEUR, A. **Reliability, availability, maintainability and safety assessment.**
Chippenharn, WIL: John Wiley & Sons, 1992. v. 1: methods and techniques.

Anexo A – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais

“Neste anexo é apresentada as datas, os serviços, as ações e os motivos das falhas apresentadas pelos dos veículos, assim como os cálculos de TMEF , KMEF (LIC) e R(t).”

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Parciais e Totais) - LIC	R(t)
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	23/03/2008		354257		
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	15/05/2008	53	354652	395	0,7057764
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	25/05/2008	10	355650	998	0,414615
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	29/05/2008	4	356887	1237	0,3357988
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	05/06/2008	7	357643	756	0,5132871
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	09/06/2008	4	358212	569	0,6053465
214	Lona de Freio DO	Verificação	Desregulagem	09/06/2008	0	358944	732	0,5242703
214	Lona de Freio DF	Verificação	Desregulagem	20/06/2008	11	359763	819	0,4855386
214	Lona de Freio TO	Verificação	Desregulagem	25/06/2008	5	368413	8650	0,0004853
214	Lona de Freio TF	Verificação	Desregulagem	30/07/2008	35	368624	211	0,8301593
214	Cabo traseiro	Verificação	Folga	02/08/2008	3	368624	0	1
214	Cabo traseiro	Verificação	Folga	16/08/2008	14	368624	0	1
214	Cabo traseiro	Verificação	Folga	19/08/2008	3	368820	196	0,8412174
214	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	368920	100	0,9155623
214	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	369820	900	0,4520546
214	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	369826	6	0,994721
214	Catraca do freio dianteiro	Verificação	Folga	05/09/2008	17	369826	0	1
214	Catraca do freio traseiro	Verificação	Folga	16/09/2008	11	369826	0	1
214	Válvula pneumática	Verificação	Vazamento	27/09/2008	11	370020	194	0,8427029
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	02/10/2008	5	370870	850	0,4724404
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	14/10/2008	12	371250	380	0,7151777
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	02/11/2008	19	372531	1281	0,3230143
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	09/12/2008	37	372598	67	0,9426075
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	03/01/2009	25	373698	1100	0,3789367
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	14/03/2009	70	374487	789	0,4985599
214	Lona de freio	Troca	Desgaste	30/04/2009	47	375899	1412	0,2877616
214	Lona de freio	Troca	Desgaste	07/05/2009	7	375991	92	0,9220466
214	Lona de freio	Troca	Desgaste	09/05/2009	2	377896	1905	0,1862748
214	Válvula reguladora de pressão	Verificação	Vazamento	10/07/2009	62	378881	985	0,4193973
214	Sistema pneumático	Verificação	Vazamento	13/08/2009	34	379564	683	0,5474295
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	14/08/2009	1	380100	536	0,6232281
215	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	19/09/2009	36	380547	447	0,6741318

Anexo B – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais

“Neste anexo é apresentada as datas, os serviços, as ações e os motivos das falhas apresentadas pelos veículos, assim como os cálculos de TMEF, KMEF (LSC) e R(t).”

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Totais) - LSC	R(t)
214	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	23/03/2008		354257		
214	Lona de Freio DO	Verificação	Desregulagem	09/06/2008	78	358944	4687	0,470211441
214	Cabo traseiro	Verificação	Folga	02/08/2008	54	368624	9680	0,210470581
214	Catraca do freio traseiro	Verificação	Folga	16/09/2008	45	369826	1202	0,824058932
214	Lona de freio	Troca	Desgaste	30/04/2009	226	375899	6073	0,376172034
214	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	01/01/2010	246	389452	13553	0,112823104
214	Válvula reguladora de pressão	Verificação	Vazamento	23/02/2010	53	398014	8562	0,251976476
215	Lona de freio	Troca	Desgaste	05/04/2010	41	400836	2822	0,634878641
215	Lona de freio	Troca	Desgaste	16/04/2010	11	410369	9533	0,21551097
216	Lona de freio	Troca	Desgaste	13/07/2010	88	421023	10654	0,179924801
216	Lona de freio	Troca	Desgaste	20/07/2010	95	422045	1022	0,848288452
214	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	02/12/2010	135	434021	11976	0,145431711
214	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	05/12/2010	3	435006	985	0,853356557
Quilometragem Média entre Falhas (KMEF)							6211	
Tempo Médio entre Falhas (TMEF)							83	
Erro de estimação							1256	

Anexo C – Relatório Mecânico e Cálculos Fundamentais

“Neste anexo são apresentados as datas e os horários de entrada e saída da oficina, assim como o cálculo de TPR (min), no que se refere ao subsistema freio.”

Média de distribuição de todos os tempos para reparar falhas				
ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)
Data	Hora	Data	Hora	
23/03/08	07:00:00	23/03/08	11:00:00	240
15/05/08	20:00:00	17/05/08	07:00:00	2100
25/05/08	21:00:00	25/05/08	23:20:00	140
29/05/08	5:00:00	30/05/08	17:50:00	2210
05/06/08	22:00:04	06/06/08	05:00:04	420
09/06/08	08:10:00	09/06/08	15:00:00	430
20/06/08	22:00:00	25/06/08	18:00:00	6960
25/06/08	20:00:00	26/06/08	09:00:00	780
30/07/08	21:08:00	30/07/08	23:10:00	10
02/08/08	07:00:00	03/08/08	07:00:09	1440
16/08/08	1:10:00	18/08/08	07:00:10	3240
19/08/08	21:00:00	19/08/08	0:11:00	191
19/08/08	23:00:00	20/08/08	07:00:00	480
19/08/08	20:10:00	21/08/08	07:00:00	2110
19/08/08	20:40:00	22/08/08	09:00:00	4940
05/09/08	2:00:00	05/09/08	09:15:00	435
16/09/08	07:00:00	16/09/08	20:00:00	960
27/09/08	21:10:00	27/09/08	23:10:00	120
02/10/08	21:00:00	03/10/08	18:00:00	1260
14/10/08	23:00:00	15/10/08	07:19:00	581
02/11/08	2:00:00	02/11/08	11:20:00	560
09/12/08	1:13:00	09/12/08	20:00:00	1127
03/01/09	22:00:00	03/01/09	0:40:00	160
14/03/09	21:00:00	17/03/09	07:00:00	3480
30/04/09	08:35:00	30/04/09	20:00:00	685
07/05/09	05:00:00	07/05/09	20:00:00	900

09/05/09	09:00:00	09/05/09	17:00:00	480
10/07/09	22:00:00	10/07/09	23:10:00	70
13/08/09	23:00:00	14/08/09	15:30:00	1050
14/08/09	4:10:00	14/08/09	17:00:00	790
19/09/09	5:00:00	22/09/09	07:00:00	3720
24/09/09	21:57:00	25/09/09	07:31:00	866
06/10/09	5:00:00	06/10/09	10:00:00	300
20/10/09	0:10:00	20/10/09	17:33:00	1043
29/10/09	23:00:00	30/10/09	20:00:00	1260
01/12/09	20:35:00	02/12/09	11:00:00	1945
01/01/10	07:00:00	01/01/10	12:40:00	340
20/01/10	20:37:00	20/01/10	23:30:00	183
20/01/10	20:38:00	21/01/10	07:00:00	698
20/01/10	23:00:00	22/01/10	07:09:00	1929
25/01/10	23:40:00	26/01/10	20:00:00	1300
25/01/10	23:42:00	25/01/10	10:00:00	822
25/01/10	23:43:00	26/01/10	10:10:00	693
25/01/10	23:44:00	26/01/10	10:30:00	674
25/01/10	23:45:00	26/01/10	10:45:00	660
20/02/10	5:00:00	21/02/10	07:00:00	1560
23/02/10	07:00:00	23/02/10	17:00:00	600
20/03/10	23:00:00	21/03/10	07:47:00	553
22/03/10	23:10:00	23/03/10	09:00:00	590
05/04/10	7:30:00	06/04/10	11:00:00	810
16/04/10	8:10:00	17/04/10	09:00:00	650
03/05/10	23:00:00	04/05/10	09:00:00	600
07/06/10	5:00:00	09/06/10	09:20:00	3140
10/07/10	23:00:00	11/07/10	19:00:00	1200
13/07/10	17:00:00	15/07/10	09:00:00	2400
20/07/10	18:30:00	21/07/10	08:00:00	930
30/08/10	20:40:00	30/08/10	23:00:00	140
01/09/10	21:00:00	02/09/10	07:00:00	600
05/09/10	21:00:00	06/09/10	10:00:00	780
05/09/10	20:20:00	06/09/10	08:10:00	730
05/09/10	21:06:00	07/09/10	09:00:00	2154
05/09/10	05:00:00	07/09/10	10:00:00	3180
30/09/10	20:50:00	01/10/10	09:00:00	730
30/09/10	21:55:00	01/10/10	09:10:00	675

30/09/10	23:00:00	01/10/10	10:00:00	780
30/09/10	21:05:00	01/10/10	11:00:00	845
04/10/10	20:30:00	06/10/10	09:00:00	2250
22/10/10	21:00:00	22/10/10	0:18:00	198
26/10/10	05:40:00	27/10/10	16:10:00	2070
02/12/10	07:00:00	08/12/10	07:05:00	8645
05/12/10	07:00:00	10/12/10	06:00:00	7140
23/12/10	05:00:00	24/12/10	09:00:00	1680
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				1395

Anexo D – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010)

“Neste anexo são apresentadas as médias de distribuição dos tempos para reparar, no período de Janeiro a Outubro de 2010.”

Média de distribuição de todos os tempos para reparar falhas (Janeiro - Outubro 2010)					
ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
Data	Hora	Data	Hora		
01/01/10	07:00:00	01/01/10	12:40:00		
20/01/10	20:37:00	20/01/10	23:30:00	183	0,1177443
20/01/10	20:38:00	21/01/10	07:00:00	698	0,3798653
20/01/10	23:00:00	22/01/10	07:09:00	1929	0,7329994
25/01/10	23:40:00	26/01/10	20:00:00	1300	0,5893114
25/01/10	23:42:00	25/01/10	10:00:00	822	0,430333
25/01/10	23:43:00	26/01/10	10:10:00	693	0,3777391
25/01/10	23:44:00	26/01/10	10:30:00	674	0,3695928
25/01/10	23:45:00	26/01/10	10:45:00	660	0,3635221
20/02/10	5:00:00	21/02/10	07:00:00	1560	0,6562718
23/02/10	07:00:00	23/02/10	17:00:00	600	0,3368356
20/03/10	23:00:00	21/03/10	07:47:00	553	0,3151519
22/03/10	23:10:00	23/03/10	09:00:00	590	0,3322803
05/04/10	7:30:00	06/04/10	11:00:00	810	0,4256341
16/04/10	8:10:00	17/04/10	09:00:00	650	0,3591501
03/05/10	23:00:00	04/05/10	09:00:00	600	0,3368356
07/06/10	5:00:00	09/06/10	09:20:00	3140	0,8834575
10/07/10	23:00:00	11/07/10	19:00:00	1200	0,5602129
13/07/10	17:00:00	15/07/10	09:00:00	2400	0,8065873
20/07/10	18:30:00	21/07/10	08:00:00	930	0,4709303
30/08/10	20:40:00	30/08/10	23:00:00	140	0,0913884
01/09/10	21:00:00	02/09/10	07:00:00	600	0,3368356
05/09/10	21:00:00	06/09/10	10:00:00	780	0,4137166
05/09/10	20:20:00	06/09/10	08:10:00	730	0,3933021
05/09/10	21:06:00	07/09/10	09:00:00	2154	0,7711135
05/09/10	05:00:00	07/09/10	10:00:00	3180	0,8866054
30/09/10	20:50:00	01/10/10	09:00:00	730	0,3933021
30/09/10	21:55:00	01/10/10	09:10:00	675	0,3700242
30/09/10	23:00:00	01/10/10	10:00:00	780	0,4137166
30/09/10	21:05:00	01/10/10	11:00:00	845	0,439232
04/10/10	20:30:00	06/10/10	09:00:00	2250	0,7856716
22/10/10	21:00:00	22/10/10	0:18:00	198	0,1267572
26/10/10	05:40:00	27/10/10	16:10:00	2070	0,7575661
02/12/10	07:00:00	08/12/10	07:05:00	8645	0,9973093
05/12/10	07:00:00	10/12/10	06:00:00	7140	0,9924614
23/12/10	05:00:00	24/12/10	09:00:00	1680	0,6833792
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				1461	

Anexo E – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010)

“Neste anexo são apresentadas as médias de distribuição dos tempos para reparar, no período de Janeiro a Outubro de 2010 – (20 às 06).”

Média de distribuição dos tempos para reparar falhas - 20 às 06 horas (Janeiro - Outubro 2010)					
ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
Data	Hora	Data	Hora		
20/01/10	20:37:00	20/01/10	23:30:00	183	0,3152167
20/01/10	20:38:00	21/01/10	07:00:00	698	0,7640795
20/01/10	23:00:00	22/01/10	07:09:00	1929	0,9815257
25/01/10	23:40:00	26/01/10	20:00:00	1300	0,9321112
25/01/10	23:42:00	25/01/10	10:00:00	822	0,8174688
25/01/10	23:43:00	26/01/10	10:10:00	693	0,7616261
25/01/10	23:44:00	26/01/10	10:30:00	674	0,7520681
25/01/10	23:45:00	26/01/10	10:45:00	660	0,744781
20/02/10	5:00:00	21/02/10	07:00:00	1560	0,9603578
20/03/10	23:00:00	21/03/10	07:47:00	553	0,6815326
22/03/10	23:10:00	23/03/10	09:00:00	590	0,7050039
03/05/10	23:00:00	04/05/10	09:00:00	600	0,7110451
07/06/10	5:00:00	09/06/10	09:20:00	3140	0,9984922
10/07/10	23:00:00	11/07/10	19:00:00	1200	0,9165051
30/08/10	20:40:00	30/08/10	23:00:00	140	0,2514968
01/09/10	21:00:00	02/09/10	07:00:00	600	0,7110451
05/09/10	21:00:00	06/09/10	10:00:00	780	0,8008964
05/09/10	20:20:00	06/09/10	08:10:00	730	0,7791945
05/09/10	21:06:00	07/09/10	09:00:00	2154	0,9884021
05/09/10	05:00:00	07/09/10	10:00:00	3180	0,998612
30/09/10	20:50:00	01/10/10	09:00:00	730	0,7791945
30/09/10	21:55:00	01/10/10	09:10:00	675	0,7525806
30/09/10	23:00:00	01/10/10	10:00:00	780	0,8008964
30/09/10	21:05:00	01/10/10	11:00:00	845	0,825952
04/10/10	20:30:00	06/10/10	09:00:00	2250	0,9904915
22/10/10	21:00:00	22/10/10	0:18:00	198	0,336144
26/10/10	05:40:00	27/10/10	16:10:00	2070	0,9862005
23/12/10	05:00:00	24/12/10	09:00:00	1680	0,969074
TMPR (20 as 06)				483	

Anexo F – Relatório Mecânico (JAN – OUT/ 2010)

“Neste anexo são apresentadas as médias de distribuição dos tempos para reparar, no período de Janeiro a Outubro de 2010 – (06 às 20).”

Média de distribuição ds tempos para reparar falhas - 06 às 20 horas (Janeiro - Outubro 2010)					
ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
Data	Hora	Data	Hora		
01/01/10	07:00:00	01/01/10	12:40:00		
23/02/10	07:00:00	23/02/10	17:00:00	600	0,1799149
05/04/10	7:30:00	06/04/10	11:00:00	810	0,2349152
16/04/10	8:10:00	17/04/10	09:00:00	650	0,1933586
13/07/10	17:00:00	15/07/10	09:00:00	2400	0,5476904
20/07/10	18:30:00	21/07/10	08:00:00	930	0,2646716
02/12/10	07:00:00	08/12/10	07:05:00	8645	0,9426081
05/12/10	07:00:00	10/12/10	06:00:00	7140	0,905611
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				3025	

Anexo G – Relatório Mecânico

“Neste anexo são apresentadas informações sobre a Linha 114”

Código da linha	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Parciais e Totais) - LIC	R(t)
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	23/03/2008		354257		
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	15/05/2008	53	354652	395	0,7985016
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	25/05/2008	10	355650	998	0,566359
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	29/05/2008	4	356887	1237	0,494268
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	05/06/2008	7	357643	756	0,6500748
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	09/06/2008	4	358212	569	0,7231488
114	Lona de Freio DO	Verificação	Desregulagem	09/06/2008	0	358944	732	0,6590236
114	Lona de Freio DF	Verificação	Desregulagem	20/06/2008	11	359763	819	0,6271579
114	Lona de Freio TO	Verificação	Desregulagem	25/06/2008	5	368413	8650	0,0072438
114	Lona de Freio TF	Verificação	Desregulagem	30/07/2008	35	368624	211	0,8867434
114	Cabo traseiro	Verificação	Folga	02/08/2008	3	368624	0	1
114	Cabo traseiro	Verificação	Folga	16/08/2008	14	368624	0	1
114	Cabo traseiro	Verificação	Folga	19/08/2008	3	368820	196	0,8943531
114	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	368920	100	0,9446256
114	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	369820	900	0,5988765
114	Tambor de Freio	Verificação	Folga	19/08/2008	0	369826	6	0,9965878
114	Catraca do freio dianteiro	Verificação	Folga	05/09/2008	17	369826	0	1
114	Catraca do freio traseiro	Verificação	Folga	16/09/2008	11	369826	0	1
114	Válvula pneumática	Verificação	Vazamento	27/09/2008	11	370020	194	0,8953726
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	02/10/2008	5	370870	850	0,6161798
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	14/10/2008	12	371250	380	0,8053541
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	02/11/2008	19	372531	1281	0,482033
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	09/12/2008	37	372598	67	0,9625516
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	03/01/2009	25	373698	1100	0,534388
114	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	14/03/2009	70	374487	789	0,6379682
114	Lona de freio	Troca	Desgaste	30/04/2009	47	375899	1412	0,4473701
114	Lona de freio	Troca	Desgaste	07/05/2009	7	375991	92	0,9489404

ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
Data	Hora	Data	Hora		
23/03/08	07:00:00	23/03/08	11:00:00	240	0,1534353
15/05/08	20:00:00	17/05/08	07:00:00	2100	0,7671766
25/05/08	21:00:00	25/05/08	23:20:00	140	0,0925937
29/05/08	5:00:00	30/05/08	17:50:00	2210	0,7842897
05/06/08	22:00:04	06/06/08	05:00:04	420	0,2528543
09/06/08	08:10:00	09/06/08	15:00:00	430	0,2580218
20/06/08	22:00:00	25/06/08	18:00:00	6960	0,9920174
25/06/08	20:00:00	26/06/08	09:00:00	780	0,4180367
30/07/08	21:08:00	30/07/08	23:10:00	10	0,0069163
02/08/08	07:00:00	03/08/08	07:00:09	1440	0,631904
16/08/08	1:10:00	18/08/08	07:00:10	3240	0,8944611
19/08/08	21:00:00	19/08/08	0:11:00	191	0,1241504
19/08/08	23:00:00	20/08/08	07:00:00	480	0,2833281
19/08/08	20:10:00	21/08/08	07:00:00	2110	0,7687869
19/08/08	20:40:00	22/08/08	09:00:00	4940	0,9675656
05/09/08	2:00:00	05/09/08	09:15:00	435	0,2605921
16/09/08	07:00:00	16/09/08	20:00:00	960	0,4863814
27/09/08	21:10:00	27/09/08	23:10:00	120	0,0799105
02/10/08	21:00:00	03/10/08	18:00:00	1260	0,5829233
14/10/08	23:00:00	15/10/08	07:19:00	581	0,3318448
02/11/08	2:00:00	02/11/08	11:20:00	560	0,3220353
09/12/08	1:13:00	09/12/08	20:00:00	1127	0,5425915
03/01/09	22:00:00	03/01/09	0:40:00	160	0,1051022
14/03/09	21:00:00	17/03/09	07:00:00	3480	0,9106545
30/04/09	08:35:00	30/04/09	20:00:00	685	0,3783727
07/05/09	05:00:00	07/05/09	20:00:00	900	0,4645417
09/05/09	09:00:00	09/05/09	17:00:00	480	0,2833281
10/07/09	22:00:00	10/07/09	23:10:00	70	0,0474213
13/08/09	23:00:00	14/08/09	15:30:00	1050	0,5174823
14/08/09	4:10:00	14/08/09	17:00:00	790	0,4220618
29/10/09	23:00:00	30/10/09	20:00:00	1260	0,5829233
01/12/09	20:35:00	02/12/09	11:00:00	1945	0,7407337
01/01/10	07:00:00	01/01/10	12:40:00	340	0,2101974
20/01/10	20:37:00	20/01/10	23:30:00	183	0,1192739
20/01/10	20:38:00	21/01/10	07:00:00	698	0,3839561
20/01/10	23:00:00	22/01/10	07:09:00	1929	0,7378386
20/02/10	5:00:00	21/02/10	07:00:00	1560	0,6613187
23/02/10	07:00:00	23/02/10	17:00:00	600	0,3405977
01/09/10	21:00:00	02/09/10	07:00:00	600	0,3405977
30/09/10	20:50:00	01/10/10	09:00:00	730	0,3974871
30/09/10	21:55:00	01/10/10	09:10:00	675	0,3740434
30/09/10	23:00:00	01/10/10	10:00:00	780	0,4180367
30/09/10	21:05:00	01/10/10	11:00:00	845	0,4437071
02/12/10	07:00:00	08/12/10	07:05:00	8645	0,9975211
05/12/10	07:00:00	10/12/10	06:00:00	7140	0,9929548
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				1441	

ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
Data	Hora	Data	Hora		
23/03/08	07:00:00	23/03/08	11:00:00	240	0,1000974
09/06/08	08:10:00	09/06/08	15:00:00	430	0,1721844
02/08/08	07:00:00	03/08/08	07:00:09	1440	0,468904
16/09/08	07:00:00	16/09/08	20:00:00	960	0,344184
30/04/09	08:35:00	30/04/09	20:00:00	685	0,259941
01/01/10	07:00:00	01/01/10	12:40:00	340	0,1387876
23/02/10	07:00:00	23/02/10	17:00:00	600	0,2317744
02/12/10	07:00:00	08/12/10	07:05:00	8645	0,9776085
05/12/10	07:00:00	10/12/10	06:00:00	7140	0,9566173
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				2276	

$$T_{IND} = \text{TMPR} / (\text{TMPR} + \text{TMEF}) = \text{KMPR} / (\text{KMPR} + \text{KMEF})$$

$$DI = [\text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMPR})] = [\text{KMEF} / (\text{KMEF} + \text{KMPR})]$$

DI(LS)	0,051429167
DI(LI)	0,014673089
TIND(LS)	0,948570833
TIND(LI)	0,985326911

Anexo H – Relatório Mecânico

“Neste anexo são apresentadas informações sobre a Linha 115”

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Parciais e Totais) - LIC	R(t)
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	19/09/2009		380547		
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	24/09/2009	5	381481	934	0,761041433
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	06/10/2009	12	382547	1066	0,732230843
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	20/10/2009	14	382956	409	0,887295987
115	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	25/01/2010	97	393120	10164	0,051222199
115	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	25/01/2010	0	394058	938	0,76015195
115	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	25/01/2010	0	394863	805	0,790292151
115	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	25/01/2010	0	395069	206	0,941550896
115	Borracha dos pedais	Troca	Desgaste	25/01/2010	0	396412	1343	0,675269009
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	20/03/2010	54	399012	2600	0,467598615
115	Catraca do freio traseiro	Verificação	Folga	22/03/2010	2	400257	1245	0,694896396
115	Lona de freio	Troca	Desgaste	05/04/2010	14	400836	579	0,844273785
115	Lona de freio	Troca	Desgaste	16/04/2010	11	410369	9533	0,061599537
115	Lona de freio	Troca	Desgaste	07/06/2010	52	420004	9635	0,059789693
115	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	04/10/2010	119	431853	11849	0,031297573
Quilometragem Média entre Falhas (KMEF)							3420	
Tempo Médio entre Falhas (TMEF)							25	
Erro de estimação							1140	

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Totais) - LSC	R(t)
115	Lona de freio	Troca	Desgaste	05/04/2010		400836		
115	Lona de freio	Troca	Desgaste	16/04/2010	11	410369	9533	0,367879441
Quilometragem Média entre Falhas (KMEF)							9533	
Tempo Médio entre Falhas (TMEF)							11	

ENTRADA		SAÍDA				TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
19/09/09	5:00:00	22/09/09	07:00:00	4320	-600	3720	0,9543988
24/09/09	21:57:00	25/09/09	07:31:00	1440	-574	866	0,5126785
06/10/09	5:00:00	06/10/09	10:00:00	0	300	300	0,2204339
20/10/09	0:10:00	20/10/09	17:33:00	0	1043	1043	0,5792649
25/01/10	23:40:00	26/01/10	20:00:00	1440	-140	1300	0,6600909
25/01/10	23:42:00	25/01/10	10:00:00	0	822	822	0,4945513
25/01/10	23:43:00	26/01/10	10:10:00	1440	-747	693	0,4374251
25/01/10	23:44:00	26/01/10	10:30:00	1440	-766	674	0,4284823
25/01/10	23:45:00	26/01/10	10:45:00	1440	-780	660	0,4218021
20/03/10	23:00:00	21/03/10	07:47:00	1440	-887	553	0,3680991
22/03/10	23:10:00	23/03/10	09:00:00	1440	-850	590	0,3872112
05/04/10	7:30:00	06/04/10	11:00:00	1440	-630	810	0,4894915
16/04/10	8:10:00	17/04/10	09:00:00	1440	-790	650	0,4169827
07/06/10	5:00:00	09/06/10	09:20:00	2880	260	3140	0,9261992
04/10/10	20:30:00	06/10/10	09:00:00	2880	-630	2250	0,8455111
Tempo Médio para Reparar (TMPR)						1205	

ENTRADA		SAÍDA				TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
05/04/10	7:30:00	06/04/10	11:00:00	1440	-630	810	0,6703056
16/04/10	8:10:00	17/04/10	09:00:00	1440	-790	650	0,589513
Tempo Médio para Reparar (TMPR)						730	

$$T_{IND} = TMPR / (TMPR + TMEF) = KMPR / (KMPR + KMEF)$$

$$DI = [TMEF / (TMEF + TMPR)] = [KMEF / (KMEF + KMPR)]$$

DI(LS)	0,014844804
DI(LI)	0,02059509
TIND(LS)	0,985155196
TIND(LI)	0,97940491

Anexo I – Relatório Mecânico

“Neste anexo serão apresentadas informações sobre a Linha 116”

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Parciais e Totais) - LIC	R(t)
116	Tambor de Freio	Verificação	Folga	03/05/2010		410789		
116	Sistema pneumático	Verificação	Vazamento	10/07/2010	68	420789	10000	0,005614628
116	Lona de freio	Troca	Desgaste	13/07/2010	3	421023	234	0,885796809
116	Lona de freio	Troca	Desgaste	20/07/2010	7	422045	1022	0,588817361
116	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	30/08/2010	41	422981	936	0,615653632
116	Tambor de Freio DO	Verificação	Folga	05/09/2010	6	423856	875	0,635426888
116	Tambor de Freio DF	Verificação	Folga	05/09/2010	0	424036	180	0,910935816
116	Tambor de Freio TD	Verificação	Folga	05/09/2010	0	425002	966	0,606156001
116	Tambor de Freio TF	Verificação	Folga	05/09/2010	0	425874	872	0,636415563
116	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	22/10/2010	47	432054	6180	0,040651856
116	Sistema de Freio de Serviço	Regulagem	Desregulagem	26/10/2010	4	433589	1535	0,451357615
116	Lona de freio	Verificação	Desregulagem	23/12/2010	58	435874	2285	0,305998889
Quilometragem Média entre Falhas (KMEF)							1930	
Tempo Médio entre Falhas (TMEF)							21	
Erro de estimação							846	

Número do veículo	Serviço	Ação	Motivo	Data da entrada	Tempo entre falhas	Odômetro	Quilometragem entre falhas (Totais) - LSC	R(t)
116	Lona de freio	Troca	Desgaste	13/07/2010		421023		
116	Lona de freio	Troca	Desgaste	20/07/2010	7	422045	1022	3,91747E-64
Quilometragem Média entre Falhas (KMEF)							1022	
Tempo Médio entre Falhas (TMEF)							7	

ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
03/05/10	23:00:00	04/05/10	09:00:00	600	0,384683
10/07/10	23:00:00	11/07/10	19:00:00	1200	0,621385
13/07/10	17:00:00	15/07/10	09:00:00	2400	0,856651
20/07/10	18:30:00	21/07/10	08:00:00	930	0,528911
30/08/10	20:40:00	30/08/10	23:00:00	140	0,107127
05/09/10	21:00:00	06/09/10	10:00:00	780	0,468102
05/09/10	20:20:00	06/09/10	08:10:00	730	0,446136
05/09/10	21:06:00	07/09/10	09:00:00	2154	0,82507
05/09/10	05:00:00	07/09/10	10:00:00	3180	0,923753
22/10/10	21:00:00	22/10/10	0:18:00	198	0,148073
26/10/10	05:40:00	27/10/10	16:10:00	2070	0,812764
23/12/10	05:00:00	24/12/10	09:00:00	1680	0,74327
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				1236	

ENTRADA		SAÍDA		TEMPO PARA REPARAR (minutos)	M(t)
13/07/10	17:00:00	15/07/10	09:00:00	2400	0,763414
20/07/10	18:30:00	21/07/10	08:00:00	930	0,427967
Tempo Médio para Reparar (TMPR)				1665	

$$T_{IND} = \text{TMPR} / (\text{TMPR} + \text{TMEF}) = \text{KMPR} / (\text{KMPR} + \text{KMEF})$$

$$DI = [\text{TMEF} / (\text{TMEF} + \text{TMPR})] = [\text{KMEF} / (\text{KMEF} + \text{KMPR})]$$

DI(LS)	0,004186603
DI(LI)	0,016925953
TIND(LS)	0,995813397
TIND(LI)	0,983074047