

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO E
ESTRUTURAÇÃO DE SISTEMAS DE MANUTENÇÃO
DE FROTA AUTOMOTIVA**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

FREDERICO FREIRE DE CARVALHO MATOS

FLORIANÓPOLIS, 12 DE JULHO DE 1999.

METODOLOGIA PARA PLANEJAMENTO E ESTRUTURAÇÃO DE
SISTEMAS DE MANUTENÇÃO DE FROTA AUTOMOTIVA

FREDERICO FREIRE DE CARVALHO MATOS

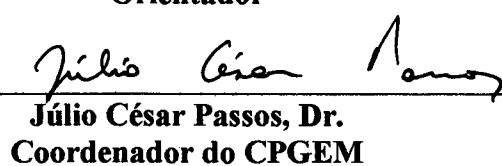
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE
CONCENTRAÇÃO PROJETO DE SISTEMAS MECÂNICOS, APROVADA EM
SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA.

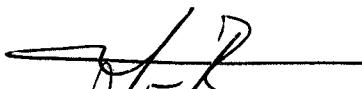


Prof. Acires Dias, Dr. Eng.
Orientador

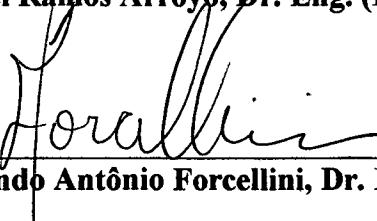


Júlio César Passos, Dr.
Coordenador do CPGEM

BANCA EXAMINADORA



Prof. Narciso Angel Ramos Arroyo, Dr. Eng. (Presidente)



Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.



Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.

A MINHA AMADA
FAMÍLIA, CIOMARA E RAFAEL, QUE
ME PROPORCIONARAM A FORÇA E
INCENTIVO PARA A CONCLUSÃO DESTE
ESTÁGIO EM MINHA VIDA.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Acires Dias pela excelente orientação e equilíbrio entre a compreensão e a cobrança de resultados.

Aos funcionários do Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica em especial a Gerônimo, Ana e Nichelle pela excelente assistência.

Aos meus novos amigos Rafaela, Heitor, Ana Vládia, João Morais, Clóvis e Ana Paula, Vítor e Giane, Norberto e Priscila, Analúcia, Gustavo, Mércia e Prof. Ivan, , Gustavo e Maga, Eduardo e Liseane, que me proporcionaram um ganho de vida e apoio.

Em especial à Eduardo Portela e Herman Lepkson pela força motivadora inicial.

À minha família (Avó, tia(o)s, primo(a)s, irmãos, minha mãe e meu pai) que, de Salvador torceram por mim e me mantiveram unido a esse laço fundamental de família imprescindível ao meu equilíbrio emocional.

Aos colegas do NeDIP pelo suporte e ajuda em todos os momentos.

A Giuliano Crivelli, também responsável por este trabalho.

Aos professores do NeDIP, em especial aos professores Nelson Back, PhD, e Fernando Forcellini, Dr., pelos ensinamentos.

Aos grandes amigos, Sandro França e Paulo Vítor Fleming.

A Deus que, a despeito da realidade enfrentada pela grande maioria da Nação Brasileira e em especial pelo povo nordestino, tem me concedido uma vida repleta de felicidades e realizações, uma das quais, a oportunidade de realizar este mestrado.

**Aqueles que tiveram
a graça de alcançar o conhecimento,
devem responsabilizar-se com o
projeto de um mundo mais humano.**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO DA MANUTENÇÃO	1
1.2 O PERFIL DE MANUTENÇÃO NO BRASIL	2
1.3 A PREOCCUPAÇÃO COM O DESEMPENHO E SEGURANÇA AUTOMOBILÍSTICA	4
1.4 A MANUTENÇÃO DE FROTAS DE ÔNIBUS COLETIVO URBANO	5
1.5 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA MANUTENÇÃO	6
1.6 PERSPECTIVAS FUTURAS	10
1.7 PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO	12
1.7.1 <i>Propósito acadêmico</i>	13
1.7.2 <i>Objetivos derivados</i>	13
1.8 COMENTÁRIOS FINAIS	14
2 MANUTENÇÃO E SISTEMAS DE MANUTENÇÃO	16
2.1 INTRODUÇÃO	16
2.2 DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO	16
2.3 MODELAGEM DAS AÇÕES DE MANUTENÇÃO	17
2.3.1 <i>Manutenção centrada na confiabilidade (MCC)</i>	20
2.3.2 <i>TPM (Manutenção para a Produtividade Total)</i>	22
2.4 MEDIDAS DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO	24
2.5 ESTRUTURA DA MANUTENÇÃO	26
2.6 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO	28
2.6.1 <i>Definição de sistemas de manutenção</i>	28
2.6.2 <i>Posicionamento de um sistema de manutenção</i>	29
2.6.3 <i>Elementos de um sistema de manutenção</i>	30
2.6.4 <i>Sistemas de manutenção são sistemas de transformação</i>	34
2.7 COMENTÁRIOS FINAIS	36
2.7.1 <i>Projeto de um sistema de manutenção</i>	36
2.7.2 <i>Relação entre a manutenção e a mantinibilidade</i>	38
3 MANTENIBILIDADE	41
3.1 DEFINIÇÃO DE MANTENIBILIDADE	41
3.2 O PROJETO PARA MANTENIBILIDADE	43
3.3 MEDIDAS DE MANTENIBILIDADE	47
3.3.1 <i>Fatores de confiabilidade</i>	47
3.3.1.1 Medidas de freqüência de falha	49
3.3.1.2 Distribuições de freqüência (histogramas) e freqüência acumulada	49
3.3.1.3 Modelos de distribuição probabilísticos	50
3.3.1.4 Probabilidade de sobrevivência	51
3.3.1.5 Curvas de crescimento de confiabilidade	52

3.3.2 Fatores de manutenibilidade	52
3.3.2.1 Medidas de tempo de manutenção	52
3.3.2.2 Medidas de freqüência de manutenção	57
3.3.2.3 Medidas de custo de manutenção	57
3.3.2.4 Medidas de utilização de mão de obra de manutenção	58
3.3.3 Fatores de disponibilidade	58
3.3.3.1 Disponibilidade Inerente (A_i)	58
3.3.3.2 Disponibilidade Alcançada (A_a)	59
3.3.3.3 Disponibilidade Operacional (A_o)	59
3.3.4 Fatores de dependabilidade	60
3.3.5 Fatores humanos	62
3.3.6 Fatores de suporte logístico	62
3.3.6.1 Medidas de suprimento	63
3.3.6.2 Medidas de equipamentos de suporte e de teste	63
3.3.6.3 Medidas organizacionais e de pessoal	63
3.3.6.4 Medidas de instalação	64
3.3.6.5 Medidas de transporte e manuseio	64
3.3.6.6 Medidas de documentação	65
3.3.6.7 Fatores de recursos de computação e software	65
3.3.7 Fatores econômicos	65
3.3.7.1 Desdobramento da estrutura de custos	65
3.3.7.2 Estimativa dos custos desdobrados	65
3.3.7.3 Taxas inflacionárias	65
3.3.8 Fatores de eficácia	65
3.3.8.1 Eficácia do sistema	66
3.3.8.2 Eficácia de custo	66
3.4 COMENTÁRIOS FINAIS	66
4 METODOLOGIA DE PROJETO	68
4.1 INTRODUÇÃO	68
4.2 A METODOLOGIA DE PROJETO	70
4.3 PROJETO INFORMACIONAL	72
4.3.1 Definição das necessidades dos diferentes usuários	73
4.3.2 Conversão das necessidades em requisitos de usuários	75
4.3.3 Conversão dos requisitos dos usuários em requisitos de projeto	75
4.3.4 Conversão dos requisitos de projeto em especificações de projeto	77
4.4 PROJETO CONCEITUAL	78
4.4.1 Análise da estrutura de funções do sistema	79
4.4.2 Pesquisa sobre os princípios de solução	83
4.4.3 Síntese de alternativas de solução	83
4.5 PROJETO PRELIMINAR	84
4.5.1 Alocação de requisitos	85
4.5.2 Otimização, análises de mercado e viabilidade	86
4.5.3 Síntese do sistema	87
4.6 PROJETO DETALHADO	87
4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
5 PROJETO INFORMACIONAL	91
5.1 ETAPAS DO PROJETO INFORMACIONAL	91
5.1.1 Estudo preparatório	93
5.1.2 Identificação dos usuários do sistema de manutenção	98
5.1.3 Definição das necessidades de cada usuário em relação ao sistema de manutenção	98

5.1.4	<i>Conversão das necessidades em requisitos de usuários</i>	100
5.1.5	<i>Lista dos requisitos de manutenção</i>	101
5.1.6	<i>Relacionamento entre requisitos de usuários e requisitos de manutenção</i>	104
5.1.7	<i>Elaboração das especificações do sistema de manutenção</i>	105
5.2	COMENTÁRIOS FINAIS	107
6 PROJETO CONCEITUAL		108
6.1	OBJETIVO DO PROJETO CONCEITUAL	108
6.2	ELABORAÇÃO DA CONCEPÇÃO DE MANUTENÇÃO	109
6.3	ANÁLISE OPERACIONAL DA FROTA	110
6.3.1	<i>Diagramas de fluxos funcionais do sistema de operação da frota</i>	111
6.4	ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO	114
6.4.1	<i>Alternativas de solução para um sistema de manutenção</i>	115
6.4.1.1	Níveis de manutenção	116
6.4.1.2	Políticas básicas de reparo	118
6.4.1.3	Responsabilidade pela manutenção	119
6.4.1.4	Categoria básica de manutenção	120
6.4.1.5	Grau de especialização da mão de obra	121
6.4.1.6	Organização da estrutura	122
6.4.1.7	Sistema de gerenciamento	122
6.4.1.8	Sistema de aquisição e tratamento de dados	122
6.5	SÍNTESE DE CONCEPÇÕES DE MANUTENÇÃO	122
6.6	COMENTÁRIOS FINAIS	124
7 PROJETO PRELIMINAR		126
7.1	ANÁLISE FUNCIONAL DOS VEÍCULOS	128
7.1.1	<i>Árvore de montagens</i>	128
7.1.2	<i>Diagrama de fluxo funcional</i>	130
7.2	ANÁLISE DA MANTENIBILIDADE	131
7.2.1	<i>Estrutura lógica</i>	132
7.2.1.1	Análise de desempenho	132
7.2.1.2	Avaliação do projeto do veículo quanto a manutenção	135
7.2.1.3	Modelagem da gestão de manutenção	136
7.2.2	<i>Estrutura logística</i>	137
7.2.3	<i>Estrutura física</i>	138
7.2.4	<i>Estrutura humana</i>	138
7.3	OTIMIZAÇÃO DA ANÁLISE DA MANTENIBILIDADE	139
7.4	SELEÇÃO DA MELHOR CONCEPÇÃO DE MANUTENÇÃO	143
7.5	COMENTÁRIOS FINAIS	144
7.5.1	<i>Projeto detalhado</i>	144
8 ESTUDO DE CASO		146
8.1	PROJETO INFORMACIONAL	146
8.1.1	<i>Estudo preparatório, determinação dos usuários e identificação das suas necessidades</i>	146
8.1.1.1	Características do ramo de atividade	147
8.1.1.2	Características da organização	149
8.1.1.3	Características dos veículos	151
8.1.1.4	Características operacionais dos veículos	153
8.1.2	<i>Necessidades identificadas – síntese das três primeiras etapas</i>	155
8.1.3	<i>Conversão das necessidades em requisitos de usuários</i>	157
8.1.4	<i>Listar requisitos de manutenção</i>	158

8.1.5 <i>Relação entre requisitos de usuários e requisitos de manutenção</i>	158
8.1.6 <i>Elaboração das especificações</i>	159
8.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	160
9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	165
9.1 CONCLUSÕES	165
9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	170
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
ANEXO I: SUMÁRIO DAS TÉCNICAS DE MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO	176
ANEXO II: QUESTIONÁRIO AOS USUÁRIOS DE UM SISTEMA DE MANUTENÇÃO DE FROTA DE ÔNIBUS COLETIVO URBANO	178

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1:Localização dos defeitos técnicos causadores de acidentes em veículos por categoria(GRANDEL & BERG, 1990)	4
Figura 2-1:Métodos de manutenção (REYS, 1995)	18
Figura 2-2:Visão geral do processo de MCC (FLEMING & FRANÇA, 1997)	21
Figura 2-3: Diagrama de decisão - classificação das consequências dos modos de falha (FRANÇA, 1999)	23
Figura 2-4: Elementos de um sistema (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; CHIAVENATO, 1993)	30
Figura 2-5: Hierarquia de sistemas de um sistema de manutenção	33
Figura 2-6: Função total de sistemas de manutenção (adaptado do método da função síntese (BACK & FORCELLINI, 1997))	36
Figura 3-1: Efeito Iceberg – visibilidade do custo total de um produto (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	44
Figura 3-2: A interface da operação/manutenção com o ciclo de vida dos produtos (KELLY, 1989)	46
Figura 3-3: Medidas de mantinabilidade (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	48
Figura 3-4:Curvas de densidade de falha e densidade acumulada de falha	50
Figura 3-5: Curva de crescimento da confiabilidade (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	52
Figura 3-6: Medidas de tempo de manutenção (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	53
Figura 3-7: Transição de probabilidades entre estados operacional (S) e não operacional (F) (CLOUGH & PENZIEN, 1975)	60
Figura 4-1: Metodologia de projetos adotada no NeDIP (MARIBONDO <i>et al.</i> , 1999)	71
Figura 4-2: Etapas do projeto informacional (FONSECA, 1996)	74
Figura 4-3: Atributos de um produto (FONSECA, 1996)	76
Figura 4-4: Etapas do projeto conceitual (PAHL & BEITZ, 1996, VDI <i>apud</i> BACK & FORCELLINI, 1997; FERREIRA, M.; 1997)	78

Figura 4-5: Método da função síntese aplicado ao projeto conceitual de uma enfardadeira de papel para reciclagem (MATOS <i>et al.</i> ; 1997)	81
Figura 4-6: Diagrama de fluxo funcional proposto por BLANCHARD <i>et al.</i> (1995)	82
Figura 4-7: Etapas do projeto preliminar (BLANCHARD & FABRICKY, 1990)	84
Figura 4-8: Árvore de montagem de uma alocação de requisitos (BLANCHARD & FABRICKY, 1990)	86
Figura 4-9: Metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4-1)	89
Figura 5-1: Etapas do projeto informacional de um sistema de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4.2)	92
Figura 5-2: Composição dos requisitos operacionais (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	94
Figura 5-3: Simulação de análise de disponibilidade de uma sub-frota	97
Figura 5-4: 1 ^a Matriz do QFD - Casa da Qualidade (EUREKA, 1992)	105
Figura 6-1: Seqüência de etapas da fase conceitual (adaptado da Figura 4.4)	109
Figura 6-2: Fluxograma da distribuição operacional de uma frota de ônibus urbano de passageiros	112
Figura 6-3: Diagrama de fluxos de operação dos veículos de uma frota de ônibus urbano - nível 1 (adaptado da Figura 4.6)	113
Figura 6-4: Diagrama de fluxos da operação dos veículos de uma frota de ônibus urbano – nível 2 (adaptado da Figura 4.6)	113
Figura 6-5: Sistema de manutenção de frota de ônibus urbano – nível 3 (adaptado da Figura 4.6 e Kelly, 1989)	114
Figura 6-6: Variáveis de concepção de manutenção de sistemas de manutenção (adaptado de ABRAMAN, 1997; BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995; RIIS <i>et al.</i> , 1997)	117
Figura 6-7: Modelo de diagrama de decisão para avaliação preliminar da concepção de manutenção	124
Figura 7-1: Sequência de etapas do projeto preliminar de um sistema de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4.7)	127
Figura 7-2: Análise da composição da frota (Tabela 5.2)	128
Figura 7-3: Árvore de montagem de um ônibus chassis Scania F-113 (adaptado de SCANIA, 1995)	129

Figura 7-4: Diagramas de fluxo funcional de um ônibus, níveis 0 e 1 (adaptado SCANIA, 1995)	130
Figura 7-5: Análise da mantinabilidade (adaptado Figura 2.9)	132
Figura 7-6: Análise da mantinabilidade – composição da estrutura lógica da manutenção da frota	132
Figura 7-7: Análise da mantinabilidade - “Estrutura lógica / análise de desempenho” (adaptado de BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	133
Figura 7-8: Análise da mantinabilidade - “Estrutura lógica / avaliação do projeto do veículo quanto a manutenção” (adaptado de BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995)	136
Figura 7-9: Analise da mantinabilidade – “Estrutura lógica / modelagem da gestão de manutenção”	136
Figura 7-10: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura logística da manutenção da frota	137
Figura 7-11: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura física da manutenção da frota	138
Figura 7-12: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura humana da manutenção da frota	139
Figura 8-1: Casa da qualidade	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Variação da dependabilidade com a capacidade de reparos simultâneos num intervalo de tempo determinado(Equação 20) (BLANCHARD <i>et al.</i> , 1995).	62
Tabela 5-1: Check List para estudo preparatório de sistemas de manutenção de frota automotiva	95
Tabela 5-2: Exemplo de composição de uma frota (KELLY, 1989)	97
Tabela 5-3: Quesitos complementares a pesquisar junto aos usuários	99
Tabela 5-4: Típicos requisitos de usuários de sistemas de manutenção de frota	101
Tabela 5-5: Requisitos de manutenção de sistemas de manutenção	103
Tabela 5-6: Exemplo de Especificações de Sistemas de Manutenção	106
Tabela 6-1: Especialidade e qualificação envolvidas numa manutenção de frota	121
Tabela 7-1: Índices de desempenho de mão de obra	134
Tabela 7-2: Alguns exemplos de fatores mantenibilísticos com seus modelos de apropriação numérica	134
Tabela 7-3: Alguns exemplos de previsões mantenibilísticas aplicada a frotas com seus modelos de apropriação numérica	135
Tabela 8-1: Modelos de carroceria da frota	151
Tabela 8-2: Modelos de chassis da frota	152
Tabela 8-3: Composição da frota	154
Tabela 8-4: Requisitos dos usuários para o Sistemas de Manutenção	157
Tabela 8-5: Síntese dos requisitos do sistema de manutenção da frota	158
Tabela 8-6: Especificações do Sistemas de Manutenção	159
Tabela A: Questionário para Diretor de Operações	178
Tabela B: Questionários para Gerente de Manutenção	179
Tabela C: Questionário para passageiros	180

LISTA DE ABREVIATURAS

Aa – disponibilidade alcançada;

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ADT – atraso administrativo;

Ai – disponibilidade inerente;

Ao – disponibilidade operacional;

CCQ – círculo de Controle da Qualidade;

FATMA – Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente

f_{pt} – freqüência de preventiva;

FMEA – análise dos modos e efeitos de falha;

FTA – análise de árvore de falha;

ftp – função densidade de falha;

ILS – *Integrated Logistic Support* ou Suporte Logístico Integrado;

LDT – atraso logístico;

\bar{M} - tempo médio de manutenção efetiva;

MCC – manutenção centrada na confiabilidade;

MCE – manutenção corretiva de emergência;

\bar{M}_{ct} – tempo médio de manutenção corretiva efetiva;

\tilde{M}_{ct} - tempo mediano de manutenção corretiva;

MCR – manutenção centrada no reparo;

MDO – mão de obra;

MDT - tempos dos equipamentos parados devido a manutenção

M_{max} – tempo máximo de manutenção corretiva;

MMH/OS – tempo de manutenção em homem-hora por ação de manutenção;

MMH/OH - tempo de manutenção em homem-hora por hora de operação;

MMH/mês - tempo de manutenção em homem-hora por mês;

MMH/missão - tempo de manutenção em homem-hora por missão ou fase de missão;

MPC – manutenção corretiva planejada;

MPD – manutenção preditiva;

MPV – manutenção preventiva;

\bar{M}_{pt} – tempo médio de manutenção preventiva efetiva;

\tilde{M}_{pt} – tempo mediano de manutenção preventiva;

MTBD – tempo médio entre demanda;

MTBF – esperança matemática dos tempos entre falhas;

MTBM – tempo médio entre manutenções;

MTBM_u - tempo médio entre manutenções corretivas;

MTBM_s - tempo médio entre manutenções preventivas;

MTBR – tempo médio entre substituições;

MTFF – tempo médio até primeira falha;

MTTF – tempo médio até falha;

MTTR – tempo médio de restabelecimento;

NeDIP – Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos;

OEE – eficácia global dos equipamentos;

Pd – probabilidade de não estar apto durante um tempo “t”;

PIB – produto interno bruto;

Pu – probabilidade de estar apto durante um tempo “t”;

QFD - Quality Function Deployment;

RCM – reliability centered maintenance;

t – período de tempo;

TAT – *turnaround time* – tempo de giro de manutenção;

Td – tempo de inatividade de equipamento devido a manutenção corretiva;

Tm – tempo total de missão ou ciclo operacional;

TPM – manutenção para a produtividade total;

Vc – valor do consumidor;

VNRm – viagens não realizadas devido à manutenção;

VP – total de viagens programadas;

\$/mês – custo de manutenção por mês;

\$/OH – custo de manutenção por hora de operação do sistema;

λ - taxa de falha;

λ_s – taxa de falha total das combinações de todos os itens;

λ^* - taxa de falha de todas as combinações de todos os itens que podem ser reparados num intervalo de tempo designado.

RESUMO

As exigências de mercado vêm incentivando as empresas dos mais diversos ramos de atividade a reverem suas prioridades em manutenção. Nesta direção duas preocupações ganham ênfase: (1) o projeto de sistemas de engenharia com melhores características de mantinabilidade sem agregar maiores custos; (2) o gerenciamento de manutenção que assegure uma vantagem competitiva tanto em relação ao custo como em relação à qualidade da operacionalidade dos equipamentos. Sobre o segundo aspecto, novas alternativas têm sido desenvolvidas em prol da valorização do ciclo de vida dos sistemas de engenharia e, dentro deste conjunto de perspectivas, destaca-se a necessidade de *desenvolvimento de estruturas de decisão* que assegurem a integração dos métodos e das tecnologias aplicadas à manutenção, ao “*modus operandi*”, às particularidades da organização integrando a manutenção às necessidades estratégicas da empresa.

Neste sentido, esta dissertação propõe uma metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção, desenvolvida com base em metodologias de projeto de produtos industriais, já consagradas tais como, a metodologia de projeto apresentada por PAHL & BEITZ, BACK & FORCELLINI, BLANCHARD & FABRICK, entre outras, e pela análise junto aos conceitos de mantinabilidade. A intenção de focar em manutenção de frota automotiva é motivada pelos seguintes aspectos: (1) a necessidade de método para a manutenção de frota veicular; (2) os grandes dispêndios com os bens de capital (veículos) que destacam a função manutenção como crítica à competitividade das empresas frotistas; (3) a carência do setor quanto a qualificação nos processos de decisão e de execução das atividades relacionadas à manutenção. Como resultado, é esperada apresentar uma metodologia que contemple os objetivos propostos, afim de proporcionar o ajuste e a integração do setor de manutenção de frota veicular à contemporaneidade expressa no desenvolvimento dos próprios veículos.

ABSTRACT

The market demands come motivating the companies of the most several activity branches review its priorities in maintenance. In this direction two concerns win emphasis: (1) the project of engineering systems with best maintainability characteristics without joining larger costs; (2) the management maintenance that assures a competitive advantage so much in relation to the cost as in relation to the quality of the equipments operation. On the second aspect, new alternatives have been developed to better value the cycle of life of the engineering systems and, inside of these perspectives, it stands out the need of development of structures of decision that assure the integration of the methods and of the technologies applied to the maintenance, to the "*modus operandi*", to the particularities of the organization integrating the maintenance into the strategic needs of the company.

In this sense, this dissertation proposes a methodology for planning and structuring of maintenance systems, developed with base in methodologies of project of industrial products, already consecrated such as, the project methodology presented by PAHL & BEITZ, BACK & FORCELLINI, BLANCHARD & FABRICK, among other, and for the analysis close to the maintainability concepts. The attention concentrated on automotive fleet maintenance is motivated by the following aspects: (1) the need of method for the maintenance of vehicular fleet; (2) the great expenditures with the capital goods (vehicles) that highlight the function maintenance as critic to the competitiveness of the fleet companies; (3) the lack of the section as the qualification in the processes of decision and of execution of the activities related to the maintenance. As result, it is hoped to present a methodology that contemplates the proposed objectives, kindred of providing the adjustment and the integration of the maintenance department of vehicular fleet to the new technologies expressed in the development of the own vehicles.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto da manutenção

Com vistas à lucratividade, expansão e sobrevivência verifica-se nos últimos anos um aumento acentuado da competitividade que, aliado ao aumento da complexidade tecnológica, da dinâmica de mercados, do nível de cooperação e intercâmbio internacional e das tendências de *just-in-time*, flexibilização e agilidade da manufatura, tem exigido uma reavaliação da forma de gestão dos sistemas produtivos (PRADHAN, 1994; RIIS *et al.*, 1997).

Neste sentido, tem-se trabalhado em prol de uma maior integração do ambiente operacional, uma mudança cultural no comportamento da operação/produção e a racionalização das estruturas com o fim específico de alcançar melhores resultados de eficiência operacional global da organização que refletam em produtividade, redução de custos e qualidade de produçãoⁱ.

Neste contexto a manutenção destaca-se como peça fundamental. Cada vez mais as empresas têm exigido equipamentos com eficácia e eficiência condizentes com suas expectativas operacionais, quer sejam precisão, velocidade, confiabilidade, disponibilidade, segurança e custo. Assim, sob os preceitos da gestão da qualidade total, no que tange à continuidade e ao controle sobre os processos, sobre as perdas e custos produtivos, o estabelecimento de desempenhos adequados do maquinário torna-se fundamental.

Contudo, o planejamento tradicional da manutenção preventiva tem evidenciado uma incapacidade latente em satisfazer os requisitos da modernidade, originando a necessidade por uma mudança de paradigma na atividade de manutenção com forte impacto sobre seus métodos de gestão (FLEMING & FRANÇA, 1997; RIIS *et al.*, 1997).

Essa necessidade de mudança de paradigma tem objetivado estabelecer um diferencial competitivo sobre a concorrência, uma vantagem calcada sobre o desempenho da manutenção.

ⁱ(BLANCHARD *et al.*, 1995; FLEMING & FRANÇA, 1997; PRADHAN, 1994; RIIS *et al.*, 1997)

Esta deve ser vista, não como um mal necessário à organização, mas como um importante potencial para caracterização de uma vantagem competitiva frente a concorrência.

Nessa mudança de paradigma, duas vertentes de estudos têm sido processadas:

- ✓ A manutenção como uma consequência das características de projeto dos equipamentos. Ou seja a necessidade de aquisição de equipamentos que incorporem características de mantinabilidade em seu projeto e assim proporcionem bons índices de desempenho quando da operação/manutenção (BLANCHARD *et al.*, 1995; DIAS, 1996; MOUBRAY, 1997).
- ✓ A manutenção como uma função que deve estar integrada à atividade produtiva, ou seja: a necessidade de maior integração das metas de manutenção aos objetivos estratégicos globais da empresa e, consequentemente, da produçãoⁱ;

Atualmente, na prática, tem-se verificado o contrário:

- ✓ Há um certo distanciamento na elaboração das metas de produção e de manutenção o que pode gerar situações de incompatibilidade causando danos à competitividade. Muitos planejamentos de manutenção não consideram os aspectos característicos de cada organização e consequentemente seus objetivos globais. Ex.: metas de custo – a manutenção estabelece metas de custos anuais não compatíveis com as necessidades de produção acarretando em maiores gastos por perdas de produção ou não sucesso de objetivos maiores, globais;
- ✓ A manutenção somente começa a ser planejada após a compra, chegada dos equipamentos ao local de operação ou mesmo quando da primeira falha. Quando se é possível questionar a escolha de modelos similares, muitas vezes o último quesito a ser respondido, quando é mencionado, é o de desempenho operação/manutenção. Em muitos dos casos prioriza-se os aspectos financeiros da aquisição – condições de pagamento, preço e financiamento.

Em relação ao planejamento da manutenção, BLANCHARD *et al.* (1995) cita o efeito *iceberg* evidenciando a falta de visibilidade na análise dos custos do ciclo de vida pois, freqüentemente, somente há identificação dos custos associados com o projeto, desenvolvimento e manufatura (Figura 3.1).

1.2 O perfil de manutenção no Brasil

No Brasil, a ABRAMAN (1997) divulgou alguns dados importantes que retratam e ao mesmo tempo traçam perspectivas da manutenção no Brasil. O levantamento, amostral, referente

ⁱ (FLEMING & FRANÇA, 1997; KELLY, 1989; MOUBRAY, 1997; PRADHAN, 1994; RIIS *et al.*, 1997)

a 140 empresas de áreas diversificadas, englobando desde setores da produção a serviços, destaca como principais pontos:

- ✓ Observa-se um crescimento das organizações de manutenção mistas e descentralizadas em detrimento das centralizadas, embora esta última ainda represente a maioria com 42,5%;
- ✓ Perfil de instrução do pessoal próprio de manutenção: cerca de 6,3% do pessoal com nível superior; 14,8% de nível médio; 40,4% de pessoal qualificado; 38,5% de pessoal com qualificação inferior ou não qualificado;
- ✓ Mais de 50% das organizações de manutenção têm 03 níveis hierárquicos. O máximo de níveis identificados foram 06;
- ✓ Em média as empresas comprometem 4,39% de seu faturamento bruto com manutenção. Projetando sobre o PIB brasileiroⁱ, estima-se gastos anuais de R\$ 30 bilhões com manutenção no Brasilⁱⁱ;
- ✓ Os indicadores de desempenhos mais utilizados em ordem de freqüência são: custos, disponibilidade operacional, freqüência de falhas, satisfação do cliente, re-serviços. Em torno de 5% das empresas não utilizam indicadores de desempenhos.
- ✓ O índice médio de disponibilidade operacional é de 85,82%. Os oito melhores índices registrados têm a média de 92,75%.
- ✓ 12,4% não utilizam sistemas de qualidade na atividade de manutenção. Das 87,6% que utilizam, 33,3% informaram que o sistema é aplicado a todas as áreas da empresa.
- ✓ As ferramentas mais utilizadas para promoção da qualidade em manutenção por ordem de freqüência são: 5S (mais de 75%), TPM (30%), CCQ (18%), MCC (menos de 5%);
- ✓ Sobre o monitoramento da condição de funcionamento dos equipamentos, 30,6% monitoram manualmente (inspeção), 8,5% não monitoram, 10,1% utilizam de monitoramento automático *on line* e 50,08% realizam o monitoramento com coletores de dados e *softwares*;
- ✓ Em média, 20% do quadro de pessoal das empresas dedica-se à manutenção;
- ✓ A multi-especialização do pessoal de manutenção é praticada por 56% das empresas. Em apenas 11% das empresas o pessoal executa apenas uma tarefa específica;

ⁱ Estimativa sobre o PIB de 1996 – cerca de \$755 bilhões.

ⁱⁱ Estimativa sobre custos diretos: ver seção 3.3.2.3.

1.3 A preocupação com o desempenho e segurança automobilística

Em alguns países a preocupação com a avaliação dos veículos automotores é latente. Baseados em levantamentos realizados junto a frotas de países ou marcas, estão imputando melhorias ou mesmo sugerindo restrições tecnológicas legais ao desempenho confiabilístico dos veículos. Na Alemanha, pesquisas desenvolvidas sobre acidentes, constataram o grande número de veículos sinistrados com falha em algum sistema relacionado à segurança (Figura 1-1). O levantamento estatístico indica os freios como principal responsável por acidentes relacionados a defeitos mecânicos, seguido por pneus (GRANDEL & BERG, 1990). BRUNNER (1989) indica a necessidade de índices de confiabilidade acima de 99,99%, para um período de 10 anos, contra falhas catastróficas em sistemas relacionados à segurança veicular. Para tal sugere metodologias de análise e estimativa de vida para componentes mecânicos junto com uma ação coordenada da manutenção. A Chrysler Corporation, através do trabalho desenvolvido por HSIEH & LU (1990), desenvolveu um levantamento estatístico de desempenho dos seus veículos e implementou análises confiabilísticas, tendo, como resultado, o aumento de confiabilidade de seus produtos e a diminuição de reclamação dos usuários.

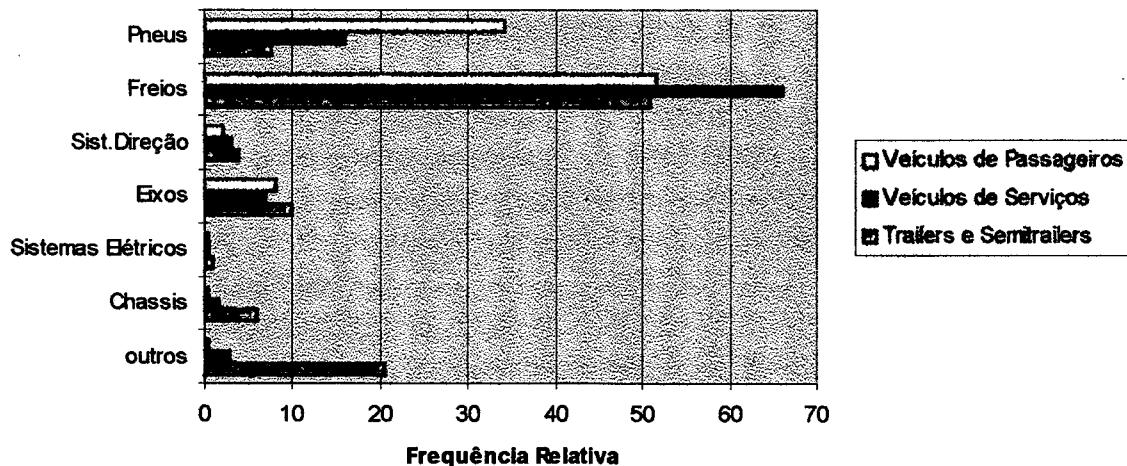


Figura 1-1:Localização dos defeitos técnicos causadores de acidentes em veículos por categoria na Alemanha (GRANDEL & BERG, 1990)

No Brasil, urge a necessidade de questionamentos criteriosos sobre os projetos automobilísticos principalmente com relação aos sistemas envolvidos com a segurança veicular. DIAS (1996) apresenta dados sobre acidentes nas rodovias federais ao tempo que sugere o levantamento dos dados de falha dos itens relacionados com a segurança veicular. Constatou a falta de bancos de dados e a consequente necessidade de sua formação para o questionamento

dos projetos automotivos. Comenta que há falta de dados para análise confiabilística dos automóveis.

1.4 A manutenção de frotas de ônibus coletivo urbano

Na experiência adquirida em 04 anos de convivência em empresa de transporte urbano de passageiros, através de consultorias e de um planejamento da manutenção, percebeu-se que, no setor de transportes, mais especificamente no ramo de coletivos urbanos, a necessidade de otimização dos recursos foi muito motivada pelo aumento das pressões da comunidade a partir do final dos anos 80. O processo de democratização e o amadurecimento da sociedade tem aumentado o questionamento quanto ao valor e à qualidade dos serviços prestados. A exigência de qualidade na prestação dos serviços tem forçado as empresas a manterem níveis de segurança, confiabilidade e conforto cada vez maiores sob pena de descrédito e consequente perda da concessão das linhas que servem a determinadas comunidades. A partir de meados dos anos 90, com a estabilização econômica, as empresas ficam forçadas a mudarem seu foco de atenção principal. O reajuste de tarifas fica mais difícil e os lucros mais escassos, assim o diferencial para o sucesso financeiro passa a estar “dentro da garagem”, na sua competência administrativa.

Neste enfoque, a manutenção ganha atenção especial. As empresas frotistas, que utilizam intensamente seus bens de capital, apresentam dispêndios imensos com investimentos em ativos. Portanto, há necessidade de otimização destes recursos que se reflete numa maior atenção não somente ao montante inicial destinado a sua aquisição, mas também aos custos subseqüentes relacionados à adequada operacionalidade (REYS, 1995). Cerca de 30 a 40% dos custos operacionais totais de uma empresa de ônibus urbano sofrem influência direta do desempenho satisfatório dos equipamentos e do suporte associado para mantê-los. Deste percentual os custos mais representativos são: combustível (50%), peças e acessórios (25%), mão de obra (15%) e pneus (10%).

Além da relação custo direto, percebe-se o alto grau de relacionamento entre o desempenho eficiente dos veículos e o sucesso logístico das pretensões operacionais. “Falhas podem afetar a pontualidade e confiabilidade de redes de transporte” (MOUBRAY, 1997), com reflexos sobre a qualidade da prestação do serviço e o faturamento. Assim constata-se a importância do setor de manutenção para a logística e competitividade – até mesmo sobrevivência – da empresa.

Porém, a realidade dos departamentos de manutenção destes frotistas, em geral, ainda é contraditória. A grande maioria das empresas gerenciam o departamento de manutenção da frota

sem o correto discernimento quanto às alternativas de metodologia a se empregar e com nível de treinamento e qualificação de pessoal reduzido – enfoque no aprendizado informal (prática) em detrimento do aprendizado formal (qualificação através de cursos e treinamentos). Nesta configuração tem-se:

- ✓ um ambiente cuja manutenção corretiva é fortemente utilizada devido a deficiência de emprego de ferramentas metodológicas e computacionais de auxílio ao correto tratamento dos dados desde a sistematização da coleta até a análise;
- ✓ deficiência de dados observados, base à atuação da engenharia de manutenção. Há a necessidade de um questionamento criterioso da confiabilidade, da estimativa de vida dos itens dos veículos e dos custos envolvidos na manutenção pois, atualmente, a renovação da frota é preconizada como meio alternativo à manutenção dos níveis de confiabilidade operacional exigidos pelo sistema de transporte de qualquer cidade;
- ✓ o não criterioso questionamento da configuração de projeto dos veículos e a consequente lentidão em avanços tecnológicos que melhorem as características operacionais e de mantinabilidade dos ônibus urbanos de passageiros.

É o que CAMPOS & BELHOT (199-) citam quando dizem que a manutenção de frotas é uma área marcada por forte empirismo, baixa qualificação do mão de obra, baixo nível de informatização, sistemas convencionais obsoletos e desatualizados em relação aos dados históricos, gerentes ocupados em muitas tarefas de caráter orgânicos faltando tempo para o efetivo gerenciamento.

Neste contexto, alguns grupos empresariais do ramo perceberam o “*gap*” competitivo que poderiam adquirir e têm investido na capacitação de seu corpo técnico, promovendo melhorias nos setores operacional e de manutenção. Como consequência, verificou-se nos últimos dez anos, a aquisição das empresas menos capacitadas, cuja preocupação tecnológica ainda não fora implementada, por aquelas que alcançaram algum diferencial competitivo.

1.5 Evolução histórica da manutenção

A história da evolução das técnicas e métodos de manutenção é um retrato da evolução das necessidades impostas à atividade por meio do aumento das exigências produtivas. Nesta seção será apresentado um breve histórico desta evolução e as circunstâncias que motivaram a aplicação das técnicas conhecidas na atualidade.

Até a II Guerra Mundial, a indústria não era muito mecanizada e possuía tecnologia bem mais simples, o que resultava em equipamentos fáceis de reparar e cujas formas de falha podiam

ser facilmente identificadas. Também nesta época, não haviam grandes pressões da produção sobre os equipamentos e, assim, o tempo de equipamento fora de operação não importava muito. Consequentemente, prevenir falhas não era prioridade. Simplesmente esperava-se a máquina quebrar para efetuar a ação de reparo: “*manutenção corretiva*”. Isto resultava na não necessidade de qualquer tipo de planejamento sistemático de manutenção, além de limpeza, lubrificação e rotinas de serviços. As necessidades de qualificação de mão-de-obra e estrutura de suporte, consequentemente, eram menores que hoje em dia (GERAGHTY, 1996; MOUBRAY, 1997).

Durante a II Guerra Mundial e nos anos subseqüentes, houve um aumento da demanda por todo tipo de produto, da diversidade, quantidade e complexidade de máquinas, resultando numa maior dependência da indústria em relação aos equipamentos. A indisponibilidade e as perdas de produção passam a afetar as exigências da produção o que gerou o conceito de preservar, não apenas o equipamento, mas fundamentalmente o processo de produção. A necessidade de continuidade do processo produtivo entrava em foco. Surgiam assim as medidas de prevenção à falha do equipamento - “*manutenção preventiva*”(GERAGHTY, 1996; MOUBRAY, 1997).

Também durante a II Guerra surgiu a preocupação com a logística de suporte dos equipamentos, o ILS (*Integrated Logistic Support*), motivada frente às altas taxas de indisponibilidade, devido à manutenção, verificadas na frota aérea norte-americana baseada na Grã-Bretanha (MOSS, 1985; PRADHAN, 1996).

Nos anos 60 a manutenção preventiva estava bem difundida porém, duas questões entravam em foco(GERAGHTY, 1996; MOUBRAY, 1997):

- ✓ o custo de manutenção começa a destacar-se em relação a outros custos operacionais, fator muito afetado pelas atividades de preventiva cujos programas requeriam grandes volumes de recursos;
- ✓ e o fracasso do modelo de preventiva em tornar os equipamentos totalmente confiáveis. Não era possível controlar a taxa de falha cujos modos de falhas não eram, unicamente, dependentes do tempo.

Neste questionamento, duas observações foram feitas em estudos realizados na aviação norte-americana(GERAGHTY, 1996):

- ✓ revisões programadas tem pouco efeito na confiabilidade total de um equipamento complexo, a menos que exista um modo de falha predominante;
- ✓ existem muitos equipamentos para os quais não há forma efetiva de programar manutenções.

Questionou-se então as manutenções preventivas como eram realizadas – em intervalos fixos de tempo – e que desprezavam as influências operacionais e ambientais em muitos modos de falha. Observou-se que em muitos casos o método de ação gerava significativas perdas de vida dos componentes, o que significava desperdício de recursos e aumento do volume de trabalho.

Assim, surgia a necessidade de prevenir a falha de uma forma mais eficiente, não em intervalos fixos no tempo, mas variando os intervalos de intervenção através da análise da condição de funcionamento do equipamento: “*manutenção preditiva*”. Nos anos 70 e 80, a alternativa de monitoramento da condição ganha ênfase e com ela uma gama de técnicas de avaliação do estado operacional (Anexo I). Na preditiva, os sinais de falha são monitorados e assim o momento da ação de manutenção é aproximado do momento de colapso, consequentemente, há um melhor aproveitamento da vida dos componentes e dos recursos de manutenção(GERAGHTY, 1996).

Neste momento, o aumento da quantidade de variáveis a serem gerenciadas era tal que percebeu-se a necessidade por *sistemas de planejamento e controle de manutenção* (MOUBRAY, 1997).

A partir dos anos 70, o processo de mudanças na indústria toma maior impulso. Há um aumento da complexidade dos sistemas produtivos e uma demanda crescente por alto nível tecnológico. A concorrência acirra-se e com ela a busca pela competitividade toma ênfase. Neste momento uma palavra resumia tudo: otimização - otimizar custos, otimizar processos e outros.

A soma do capital empregado em bens imóveis junto com um aumento acentuado do custo de capital gerou a necessidade de maximizar a vida dos equipamentos. Os custos de manutenção ocupam, em diversos setores, o segundo, senão, o principal elemento dos custos operacionais (MOUBRAY, 1997). A preocupação com as perdas por não produção ganha mais enfoque pois, a medida que a filosofia do *just-in-time* se desenvolve, há uma redução dos estoques a níveis de utilização quase instantânea e assim, qualquer interrupção do fluxo produtivo, em qualquer ponto do processo de manufatura, passa a ocasionar grandes paradas em toda a planta. As falhas de planejamento de produção e manutenção tornam-se mais evidentes e com consequências mais sérias. Contudo, mesmo sendo uma técnica poderosa, observa-se a incapacidade da preditiva em resolver todos os problemas de manutenção(GERAGHTY, 1996).

Neste contexto, cresce em interesse a “*Manutenção para a Produtividade Total (TPM)*” com objetivo de eliminar as perdas crônicas e identificar as potenciais fontes de desperdício por meio de atuação no modelo organizacional. A meta é de atingir a quebra-zero ou defeito-zero durante a operação dos equipamentos.

Entre os anos 70 e início dos anos 80, a disseminação da mecanização e da automação, em consequência da expansão da indústria automotiva, relacionaram ainda mais as falhas aos padrões de qualidade. As novas tecnologias alteraram e diversificaram o comportamento dos modos da falha de um componente para outro. Além disso há a pressão das indústrias automobilísticas sobre os fornecedores de autoparças e a entrada dos produtos japoneses com os conceitos de TQM (*Total Quality Management*) (MOUBRAY, 1997).

Neste contexto, são introduzidos os conceitos de confiabilidade e disponibilidade nos mais diversos setores. As questões de segurança humana e ambiental ganham destaque pois as falhas acarretam riscos cada vez mais sérios. Há um aumento rápido das regulamentações de padrões de segurança nesta área, inclusive através do cerceamento da operação no caso de falta de garantia de segurança. Ao mesmo tempo, a medida que a magnitude de nossa dependência de bens físicos cresce, também há uma relação direta com os custos. Isto resulta numa tal dependência em relação à integridade dos equipamentos que vai além da gestão de custos e torna-se um problema de *sobrevivência organizacional*. A manutenção passa a ser um diferencial competitivo entre as empresas (McANDREW, I & O'SULLIVAN).

Assim, objetivando a garantia da segurança operacional, qualidade e do meio ambiente em oposição ao controle rígido dos custos, iniciou-se um questionamento acerca da necessidade de fazer prevenção e monitoramento da condição de forma generalizada nos modos de falha do equipamento. Este questionamento gerou uma mudança de foco em relação à preservação e prevenção que diferenciou a atuação da manutenção de componente para componente de equipamento. Antes o foco estava no equipamento – a preservação da continuidade dos processos produtivos pela preservação dos equipamentos. A partir de então o foco mudava para a função que o equipamento desempenhava - a preservação da continuidade dos processos através da preservação da função do equipamento.

Quem primeiro percebeu estes aspectos, para assegurar alta confiabilidade e disponibilidade às aeronaves, a um custo compatível, foi a aviação militar dos Estados Unidos, ainda durante a Segunda Guerra Mundial (DIAS, 1996; FLEMING & FRANÇA, 1997; MOUBRAY, 1997). Já no início dos anos 60, a aviação civil descobriu a grande vantagem que poderia obter com a aplicação deste questionamento devido a uma criticidade latente da época: a falha simples de alguns componentes causava grandes desastres (GERAGHTY, 1996).

Estabelece-se assim a manutenção baseada na confiabilidade do equipamento em cumprir sua missão, a MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) ou RCM (*Reliability Centered Maintenance*). A nova abordagem objetiva estabelecer um processo racional e sistemático de

análise do desempenho dos equipamentos visando a definição das ações de manutenção sobre os equipamentos de forma a garantir confiabilidade e segurança operacional com otimização de custos (FLEMING & FRANÇA, 1997).

Assim, nas últimas três décadas, duas abordagens inovadoras, estratégicas, de gestão de manutenção cresceram em interesse pois refletem a preocupação com a competitividade das empresas: a TPM e a MCC. A aplicação isolada de qualquer destas sistemáticas têm proporcionado a várias indústrias ganhos de produtividade e qualidade, com menores custos globais de manutenção. Contudo já há discussões da implantação conjunta das duas sistemáticas em prol de ganhos ainda maiores (FLEMING & FRANÇA, 1997; PRADHAN, 1994).

1.6 Perspectivas futuras

Verifica-se que o aumento severo da competitividade, dos custos, riscos e complexidade do maquinário, observada nas últimas três décadas, motivaram a exigência de uma mudança de paradigma da atividade de manutenção. PRADHAN (1994) define bem o problema e a necessidade de análise criteriosa das metas. Relata que, antes, uma mescla das práticas usuais de manutenção, tais como preventiva e preditiva programada, corretiva, monitoramento de lubrificação, sistemas gerenciais manuais ou informatizados, dentre outras, fornecia a confiabilidade básica necessária. Porém, na nova configuração, quando o custo de manutenção é de importância crítica para a definição do lucro/prejuízo e quando se exigem maiores expectativas de disponibilidade e confiabilidade para todos os equipamentos, torna-se necessário uma abordagem mais coordenada.

RIIS *et al.* (1997) cita a manutenção como a última fronteira dos sistemas de manufatura. Em estudos de *benchmarking* em empresas da Escandinávia e Estados Unidos sugerem, dentre outras necessidades, que: se desenvolvam objetivos claros de manutenção, se definam variáveis chaves para medição e controle das atividades de manutenção, se assegurem maior interface entre manutenção e a produção, descentralizem algumas atividades de manutenção, melhorem o treinamento, se caminhem em direção a sistemas de manutenção informatizados e se investiguem melhores métodos de manutenção.

Constata-se que a manutenção baseada na experiência dará lugar à baseada no conhecimento, através do uso intenso de dados e informações.

Assim, dentro destas necessidades, motivadas pelo grau de influência do desempenho satisfatório dos equipamentos sobre a competitividade das organizações, novas alternativas têm

sido desenvolvidas em prol da valorização do ciclo de vida dos equipamentos (MOUBRAY, 1997). Como perspectiva futuras, destacam-se os desenvolvimentos nas áreas de:

- ✓ ferramentas de suporte de decisão: tais como análise de risco, FMEA e sistemas especialistas (MOUBRAY, 1997; RIIS *et al.*, 1997);
- ✓ desenvolvimento de novos métodos e tecnologias: para o planejamento de manutenção e monitoramento da condição (FINLEY, 1992; MOUBRAY, 1997; RIIS *et al.*, 1997);
- ✓ maior atenção ao projeto dos equipamentos: com maior ênfase na confiabilidade e mantinabilidade. Partem da premissa que são as características de mantinabilidade, impostas à configuração de projeto, que determinarão a carga de manutenção requerida na fase de operação (BLANCHARD *et al.*, 1995; DIAS, 1996; FINLEY, 1992; MOUBRAY, 1997).
- ✓ Mudanças organizacionais: maior participação, trabalho de equipe e flexibilidade, maior capacitação técnica (engenharia de manutenção, engenharia de confiabilidade, técnicos especializados substituindo o corpo atual (supervisão, supervisão geral). O objetivo será atuar sobre o modo de falha, buscando evitá-lo ou prolongando o intervalo entre falhas. Os executantes terão maior autonomia e a função de supervisão será bastante reformulada: passará a ser de gerência de programação apoiada sobre estruturas de comunicação, computadores, banco de dados, documentação técnica e peritos externos (FINLEY, 1992; MOUBRAY, 1997; PRADHAN, 1994).
- ✓ Informatização: a coleta de dados, as análises, técnicas e capacidade de suporte de computação, juntamente com os *softwares*, serão mais claros, poderosos e úteis. Os sistemas de gerência serão mais orientados para as falhas, mudando o foco do trabalho realizado (ordens de serviços, cronogramas, horas de trabalho) para o evento em si (componente que falhou, causa de falha, o que fazer para eliminar a causa ou aumentar o intervalo entre falhas). Relatos e análises estruturadas de falhas serão parte essencial dos programas de manutenção. Os banco de dados serão relacionais, ou seja, com maior aptidão de analisar dados e determinar relacionamentos de causa e efeito. Os sistemas de gerenciamento não mais limitarão a capacidade e centralização gerencial das organizações de manutenção, o que refletirá nos modelos de contratação de serviços de manutenção (FINLEY, 1992; RIIS *et al.*, 1997). Em frotas, CAMPOS & BELHOT (199-) descrevem a evolução dos sistemas de tratamento de informação através do uso de equipamentos interligados em rede, ambiente gráfico de operação (Windows), modelos inteligentes oferecendo verdadeiras soluções e não apenas soluções sistêmicas, sigilo e discriminação de acesso às informações.

- ✓ Desenvolvimento de estruturas de decisão: estruturas mais abrangentes para assegurar que os métodos e tecnologias estejam integrados ao “*modus operandi*” da organização; que integrem a atividade de manutenção aos desejos estratégicos das empresas; que promovam o relacionamento das metas de manutenção às estratégias globais das empresas em relação à melhoria da qualidade e o uso da manutenção com potencial competitivo frente à concorrência. Vêem como principal desafio das pesquisas do gerenciamento da manutenção, o desenvolvimento de novos modelos e métodos que considerem os itens citados acima e solucionem o distanciamento entre os objetivos de manutenção e as estratégias corporativas. Do contrário há a real possibilidade que os novos métodos e tecnologias para gerenciamento de manutenção tornem-se ilhas de automação que não irão proporcionar qualquer retorno significativo à melhoria da performance organizacional. A escolha correta das técnicas mais ajustadas às reais necessidades da organização possibilita melhorar a performance dos equipamentos ao mesmo tempo de conter ou mesmo reduzir os custos de manutenção. A escolha errada gerará novos problemas enquanto os antigos permanecerão (BLANCHARD *et al.*, 1995; PRADHAN, 1994; RIIS *et al.*, (1997); SUTTON, 1995).

1.7 Proposta da dissertação

Um dos pontos destacados como perspectiva futura é a necessidade de desenvolvimento de estruturas que proporcionem uma visão sistêmica para a análise e projeto da atividade de manutenção. Em termos gerais, discute-se que se uma manutenção pretende ser implementada com sucesso deve respeitar as particularidades intrínsecas a cada organização, suas necessidades por manter os equipamentos. Deve ponderar as consequências da introdução de novas técnicas de manutenção nas perspectivas de comportamentos individuais e coletivos, na estrutura de decisão e na estrutura organizacional existente de forma que as mudanças requeridas não impeçam a utilização na totalidade do novo sistema de manutenção. Tal abordagem busca desenvolver uma nova alternativa de manutenção a ser implementada com a devida interface com os objetivos globais corporativos.

Assim, dentro desta perspectiva das manutenções em geral, e considerando a necessidade de desenvolvimento de mecanismos que auxiliem a otimização da operacionalidade, manutenção e segurança dos veículos automotivos, esta dissertação tem por proposta:

ELABORAR UMA METODOLOGIA DE PLANEJAMENTO E ESTRUTURAÇÃO DE SISTEMAS DE MANUTENÇÃO DE FROTA AUTOMOTIVA

A metodologia proposta deve servir de meio para estruturar, organizar e sistematizar manutenção de frotas. Deve atuar como uma ferramenta sistêmica que estruture o processo de decisão na busca de manutenções integradas às necessidades organizacionais e que se constituam em uma vantagem competitiva da organização frente à concorrência.

A metodologia é desenvolvida com base na metodologia de projeto de produtos industriais utilizada nos trabalhos do NeDIP, que abarca as propostas, já consagradas, de diversos autores como as apresentadas por PAHL & BEITZ, BACK & FORCELLINI, BLANCHARD & FABRICK, dentre outras, incluindo, de forma particular, o conceito de mantinabilidade e manutenção.

A intenção de focar em manutenção de frota automotiva é motivada pelos seguintes aspectos: (1) a necessidade de método para a manutenção de frota veicular; (2) os grandes dispêndios com os bens de capital (veículos) que destacam a função manutenção como crítica à competitividade das empresas frotistas; (3) a carência do setor quanto à qualificação nos processos de decisão e de execução das atividades relacionadas à manutenção.

1.7.1 Propósito acadêmico

Dentro da proposta principal de elaborar a metodologia, existe uma motivação acadêmica para desenvolvimento do trabalho: enfocar todas as análises relacionadas ao planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frotas. Neste direcionamento, objetiva apresentar, de forma ampla, as análises em detrimento da profundidade de estudos muito específicos.

Portanto esta dissertação objetiva ser um trabalho abrangente que evidencie todas as análises necessárias para estruturar um sistema de manutenção aplicado a frota, indicando fases, etapas, tarefas e algumas ferramentas que deverão ser melhor desenvolvidas em trabalhos futuros.

1.7.2 Objetivos derivados

Sobre o objetivo principal da dissertação, objetivos derivados se associam. Deseja-se que a metodologia proposta:

- a) sirva de ferramenta de decisão para que empresas frotistas promovam a integração da atividade de manutenção aos objetivos e metas corporativas através da consideração de suas particularidades intrínsecas;

- b) indique quais os métodos e técnicas de manutenção que se aplicam e quais não se aplicam a uma determinada organização e sua frota;
- c) proporcione maior rapidez e profundidade de planejamento sobre os sistemas de manutenção;
- d) possibilite a avaliação do desempenho dos veículos quanto aos índices de mantinabilidade e confiabilidade e, assim, auxilie os projetistas na incorporação contínua de melhores características operacionais em novos modelos de veículos;
- e) gere métodos de análise das características de mantinabilidade que reflitam na política de renovação dos veículos;
- f) determine quais os fatores a serem considerados quando da análise do presente *status* da manutenção de uma organização;
- g) sirva de parâmetro para discussões futuras sobre projeto para mantinabilidade, já que nesta dissertação estão sendo discutidos todos os fatores relacionados à mantinabilidade de sistemas de engenharia.

1.8 Comentários finais

Em suma, o objetivo é a busca de um modelo de manutenção que proporcione uma vantagem competitiva para empresas frotistas. Nesse sentido a sistematização das metodologias, das normas e procedimentos compõem um conjunto de informações que podem gerar essas vantagens.

A dissertação se estrutura em 9 capítulos. Neste primeiro, foi exposto o contexto em que a atividade de manutenção se estabelece e as necessidades oriundas das atividades que relacionam frotas. Foi apresentado um breve histórico da evolução das técnicas e algumas perspectivas de desenvolvimentos futuros na área.

No capítulo 2, são apresentadas as definições e as variáveis de análise mais comuns relacionados à atividade de manutenção. Em tempo, é discutido o conceito de sistemas de manutenção, cuja compreensão é fundamental para compreender os conceitos dos modelos de manutenção e expandir as análises às estruturas humana, física, lógica e logística necessárias ao suporte ideal e consequente execução otimizada das ações de manutenção.

No capítulo 3, são apresentadas as definições, o estado da arte e as variáveis relacionadas à mantinabilidade e projeto para mantinabilidade.

No capítulo 4, é apresentada a metodologia de projeto de produtos empregada como meio para planejar e sistematizar sistemas de manutenção.

No capítulo 5, inicia-se a discussão, propriamente dita, da metodologia de planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota. Neste, é apresentado o projeto informacional, onde é realizado o tratamento das informações que motivam a atividade de manutenção numa empresa, concluindo pela lista de especificações, as metas e objetivos a serem atingidos.

O capítulo 6 realiza as análises para definição de concepções de manutenção. Ou seja, a formulação de potenciais soluções, gerais, para o problema de manutenção da organização.

No capítulo 07 é executado o detalhamento das análises anteriores. Propõe-se inicialmente os estudos da funcionalidade e da configuração de projeto dos veículos que serão mantidos – análise funcional – e, a partir destes, é realizada a análise da mantinabilidade de cada subsistema dos veículos. A seguir são realizadas análises de otimização visando compor a estrutura de recursos e planejamentos para toda a frota. Finaliza pela conclusão do que é necessário para manter a operacionalidade da frota com eficiência de custo.

No capítulo 08 é apresentado um estudo de caso através da aplicação da primeira fase – projeto informacional – em uma frota de ônibus coletivo urbano localizada na cidade de Florianópolis. Como, pelo propósito acadêmico, a dissertação concentrou esforços em elaborar a metodologia, o estudo de caso não objetivou atingir resultados com profundidade. Objetivou apenas testar a metodologia dentro das análises gerais indicadas.

A restrição do estudo de caso à execução apenas do projeto informacional é decorrente de dois motivos: (1º) devido a opção de concentração no desenvolvimento da metodologia, pouco tempo ficou disponível para a execução total do estudo de caso; e (2º) a falta de dados observados de desempenho dos veículos da empresa contratada o que retardaria as análises.

No capítulo 09 são apresentadas as conclusões sobre o cumprimento dos objetivos principal e derivados e as sugestões para desenvolvimento de novos trabalhos.

2 MANUTENÇÃO E SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

2.1 Introdução

A manutenção é um reflexo da tecnologia. Acompanha a complexidade desta ou, pelo menos, deveria acompanhar. Contudo, nem sempre isto ocorre porque, algumas vezes, incorporam-se tecnologias exógenas, que dificultam a interação com as tecnologias comumente usadas na engenharia.

Na manutenção de frotas, por exemplo, a engenharia de manutenção relaciona-se com outros conhecimentos, algumas vezes distantes com o que se considera de tecnologia mecânica, elétrica ou afins. DOLCE (1998) resume bem este relacionamento quando lista as possíveis áreas de conhecimento e qualificações de um gerente de manutenção de frota: compras, contabilidade, gerenciamento de oficina, gerenciamento corporativo, análise financeira, processamento de dados, estatística, segurança, negociações de relações trabalhistas, administração de pessoal, descarte de veículos, leis federais, estaduais e municipais, seguros e taxas e conhecimentos práticos.

Além da incorporação de outras tecnologias, contemporaneamente, nos últimos 20 anos, a função manutenção evolui da função conservar (consertar, reparar, preservar a operação) para a função de manter (preservar a função do equipamento). No cumprimento da nova função (manter) critérios e prioridades sujeitaram os equipamentos a diferentes metodologias objetivando a busca de uma atividade otimizada que garantisse uma vantagem competitiva sustentável (REYS, 1995).

2.2 Definição de manutenção

A manutenção é definida como:

- ✓ série de ações necessárias para restaurar ou manter um item num estado operacional efetivo (BLANCHARD & FABRICKY, 1990);

- ✓ combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar sua função. Pode incluir a modificação de um item (ABNT, 1994).

Verifica-se que o conceito de manutenção refere-se às ações cujo objetivo é manter ou restaurar algum item. Assim refere-se ao modo de atuar, em executar tarefas, ou até mesmo proporcionar a alteração da configuração de projeto de um item (ABNT, 1994).

RISS *et al.* (1997) considera como tarefas principais de manutenção: isolamento de falha, detecção de falha, diagnóstico de falha, reparo, substituição, revisão, calibração e teste, lubrificação de um componente, controle de inventário e sobressalente, análise estatística de falha e de dados observados da manutenção, determinação de cronogramas de inspeção e métodos. Eles dividem estas 12 principais tarefas em:

- ✓ *Parte técnica*: os produtos da manutenção, ou seja, os diversos tipos de serviços; a especificação dos métodos e qualidade dos trabalhos; os recursos da manutenção (equipamentos, informações, contratação de serviços); o planejamento do estoque de sobressalentes e reparos; e a atividade de controle;
- ✓ *Parte humana*: os relacionamentos internos com os outros departamentos e seções, especialmente com a produção; os relacionamentos externos (autoridades locais, imprensa, organizações de trabalho, compradores, vendedores, vizinhança,...) principalmente em relação a questões ambientais e de segurança; e a organização da função manutenção através do seu projeto, seleção de pessoal, relacionamentos entre os grupos de qualificação, responsabilidades e autoridades.
- ✓ *Parte econômica*: as estruturas da manutenção através da delegação de responsabilidades, estrutura da área, relação com o sistema de contabilidade, especificações de base (desenhos, documentação); a economia da manutenção através do controle econômico da manutenção, a estimativa de custos, compras, fluxo de caixa, contabilidade da manutenção, investimentos na planta e financiamentos; e a análise do custo-benefício da economia da produção *versus* economia da manutenção.

2.3 Modelagem das ações de manutenção

Segundo seus propósitos, restaurar um sistema ao seu estado operacional e prevenir a ocorrência de falhas, a manutenção pode ser classificada em duas categorias: corretivas e preventivas (BLANCHARD *et al.*, 1995). Mais detalhadamente, REYS (1995) classifica os métodos de ações de manutenção em planejados e não-planejados (Figura 2-1). As ações

planejadas são compostas de: MPC (manutenção corretiva planejada), MPV (manutenção preventiva), e MPD (manutenção preditiva). As ações não-planejadas resumem-se às MCE (manutenções corretivas de emergência).

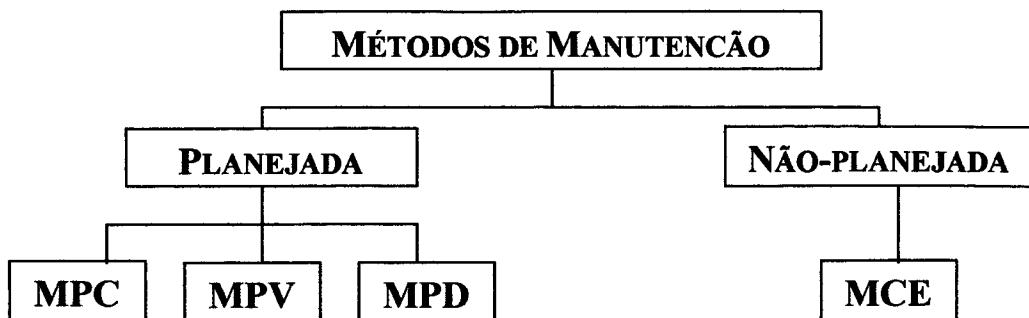


Figura 2-1:Métodos de manutenção (REYS, 1995)

A manutenção corretiva de emergência (MCE) se caracteriza por ser realizada após a falha gerando uma situação insustentável de prejuízo à produção, ao equipamento e/ou à segurança. Se caracteriza por não possuir planejamento e assim, arca com as perdas e consequências da não programação. É a manutenção que gera mais danos ao equipamento, ao processo de produção e à condição de segurança. Em frotas, as MCE's são originadas por falhas ocorridas em veículos que já estão disponíveis à operação, quer este:

- ✓ esteja na garagem, momentos antes do horário programado para operar, resultando em substituições de veículos, atrasos na programação, horas extras de mecânicos e *stress* no ambiente de trabalho;
- ✓ esteja fora da garagem, quando em pleno cumprimento das missões, resultando em deslocamento de equipe de manutenção ao local de operação e consequente não cumprimento da programação e suas consequências derivadas, baixo nível de utilização da mão de obra, maiores dispêndios de recursos de manutenção e *stress* no ambiente de trabalho.

Deve-se observar entretanto que, nem todos os modos de falhas, geram situações de emergência, ou seja, pode ser admitido o equipamento falhar para então ser realizada a intervenção da manutenção. Para isto, deverá ser considerado além das consequências da falha, parâmetros de disponibilidade e mantinabilidade do equipamento. Neste caso toma lugar a manutenção corretiva planejada (MCP). Nesta, a falha não acarreta maiores consequências à produção e à condição de segurança, além da simples troca de componentes falhos, para após, o sistema retornar a uma condição bastante melhorada ou original – “tão bom quanto novo”.

Contudo o valor do melhoramento deve ser determinado na prática pois tende a diminuir com o passar do tempo. Em manutenção de frotas as MCP's se caracterizam:

- ✓ pelos serviços executados durante as revisões periódicas dos veículos nas quais são substituídos os componentes em falha;
- ✓ pela troca de componentes em falha detectados durante as inspeções de recolhimento dos veículos à garagem ou outras inspeções rotineiras previstas do plano de manutenção da frota;
- ✓ pelos serviços originados de solicitações dos motoristas ou supervisores de manutenção e que devam ser executadas de imediato – sem planejamento - pois caracterizam uma situação de insegurança e/ou incapacidade operacional dos veículos.

A manutenção preventiva (MPV) é realizada para manter a função do sistema em condições compatíveis com o nível requerido de desempenho e confiabilidade (BILLINTON & ALLAN, 1983). Neste tipo de ação, efetuam-se regulagens, ajustes, lubrificações e troca de componentes antes da falha ocorrer (LEWIS *apud* DIAS, 1996). Neste sentido, procura reduzir-se a probabilidade de falha ou a degradação da condição operacional. Em manutenção de frotas as MPV's se caracterizam pelos serviços de regulagens, ajustes, lubrificações e troca de componentes executados durante as revisões periódicas ou em intervalos regulares de distância percorrida (quilometragem).

As tarefas de manutenção preventiva são, assim, realizadas através de inspeções periódicas. Segundo LEAKE *apud* DIAS (1996) como resultado de diversos estudos, foi determinado que para se obter o intervalo ótimo entre missão de preventivas é preciso basear-se na condição operacional do equipamento, tais como:

- ✓ idade cronológica;
- ✓ tempo de operação;
- ✓ condição operacional;

As duas primeiras categorias também são classificadas como manutenção preventiva baseada no tempo. A última categoria é classificada também como manutenção preventiva baseada na condição ou manutenção preditiva (MPD). Tem por enfoque o monitoramento da condição de operação dos equipamentos de forma a ser detectado qualquer sintoma de anomalia. Este monitoramento é razão, em muitos casos, da máquina apresentar sintomas antes da falha, ou seja, antes de perder a capacidade de desempenhar a função requerida (ABNT, 1994), e, assim, uma análise ou medição pode permitir o reconhecimento precoce desse sintoma e permitir a previsão da interrupção operacional. No Anexo I estão tabeladas as técnicas mais comuns em monitoramento da condição com seus custos estimados em libras inglesas.

A seleção da melhor alternativa para cada modo de falha deve ser condicionada por aspectos de segurança, de custos e técnicos, ao ponto que, garantida a condição de segurança e desempenho técnico pretendido, pode ser economicamente mais vantajoso deixar o componente entrar em falha do que provocar uma suspensão em sua operação. Isto será função de vários fatores, tais como: custo de reparo; influência do componente na operação do sistema e influência da falha do sistema à produção; influência do componente na falha de outros componentes do sistema; tempo de reparo; e disponibilidade de mão de obra.

Isto significa que o custo envolvido com o aumento da disponibilidade pode não ser vantajoso. São as análises de falha (FTA e FMEA principalmente), a análise confiabilística e dos custos envolvidos que determinarão o procedimento mais correto. Para tal, há a necessidade de estimar tanto as consequências da falha como as taxas de falha, a disponibilidade e a confiabilidade dos sistemas.

Com o fito de sistematizar e direcionar o processo de decisão quanto às melhores alternativas de ação, duas sistemáticas estratégicas de gerenciamento e análise das atividades de manutenção vem num crescente uso: a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) e a TPM (*Total Productive Maintenance*) (GERAGHTY, 1996).

2.3.1 Manutenção centrada na confiabilidade (MCC)

A MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade), ou RCM (*Reliability Centered Maintenance*), é uma sistemática que visa manter a confiabilidade inerente de qualquer sistema a um custo compatível. Busca promover a modelagem entre os métodos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva e o reprojeto dos equipamentos a fim de implementar um equilíbrio entre a disponibilidade, confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos a um custo de manutenção equilibrado com as metas organizacionais. Estabelece uma estratégia de manutenção para cada sistema, ao tempo que identifica pontos chaves para implementação de melhorias nos projetos futuros. Ou seja, como sistemática adota duas linhas de ações que definem muito bem seus propósitos (MOUBRAY, 1997; PRADHAN, 1994; PRADHAN, 1996; SMITH, 1993):

- ✓ a avaliação do desempenho da mantinabilidade dos equipamentos/sistemas e identificação de pontos não satisfatórios para consequente definição de requisitos de reprojeto ou mesmo projeto de modelos mais avançados;
- ✓ a modelagem das atividades através da seleção do método de manutenção mais eficaz para cada modo de falha preponderante identificado.

A MCC tem por critério a preservação da função do sistema prioritariamente à preservação do equipamento. Para tal, conduz uma sequência de análises que inicia por uma definição do sistema que será mantido, através da análise funcional, prossegue pela definição das funções operacionais e das falhas funcionais do sistema e de seus modos de falha, ou seja, de como os sistemas deixam de cumprir suas funções operacionais (através de FMEA's), pela priorização das falhas funcionais de acordo com suas consequências econômicas, operacionais, de segurança e ambientais e finda pela a seleção dos métodos de manutenção aplicáveis com eficiência de custo, por meio de diagramas de decisão (FLEMING & FRANÇA, 1997; MOUBRAY, 1997; SMITH, 1993; SUTTON, 1995). A Figura 2-2 mostra uma visão geral da sequência de análises da MCC.

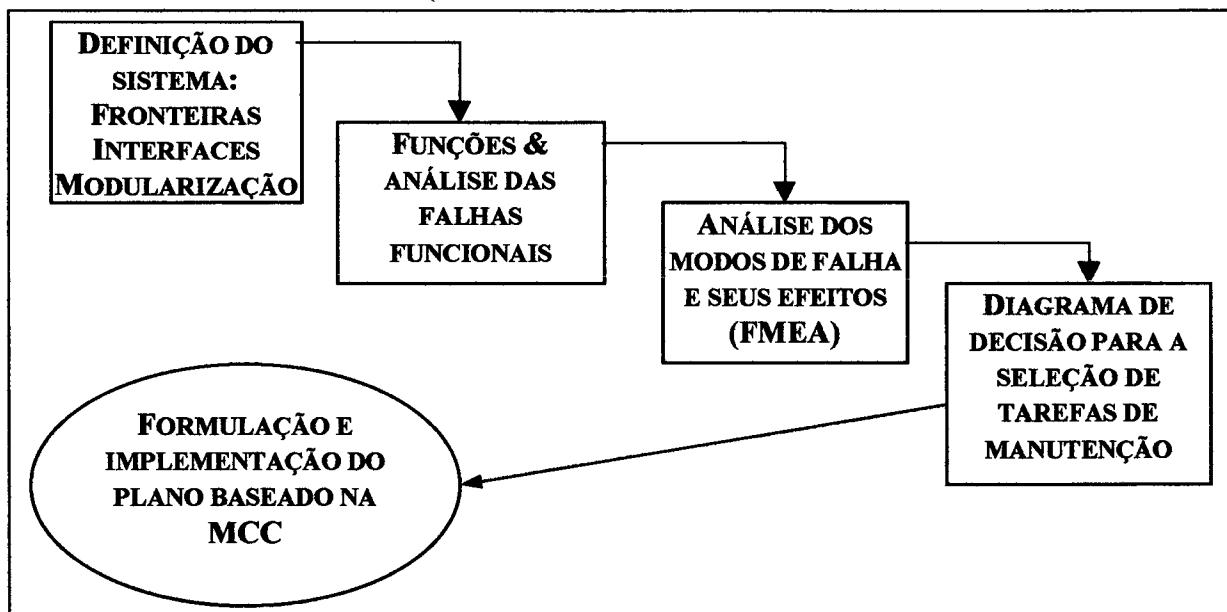


Figura 2-2:Visão geral do processo de MCC (FLEMING & FRANÇA, 1997)

Na MCC, cada tarefa de um programa de manutenção preventiva é gerada a partir da avaliação das consequências das falhas funcionais do sistema, seguido do exame explícito da relação entre cada tarefa e as características de confiabilidade dos modos de falha do sistema objetivando determinar se a tarefa é essencial (envolve segurança) ou desejável (envolve custo-benefício).

Assim, se o equipamento não possui modos de falha relacionados ao tempo, como abrasão, desgaste por atrito, fadiga ou corrosão, revisões periódicas não irão reduzir as falhas, ao contrário, podem até mesmo introduzir falhas infantis potenciais onde antes não existia. Ou seja, falhas devido a erros de operação e manutenção (PRADHAN, 1996).

Efetivamente, esta é a grande vantagem da aplicação da MCC: reconhece que as consequências das falhas são muito mais importantes que suas características técnicas, que são o fundamental critério para determinar qual método de manutenção praticar. Reconhece que a única razão para fazer qualquer tipo de ação de manutenção não é prevenir a falha em si mesma, mas prevenir, ou mesmo reduzir, as consequências que a falha pode ocasionar (MOUBRAY, 1997).

Duas ferramentas se destacam no processo de MCC: a FMEA e os diagramas de decisão.

A FMEA promove uma uniformidade de ferramentas entre o projeto dos sistemas e o seu uso/manutenção, permitindo a identificação, organização e análise criteriosa dos modos de falhas preponderantes no equipamento. Desta forma facilita o fluxo de informações entre projetistas e usuários e vice versa. Assim, existindo uma FMEA preliminar feita no projeto do sistema, o trabalho fica já direcionado para o planejamento da manutenção. Não existindo, a análise dos dados observados da manutenção proporcionará rico instrumento de implementação de melhorias no projeto de modelos futuros.

Os diagramas de decisão se constituem em um conjunto de perguntas com respostas do tipo "sim" ou "não" para classificar as consequências dos modos de falha e, em seguida, buscar métodos de manutenção aplicáveis e eficazes na prevenção da falha (Figura 2-3). Inicialmente, as consequências dos modos de falha são divididas em "evidentes" ou "ocultas". As ocultas são separadas pois merecem um tratamento diferenciado. Em seguida, as consequências são priorizadas e então é realizada a seleção do método de manutenção mais indicado para cada modo: corretiva, preventiva ou preditiva. A selecionada deve prevenir, acompanhar ou descobrir a falha, dando ênfase ao critério custo-benefício (FRANÇA, 1999).

2.3.2 TPM (*Manutenção para a Produtividade Total*)

Os autores FLEMING & FRANÇA (1997), PRADHAN (1994 e 1996) e RIIS *et al.* (1997) expõem a TPM de acordo com os comentários a seguir.

A TPM visa maximizar a eficácia geral dos equipamentos e a eliminação das perdas de produção, devido à deficiência dos equipamentos, através da preservação e consequente prolongamento do período de vida entre falhas e da vida total dos sistemas. Focando a identificação das principais perdas de produção, por consequência, revelam-se os custos associados com a falta de uma apropriada manutenção para o sistema.

Pregue o desenvolvimento de um "sistema de manutenção total" para toda a vida do sistema de produção, atuando sobre os mecanismos de falhas, sobre o projeto dos sistemas e

implementando programas de manutenções preditivas e preventivas. Ou seja, para alcançar seus objetivos a manutenção preventiva não é suficiente. Desta forma, adota uma postura de inferência no projeto e de atuação frente às degenerações primárias comuns dos equipamentos - atrito, sobrecarga, pequenos ajustes/regulagens, folgas, contaminações, temperatura, sujeira - expondo tanto os defeitos aparentes como os ocultos.

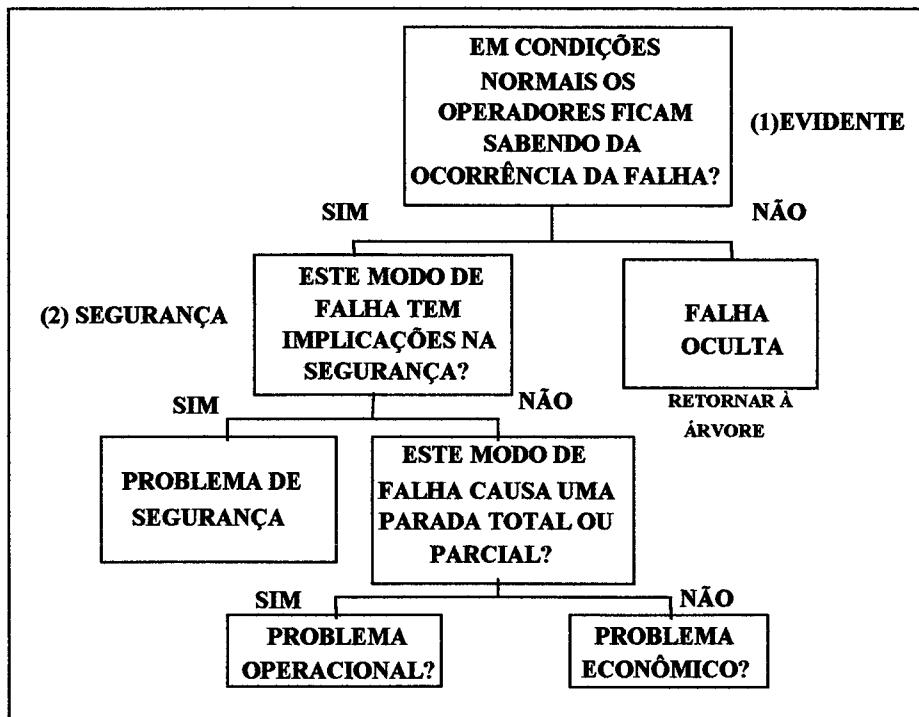


Figura 2-3:Diagrama de decisão - classificação das consequências dos modos de falha (FRANÇA, 1999)

A grande inovação, entretanto, empregada através da TPM é sua filosofia. Para obtenção dos resultados, promove uma atuação na organização da entidade produtiva (GERAGHTY, 1996), buscando a integração de todos os participantes do sistema de produção – desde a alta gerência até os operadores - na preservação das instalações produtivas, relacionando objetivos corporativos a metas de manutenção. Ou seja, procura romper a relação tradicional, “eu opero, você conserta”. Como meio, utiliza conceitos baseados em grupos, envolve os operadores na manutenção dos equipamentos (manutenção autônoma), utiliza um gerenciamento motivacional através de pequenos grupos para promover a manutenção preventiva e preditiva e estimula a multi-capacitação das diferentes profissões – mecânico, eletricista, funileiro, soldador, caldeireiro, encanador e montador.

Em um ambiente de TPM a manutenção não é apenas dos equipamentos nem da produção é da “produtividade”. Isso tira a TPM do foco exclusivo da manutenção e muda a

compreensão das pessoas com relação ao seu papel, tornando a TPM como uma missão de todos na empresa (FLEMING & FRANÇA, 1997).

Algumas medidas de prevenção são:

- ✓ estabelecer condições básicas operacionais dos sistemas por meio da atividade de lubrificação, limpeza e reaperto;
- ✓ restaurar as partes deterioradas;
- ✓ melhorar as habilidades do pessoal de operação e de manutenção;
- ✓ corrigir pontos fracos de projeto;
- ✓ manter as condições operacionais de projeto (temperatura, pressão...);
- ✓ atuar sobre as seis grande perdas da manufatura (TPM tradicional): quebra, preparação e ajuste, ociosidade, interrupção menores, redução de velocidade, defeitos de qualidade e retrabalho, perdas na partida.

A TPM também fornece um procedimento sistemático para relacionar objetivos corporativos com os da manutenção, consistindo da identificação dos ambientes internos e externos da empresa, desenvolvimento de uma política básica de manutenção, identificação dos pontos chaves para implementação de melhorias e definição dos índices de performance da manutenção. Para tal, quatro etapas são indicadas: introdução de manutenção autônoma, estabilização da MTBF, extensão da vida dos equipamentos, transição para mais manutenção preventiva e preditiva (PRADHAN, 1996).

A métrica da TPM fornece um ponto inicial para desenvolvimento das variáveis quantitativas de forma a relacionar índices de manutenção e controle às estratégias corporativas (PRADHAN, 1996).

2.4 Medidas de desempenho de manutenção

A engenharia de manutenção, para ser devidamente exercida, deve ser continuamente suprida de dados observados. Os dados observados, posteriormente, devem ser mutuamente associados e convertidos em medidas que proporcionem uma base de monitoramento e consequente implementação de melhorias contínuas e prevenção de desvios de objetivos. Sem as medidas de desempenho a engenharia de manutenção fica desprovida de meios de avaliação dos desempenhos alcançados ou seja, de meios para referenciar as metas de eficiência que embasam decisões precisas rumo à eficiência dos esforços e às marcas de *benchmarks*.

Assim, para a manutenção de uma frota obter sucesso em seus objetivos e metas, medidas de desempenho técnico dos veículos devem ser relacionadas a medidas de desempenho

administrativos/financeiros. Isto porque o nível de investimento em manutenção afeta de forma diretamente proporcional o desempenho operacional dos veículos. Quanto mais se investe em manutenção, melhor a operação da frota. Contudo este desempenho operacional deve estar justificado sobre vantagens administrativas/financeiras, ou seja em vantagens estratégicas como: retorno do investimento, satisfação dos clientes, produtividade da frota, segurança, eficiência e pontualidade. Ou seja, aliados às medidas de desempenho técnico dos veículos os resultados da manutenção devem referendar uma integração às metas estratégicas da organização. Assim, o grau de investimento em manutenção é função do desempenho administrativo/financeiro e das necessidades estratégicas desejadas.

No capítulo 03, estão apresentadas as medidas que valoram a mantinabilidade de um sistema. Estas mesmas medidas servem de meio para mensurar o desempenho técnico dos veículos pois representam tanto a eficiência de desempenho operacional dos veículos, através das medidas dos fatores de confiabilidade, mantinabilidade, dependabilidade e disponibilidade, econômicos e de eficácia, como também a eficiência do suporte de manutenção associado ao desempenho operacional alcançado, através das medidas dos fatores humanos e suporte logístico.

O grupo de medidas que referendam as necessidades estratégicas da empresa em relação à manutenção da frota são o que PRADHAN (1994) classifica como medidas do negócio e que, nesta dissertação, serão classificadas como medidas estratégicas. Algumas medidas estratégicas são:

- ✓ produtividade total dos equipamentos ou eficácia global dos equipamentos (OEE), função da disponibilidade do equipamento, da eficiência da performance e da taxa de qualidade (GERAGHTY, 1996, PRADHAN, 1994; RIIS *et al.*, 1997). É medida através da produtividade total que é igual a disponibilidade vezes a taxa de desempenho vezes a taxa de qualidade, onde:
 - disponibilidade = tempo de operação x 100/(tempo de operação + tempo de parada);
 - taxa de desempenho = taxa de produção efetiva x 100/produção total; e
 - taxa de qualidade = taxa de produção efetiva especificada x 100/produção total;
- ✓ custo de manutenção como percentagem do valor total de vendas da produção;
- ✓ custo de manutenção por unidade de produção;
- ✓ homens-hora de manutenção como percentual do total de homens-hora de operação mais manutenção.

Outra forma importante para o controle e posicionamento da engenharia de manutenção é a tabulação de dados. Tabular é agrupar em forma de tabela, ou seja, dentro de classes, tipos, como por exemplo (PRADHAN, 1994):

- ✓ *tempos de parada*: gráfico de pareto das causas de paradas e estimativa percentual do tempo de parada em relação ao tempo total (de todas as causas) - tempo de parada não-programada para manutenção como percentual do tempo total;
- ✓ *carga de trabalho de manutenção*: gráfico de pareto do percentual de horas de manutenção programada, manutenção preditiva/preventiva e manutenção após a falha (corretiva);
- ✓ *análise de falha*: número de falhas por categoria por período como por exemplo, falhas de motor devido a superaquecimento, desgaste excessivo, falta de lubrificação, deficiência de projeto, etc.

Embora estes gráficos não determinem medidas de referência, proporcionam uma importante síntese do comportamento das falhas e da atuação da manutenção sendo muito úteis às tomadas de decisão.

2.5 Estrutura da manutenção

Para que as ações de manutenção sejam eficazmente executadas, devem estar suportadas sobre uma estrutura que as otimize em tempo e custo de acordo com às necessidades operacionais da organização. Entretanto, quando se fala em planejar uma manutenção, de imediato vem a mente palavras que representem algo em torno da seleção do tipo de ação a se empregar: corretiva, preventiva, preditiva, monitoramento, MCC e TPM. Assim procedendo, estão a produtividade e a eficiência da atividade completamente cobertas com apenas o questionamento de qual tipo de ação a executar? A resposta é negativa.

Mesmo tendo sido selecionada a melhor forma de ação frente ao modo de falha, se esta ação não estiver bem baseada numa estrutura que a otimize, não é possível alcançar o grau máximo de eficácia. Exemplos desta colocação são diversos como é o caso de:

- ✓ tempos de reparo maiores devido a condições prediais não adequadas que provocam calor excessivo, má iluminação, acesso ao equipamento precário (uma escada, uma rampa, uma valeta e outros);
- ✓ freqüente retrabalho devido a falta de treinamento do pessoal, ferramental inadequado, falta de teste ou teste sem a adequada calibração, não disponibilidade de sobressalentes especificados no momento certo, má iluminação, acesso e outros;

- ✓ custo de manutenção maior devido a não disponibilidade de sobressalentes especificados no momento certo, estrutura de administração de materiais mal estruturada, aquisição de veículos sem a devida avaliação de sua mantinabilidade;
- ✓ sistema de informações precários em fornecer dados para avaliação devido a não estruturação de um sistema lógico ajustado às necessidades da empresa ou, inversamente, excessivamente dimensionado para as reais necessidades organizacionais gerando custos excessivos ao que realmente se necessita.

Isso indica que o planejamento e a estruturação de uma manutenção não devem resumir-se apenas ao planejamento das ações de reposição do estado operacional dos veículos, mas também envolvem o planejamento e implementação logística dos recursos de manutenção: análise da falha, registro das informações, ferramentas, equipamentos de teste, instalações prediais, sobressalentes, treinamento de pessoal, procedimentos de execução das tarefas e disponibilidade de manuais onde e quando necessário, ou seja, ao ILS (*Integrated Support Logistic*) necessário para otimizar a função de manutenção (PRADHAN, 1996).

Um exemplo simples: a manutenção de um lâmpada é realizada após a falha (queima) – salvo em um caso especial onde a troca seja feita antes da falha. A eficácia da manutenção está calcada na rapidez em que esta ação é realizada e no pronto atendimento ao restabelecimento da luz. Bem, mas para executar a ação de troca da lâmpada faz-se necessária uma mini estrutura: outra lâmpada, uma escada, talvez uma chave de fenda para tirar o lustre, um funcionário para executar. Obviamente não requer um sistema de informação pois não é eficiente em relação ao custo manter históricos da manutenção deste ponto de luz. Fácil a resposta. Contudo, se forem 50.000 lâmpadas em vez de uma? Se forem 50.000 em salas de cirurgia, outro local que não pode ficar sem luz, ou em 40 prédios? Qual o dimensionamento da estrutura necessária para cada caso? Aqui já requer alguma ponderação sobre a estrutura que trará mais vantagens para a organização.

Análise similar é feita para manutenção de frotas: uma estrutura faz-se necessária para poucos veículos e outra estrutura para muitos veículos. Um estrutura para frotas sem muitas responsabilidades, outra para frotas que desempenhem funções essenciais e de alto risco e outra para as frotas de tratores ou de auxílio à produção rural que requerem alta taxa de disponibilidade em certos períodos do ano.

Neste sentido, na seção seguinte apresenta-se uma proposta de ampliação do universo das análises de manutenção. Busca-se a definição do conceito de sistemas de manutenção: a manutenção não tratada apenas como um conjunto de ações mas como toda uma estrutura de

elementos com o objetivo comum de melhor explorar, da maneira mais eficaz, as características de manutenibilidade dos equipamentos.

2.6 Sistemas de manutenção

Os autores BLANCHARD & FABRICKY (1990) e CHIAVENATO (1993) discorrem sobre a teoria de sistemas utilizada como referência para fundamentar os conceitos envolvidos em sistemas de manutenção.

A Teoria Geral de Sistemas (TGS) surgiu com os trabalhos do biólogo alemão LUDWIG VON BERTALANFFY (1950 a 1968). Ela não se propõe a solucionar problemas ou tentar soluções práticas mas sim a produzir teorias ou conceitos que possam criar soluções de aplicação na realidade empírica. A abordagem sistêmica tem, assim, por objetivo, representar, de forma compreensiva e objetiva, o meio em que tem lugar a tomada de decisão. Fundamenta-se em três premissas básicas:

- ✓ os sistemas existem dentro de sistemas: as moléculas existem dentro de moléculas, as células dentro de tecidos, os tecidos dentro dos órgãos, os órgãos dentro dos organismos, os organismos dentro de colônias, as colônias dentro de culturas nutrientes, as culturas dentro de conjuntos maiores de culturas e assim por diante;
- ✓ os sistemas são abertos: é uma decorrência da premissa anterior. Cada sistema que se examine, exceto o menor ou o maior, interage com os outros sistemas, geralmente aqueles que lhe são contíguos. Os sistemas abertos são caracterizados por um processo de intercâmbio infinito com seu ambiente, que são os outros sistemas. Quando o intercâmbio cessa, o sistema se desintegra, isto é, perde suas fontes de energia;
- ✓ as funções de um sistema dependem de sua estrutura: para os sistemas biológicos e mecânicos esta afirmação é intuitiva. Os tecidos musculares, por exemplo, se contraem porque são constituídos de uma estrutura celular que permite contração.

2.6.1 Definição de sistemas de manutenção

Um sistema qualquer se define por um todo organizado ou complexo, um conjunto ou combinação de coisas ou partes formando um todo complexo ou unitário; um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência (BLANCHARD & FABRICKY, 1990), um número de elementos funcionando como um todo (RIIS *et al.*, 1997). BERTALANFFY citado por CHIAVENATO (1993), define sistema como um conjunto de unidades reciprocamente relacionadas. A definição decorre de dois conceitos:

- ✓ Propósito ou objetivo: todo sistema tem um ou alguns propósitos ou objetivos. As unidades ou elementos (ou objetos), bem como os relacionamentos, definem um arranjo que visa sempre alcançar um objetivo, realizar uma função, uma ação. Esta precisa estar explicitamente definida e entendida de forma que os componentes possam processar um conjunto de entradas numa resposta desejada;
- ✓ Globalismo ou totalidade: todo sistema tem uma natureza orgânica pela qual uma ação que produza mudança em uma das suas unidades com muita probabilidade produzirá mudanças em todas as outras unidades devido ao relacionamento destes. O efeito total destas mudanças ou alterações se apresentará como um ajustamento de todo o sistema. O sistema sempre reagirá globalmente a qualquer estímulo produzido em qualquer parte ou unidade, gerando um ajustamento sistemático contínuo.

Assim, baseado no conceito de sistema apresentado acima e da definição de manutenção (seção 2.2), um sistema de manutenção define-se como:

SISTEMA DE MANUTENÇÃO
CONJUNTO DE ESTRUTURAS, INTERRELACIONÁVEIS, QUE ATUAM COM O OBJETIVO
COMUM DE DAR SUPORTE E/OU EXECUTAR AÇÕES DE MANTER OU REPARAR ALGO.

A função total dos sistemas de manutenção é definida como a série de ações necessárias para restaurar ou manter um item num estado operacional efetivo (BLANCHARD *et al.*, 1997). Assim o foco de atenção da manutenção não é diretamente os equipamentos mais sim o cumprimento de sua função.

Para ilustrar este foco de atenção, MOUBRAY (1997) cita o exemplo de uma bomba cujo objetivo é encher um tanque com, pelo menos, uma vazão de $5\text{m}^3/\text{min}$. Assim o planejamento da manutenção é preservar que esta continue jorrando uma vazão igual ou superior a $5\text{m}^3/\text{min}$ e, desta forma, todos os esforços serão direcionados para este objetivo. Ela somente estará em falha quando a vazão estiver menor que este limite - configura-se a perda da capacidade de operação; o não cumprimento de sua função.

2.6.2 Posicionamento de um sistema de manutenção

A compreensão de um sistema depende do interesse do analista. Uma organização, por exemplo, poderá ser entendida como um sistema ou subsistema ou ainda como um supersistema dependendo da referência de análise. Assim, um departamento pode ser visualizado como um sistema composto de vários subsistemas (seções ou setores) e integrado a um supersistema (a empresa), como também pode ser visualizado como um subsistema composto por outros

subsistemas (seções ou setores), pertencendo a um sistema (a empresa) que está integrado a um supersistema (o mercado ou a comunidade) (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

O sistema total é aquele representado por todos os componentes e relações necessárias à realização de um objetivo, dado um certo número de restrições. CHIAVENATO (1993) citando OPTNER, diz que o objetivo do sistema total define a finalidade para a qual foram ordenados todos os componentes e relações do sistema, enquanto as restrições do sistema são as limitações introduzidas em sua operação, que definem seus limites (fronteiras) e possibilitam explicar as condições sob as quais deve operar.

O termo sistema é normalmente empregado no sentido de sistema total. Os componentes necessários à operação deste são os subsistemas, que por sua vez são formados pela reunião de novos subsistemas, mais detalhados. Assim, tanto a hierarquia dos sistemas como o número de subsistemas dependem da complexidade intrínseca do sistema total.

Assim, um sistema de manutenção é um sistema total que reúne os componentes responsáveis pela preservação da função dos equipamentos da produção. É composto de subsistemas que são, em si, sistemas e, consequentemente, também compostos de outros subsistemas. Dessa forma os subsistemas são compostos de outros subsistemas, hierarquicamente, mais detalhados até atingir níveis não divisíveis, os componentes da manutenção (ver seção 2.6.3). De forma similar, o sistema de manutenção deve também ser compreendido como um subsistema de um sistema hierarquicamente maior. Este posicionamento em relação cadeia de hierarquia em que o sistema de manutenção está contido é fundamental para compreensão das necessidades envolvidas na sua estruturação e planejamento (seção 2.7).

2.6.3 Elementos de um sistema de manutenção

Um sistema é composto de componentes, atributos e relacionamentos (Figura 2-4), onde (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; CHIAVENATO, 1993):

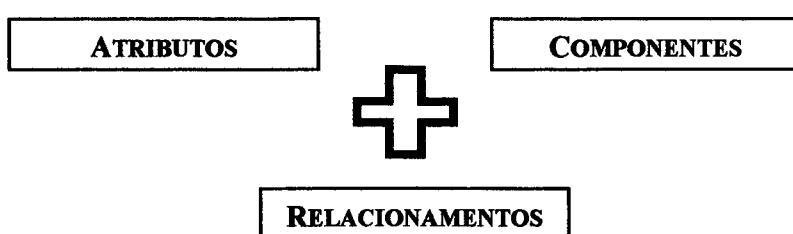


Figura 2-4:Elementos de um sistema (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; CHIAVENATO, 1993)

- ✓ Componentes são as partes operantes. Os componentes não podem ser divididos em outros subsistemas.

- ✓ Atributos são as propriedades ou manifestações discerníveis de um componente do sistema; caracterizam os parâmetros do sistema;
- ✓ Relacionamentos são as interfaces, ligações entre os componentes e atributos num sistema. Ou seja, os componentes devem interrelacionar-se e, trabalhando em conjunto, devem ter um objetivo em comum. Assim, cada componente deve afetar a propriedade e o comportamento do sistema como um todo, cada componente deve depender das propriedades e do comportamento de pelo menos um componente no sistema e cada possível subsistema de componentes deve ter as duas propriedades anteriores.

Assim, o aspecto mais importante do conceito de sistema é a idéia de um conjunto de componentes interligados para formar um todo. Esse todo apresenta propriedades e características próprias que não são encontradas em nenhum dos elementos isolados. Ou seja, um sistema é mais que a soma de seus componentes. É um conjunto de componentes que sempre têm alguma característica ou comportamento padrão que não pode ser exibido por qualquer de seus subsistemas.

Os sistemas de manutenção são formados por componentes formais e informais (RIIS *et al.*, 1997). Os componentes informais referem-se às perspectivas de comportamentos individuais (formais e informais) e à cultura corporativa. Quanto aos formais, são compostos dos métodos e sistemas de gerenciamento, estrutura organizacional, sistema de informação e tecnologia necessária para implementar as tarefas de manutenção. São aqueles que são planejados para funcionarem de acordo com o esperado. Compõem o conjunto de componentes que são necessários para realizar a ação e podem ser agrupados em:

- ✓ Estrutura Humana: compõe o subsistema que reúne todos os itens relacionados à otimização dos recursos humanos: política de contratação, nível de escolaridade e qualificação, treinamento, organograma e número de funcionários, níveis hierárquicos e outros. A preocupação com a capacitação do suporte humano justifica-se pois a ação é, na quase totalidade, executada por pessoas e estas devem possuir uma preparação, um perfil profissional, uma motivação para executá-la com eficácia, enfim, uma qualificação da força humana, dentro do que se necessita. Ou seja, apenas a prontidão de um funcionários não basta para executar o serviço eficazmente;
- ✓ Estrutura Física: os equipamentos e as instalações que servem para viabilizar um desempenho eficaz das tarefas. Reúne os equipamentos de teste, ferramental, instalações prediais específicas da manutenção e estruturas especiais como as valetas para acesso rápido e ágil à parte inferior dos veículos;

- ✓ Estrutura Lógica: reúne todos os recursos de informação necessários: banco de dados; índices que devem ser apropriados; procedimentos de coleta de dados, de execução das tarefas e de tratamento de dados (planilhas, planilhas eletrônicas, sistemas computacionais); plano de manutenção; registro de decisões; e históricos;
- ✓ Estrutura Logística: reúne todos os mecanismos de apoio à execução da atividade como suprimento de sobressalentes, administração de materiais, fornecimento de energia, coleta de lixo, limpeza, transporte de materiais e de pessoal e outros.

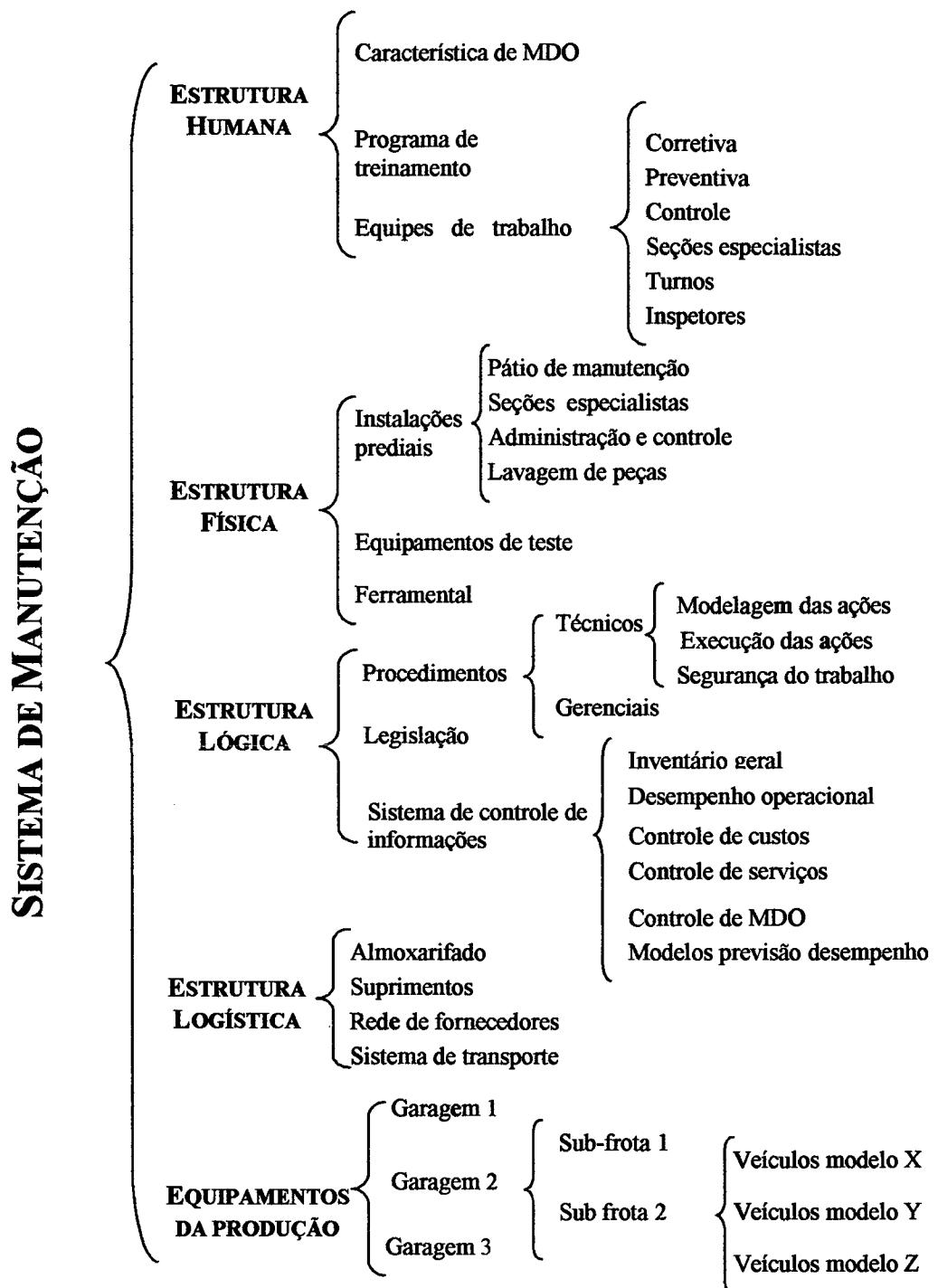
Um quinto conjunto de componentes que deve ser considerado para um desempenho eficiente do sistema de manutenção são os próprios equipamentos que sofrerão manutenção: os *equipamentos da produção*. No caso de manutenção de frota, são constituídos principalmente pelos veículos mas também pelos equipamentos de apoio à operação da frota. Certamente, este último conjunto contém os principais componentes de uma manutenção pois, sobre a sua configuração de projeto é que se estabelece as ações e consequentemente todo o dimensionamento das estruturas anteriores.

Assim, os componentes de um sistema de manutenção podem ser agrupados em 05 subsistemas: estruturas humana, física, lógica e logística e conjunto de equipamentos da produção. A Figura 2-5 ilustra o desmembramento de um sistema de manutenção para frotas.

No nível 0 está o sistema total, o sistema de manutenção. Qualquer sistema de manutenção é composto por 5 sub-sistemas de nível 1: as estruturas humana, física, lógica e logística e os equipamentos da produção. A partir do nível 1, cada um dos sub-sistemas é composto de outros sub-sistemas até atingir um nível não mais divisível, os componentes da manutenção.

Assim a concepção de uma manutenção processa-se pelo dimensionamento destas estruturas a partir dos equipamentos da produção. Contudo a composição de um sistema de manutenção para outro, a partir do nível 1, pode variar a depender das necessidades organizacionais (seção 2.7.1), pois para algumas empresas pode não ser necessário equipamentos de teste, em outras, sistemas computacionais, almoxarifado ou programas de treinamento.

Neste sentido, a estrutura física de um sistema de manutenção qualquer pode ser composta pelos sub-sistemas instalações prediais, ferramental e equipamentos de teste e estes podem ser compostos de subsistema mais específicos até um nível de detalhamento no qual não haja possibilidade de divisões, os componentes da manutenção do sub-sistema estrutura física: uma ferramenta, uma sala, um medidor, uma bancada de teste e outros.

**Figura 2-5: Hierarquia de sistemas de um sistema de manutenção**

Quanto aos atributos, para otimização da atividade de manutenção, todos os componentes devem ser dotados de certos atributos que proporcionem eficiência à execução das tarefas. Assim uma instalação predial que não apresente características ergonômicas, retardará a execução dos serviços o que afetará a disponibilidade dos veículos; ferramentas sem a resistência, tamanho e peso adequados também não ajudarão muito na obtenção de excelência de resultados; ambiente

de trabalho feio, escuro, depressivo afetará a união e entusiasmo da equipe; softwares muito complexos para operadores limitados, serão pouco úteis; planilhas de controle com campos excessivos e diminutos para semi-analfabetos, seria um verdadeiro “suicídio” de um subsistema de informações.

Assim, verifica-se que não somente os atributos relacionados à manutenabilidade dos veículos interessam para um sistema de manutenção de uma frota. Interessam também as características de todos os componentes da manutenção como ergonomia, peso, atributos energéticos e outros. A figura 4.3 relaciona alguns dos atributos que um produto ou sistema de engenharia pode possuir e que também se aplicam aos componentes de sistemas de manutenção.

Já os relacionamentos no sistema de manutenção são evidenciados tanto na inferência entre componentes ou subsistemas como na influência no cumprimento da função total da manutenção. Assim a deficiência de algum dos subsistemas do sistema de manutenção afeta o desempenho dos outros e consequentemente o desempenho da manutenção como um todo. Exemplificando: ferramentas não adequadas afetam o desempenho humano que reflete no desempenho de toda a manutenção; a falta de peças sobressalentes atravessa todo o fluxo de serviços; mecânicos não capacitados não explorarão ao máximo o potencial dos outros subsistemas; equipamentos sem características mantenibilísticas desejadas não permitem manutenções de alta eficiência (seção 2.7.2). Ou seja, o desempenho de um subsistema compromete o todo. Este relacionamento progride através do desmembramento hierárquico até o nível indivisível: um sistema computacional afeta todo o tratamento de dados, a falta de equipamento de teste não é compensada com outras ferramentas ou teste e assim por diante.

2.6.4 Sistemas de manutenção são sistemas de transformação

Uma função comum de um sistema é a que altera material, energia ou informação, como processamento de materiais num sistema de manufatura ou num sistema digestivo, a conversão de carvão em energia elétrica num sistema (planta) de energia e o processamento de informações num sistema de computador. Os sistemas que alteram material, energia ou informação são denominados de sistemas de transformação e são compostos de:

- ✓ componentes estruturais (partes estáticas);
- ✓ componentes de operação (partes que realizam a transformação);
- ✓ componentes de fluxo (partes sob transformação).

Um sistema de manutenção pode ser considerado como um sistema de transformação pois transforma equipamentos em falha ou desgastados em equipamentos em estado operacional

desejado. Assim, de acordo com a classificação apresentada, seus componentes podem ser classificados em estruturais, de operação e de fluxo.

Os componentes estruturais são as partes estáticas. Como o próprio nome sugere, formam a estrutura básica para processamento da transformação, ou seja, servem de base para que as ações de manutenção se desenvolvam eficazmente e com segurança. Nos sistemas de manutenção os componentes estruturais podem ser identificados como os que compõem as estruturas física, lógica e de apoio logístico. Como exemplo tem-se as ferramentas e os equipamentos de teste. Elas não praticam, nem sofrem a ação de manutenção. São instrumentos sob os quais o homem se apoia para multiplicar sua força e/ou amplificar seus sentidos.

Os componentes de operação são aqueles que realizam a ação. São os agentes ativos da transformação. Comandam a ação de reparar ou manter. Os componentes sob estas classificação são os que compõem a estrutura humana. Para exemplificar, um programa de treinamento é um componente de operação pois nele se forma a ação de reparar e/ou manter. Através dele é que o funcionário orienta seu esforço. Assim, este não pode ser confundido com um componente de apoio à execução pois é o treinamento que define a execução. Compõe a forma de proceder. *Comanda* o modo de agir.

Já os componentes de fluxo em sistemas de manutenção são propriamente os equipamentos da produção, que sofrem manutenção. São os elementos passivos, sob os quais as ações são executadas para torná-los aptos a uma operação segura, eficiente, confiável e/ou econômica.

A Figura 2-6 ilustra a representação da função total de um sistema de manutenção de acordo com o método da função síntese (seção 4.4.1)(BACK & FORCELLINI, 1997). Nesta ilustração verifica-se o caráter de transformação dos sistemas de manutenção: transformam equipamentos em estado danificado e/ou desgastado em equipamentos em estado operacional adequado, consumindo para tal a energia humana. O tratamento das informações - entram no sistema procedimentos/conhecimento humano de execução e saem informações na forma de dados observados – reflete o controle sobre a transformação. O uso de material - capta materiais de consumo e peças em bom estado e fornece materiais de consumo e peças avariadas - caracteriza a interface com o meio ambiente externo.

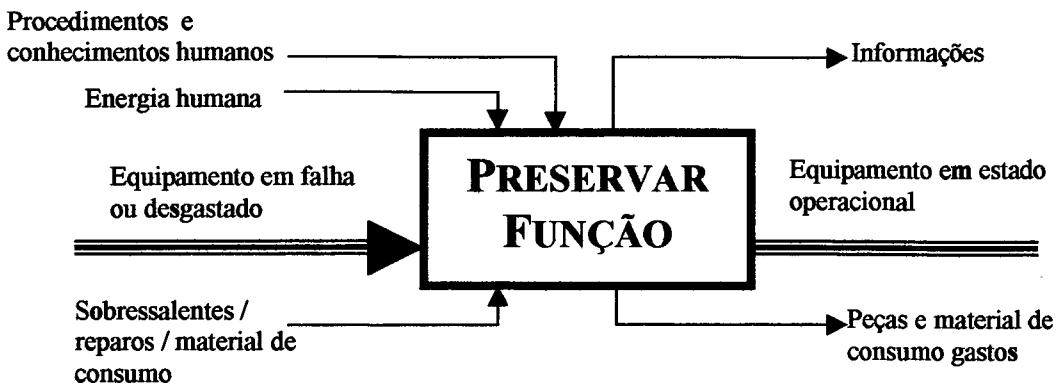


Figura 2-6: Função total de sistemas de manutenção (adaptado do método da função síntese (BACK & FORCELLINI, 1997))

2.7 Comentários finais

2.7.1 Projeto de um sistema de manutenção

O primeiro passo para discussão de um sistema de manutenção, é ter claramente definido seu posicionamento (seção 2.6.2). É importante localizá-lo bem na organização para promover o cruzamento e integração com seus níveis administrativos de forma a evitar a criação de ilhas de gerenciamento de manutenção. Isto decorre devido aos sistemas de manutenção serem muito dependentes tanto da estrutura e propósitos da empresa, de sua cultura, sua história e sua lucratividade, como também das condições externas, das coações internas e corporativismos que podem mascarar a introdução de novos métodos de gestão.

A análise da situação leva à identificação dos objetos do sistema (o que vai ser mantido) ou áreas específicas de atuação, do perfil dos trabalhos, dos elementos inerentes ao sistema de manutenção e dos objetivos que se pretende alcançar (PRADHAN, 1996; RIIS *et al.*, 1997). Portanto, o dimensionamento e características de cada estrutura do sistema de manutenção é função das necessidades organizacionais, muito influenciadas por este posicionamento, ou seja, pela situação da empresa.

Dentro do universo em que está contido um sistema de manutenção, alguns aspectos devem ser bem analisados, como quantidade, diversidade, complexidade dos equipamentos, severidade imposta à operação e capacidade de investimento. Neste sentido, os aspectos que mais influenciam as variáveis dos sistemas de manutenção são (RIIS *et al.*, 1997):

- ✓ ramo específico à atividade envolvida;

- ✓ formalidades, informalidades e perspectivas de comportamentos individuais e coletivos da organização – cultura;
- ✓ configuração do projeto dos equipamentos, ciclo de vida estimado e características dos modos de falhas dos equipamentos;
- ✓ estrutura de suporte físico e administrativo;
- ✓ estrutura de prestadores de serviço e fornecedores de sobressalentes;
- ✓ políticas de gerenciamento, como política de renovação dos equipamentos;
- ✓ qualificação de pessoal;
- ✓ disponibilidade requerida
- ✓ perspectivas de suporte de decisão; e
- ✓ fatores humanos e ambientais.

Assim, a análise destes aspectos conduz à caracterização da situação da empresa. Esta por sua vez deve estar caracterizada nos objetivos declarados da empresa refletindo os propósitos por manutenção da frota. Os objetivos declarados compõem as prioridades gerenciais maiores da empresa, definem a necessidade por manutenção da frota e podem determinar a importância estratégica desta à operação, à produção da empresa e ao mercado. Para discriminá-las em grau de importância, pesos de influência devem ser associados através do uso de técnicas de decisão (RIIS *et al.*, 1997).

Obviamente, como objetivos declarados primários, as empresas parametrizam lucro e retorno de investimento que somente podem ser alcançados com qualidade de produção. Associando esses objetivos à necessidade de excelência de manutenção, as organizações parametrizam lucro e excelência de produção, que se refletem em:

- ✓ custo operacional compatível com as exigências de mercado;
- ✓ custo de manutenção compatível com a operacionalidade dos equipamentos;
- ✓ informações de desempenho para fornecer subsídio ao questionamento de equipamentos tanto no processo de aquisição como no desenvolvimento de novos modelos;
- ✓ segurança do pessoal envolvido no processo, das populações vizinhas às instalações produtivas e ao meio ambiente;
- ✓ operacionalidade dos equipamentos com confiabilidade e economia;
- ✓ conforto e estética;
- ✓ produção com níveis de qualidade restritivos, confiabilidade de resultado e capacidade produtiva para atingir demandas requeridas por metas globais estabelecidas nas organizações;

Assim, para atingir seus objetivos e metas, os componentes do sistema de manutenção devem prever, de acordo com os propósitos da organização, o perfil e quantidade de tarefas de manutenção necessárias aos desejos estratégicos da organização. Ou seja, o sistema de manutenção deve estar estruturado e seus componentes dotados dos atributos necessários à otimização da manutenção, o que será função das peculiaridades de cada empresa, do ramo de atividade, dos equipamentos que sofrerão intervenção e das condições operacionais destes.

Frente a esse conjunto de aspectos que, em muitos casos são complexos ou de difícil percepção, justifica-se a utilização de uma metodologia que direcione, rápida e economicamente, à identificação e avaliação das reais necessidades da organização e as concretize em ações que resulte em estruturas de manutenção que gerem vantagens competitivas para as organizações. Ou seja, auxilia na estruturação de manutenções ajustadas às necessidades particulares de cada empresa.

Neste sentido, a metodologia utilizada para projeto de sistemas de engenharia pode ser útil (capítulo 4), pois projetar pode ser definido como o trabalho de detalhar os melhores atributos finais que o produto deve ter para cumprir, da melhor maneira possível, os objetivos propostos no seu desenvolvimento (LUPENSINO, 1998). No caso de projeto de manutenção, detalhar quais componentes deverão compor o sistema de manutenção e os melhores atributos que devem ter de forma a compor estruturas ajustadas às necessidades organizacionais.

2.7.2 Relação entre a manutenção e a mantinabilidade

Mas como conceber um sistema de manutenção que produza resultados satisfatórios sobre uma configuração de projeto de veículos que não viabilize tal. Faz-se bem entender que para que uma empresa obtenha satisfação de suas necessidades de desempenho, antes de mais nada é necessário obter veículos com expectativa de manutenção compatível.

Ou seja, mesmo havendo uma estruturação eficiente de um sistema de manutenção seu desempenho estará sempre condicionado às características de mantinabilidade dos veículos. Ou seja, para um veículo apresentar bom desempenho operacional, ajustado às expectativas, deve possuir, além dos atributos relativos à performance funcional, atributos que proporcionem características de manutenção que suportem sua funcionalidade.

Uma vez projetado, o equipamento estará, ou não, dotado destas características e a partir de então estará determinado o grau máximo de eficácia de manutenção que poderá proporcionar. Deste ponto, restringe-se as alternativas de soluções para problemas críticos de desempenho,

restando o reprojeto parcial do veículo, geralmente com custos maiores do que se estivesse previsto no projeto original.

Ao inverso, veículos projetados com boas características de mantinabilidade terão, consequentemente, bom desempenho de manutenção. Contudo, não somente o projeto, dotado com atributos de mantinabilidade, resolve o problema de desempenho de manutenção. Há a necessidade da estruturação da atividade de manutenção de forma que o seu desempenho se aproxime do grau máximo possível limitado pelo projeto. Manutenção mal concebida e conduzida pode afetar o desempenho, mesmo, sendo o projeto do equipamento bem dotado de atributos mantenabilísticos.

Fazendo uma analogia numa escala graduada de 0 a 10, o projeto permite atingir o grau máximo, por exemplo, um limite superior 8. A estruturação e o planejamento da manutenção é que determinarão o nível de desempenho final que ficará entre o limite inferior 0 (péssimo desempenho) e o superior 8 (ótimo desempenho), mas nunca acima de 8. Para superar este limite superior somente mudando a configuração do projeto – o reprojeto.

Assim verifica-se que o desempenho eficaz de um sistema de manutenção está condicionado tanto ao projeto dos equipamentos - a qualidade de um veículo em ser mantido, não pode ser inserido a não ser que este tenha sido projetada nele (Sousa, 1998) – como também ao gerenciamento dos sistemas de manutenção - a forma como a empresa conduz a manutenção de seus veículos proporcionará níveis de desempenho que, em se atingindo a excelência, estarão sendo explorados ao máximo todas as características de mantinabilidade dos equipamentos.

Assim, no preenchimento das expectativas de manutenção dos sistemas, duas linhas de ações devem ser consideradas:

- ✓ projeto de equipamentos que visem os aspectos de mantinabilidade;
- ✓ correto gerenciamento das ações e recursos requeridos para execução da atividade manutenção.

Estas atividades, em conjunto determinam o grau de eficácia que o sistema de manutenção pode alcançar.

Dó exposto, constata-se que o desempenho de um sistema de manutenção de uma frota está sempre condicionado às características de mantinabilidade dos veículos. Ou seja, a manutenção poderá atingir índices melhores quanto melhores forem as características de mantinabilidade dos veículos. Portanto, pode-se afirmar que a atividade de manutenção da frota

gerencia as características de mantinabilidade dos veículos em prol de metas estratégicas organizacionais.

3 MANTENABILIDADE

Em se discutindo manutenabilidade, está-se apresentando os fatores mais relevantes que a manutenção deve coletar, durante a execução de suas atividade, de forma a suprir o projetista ou fabricante, de informações para o desenvolvimento de melhores sistemas quanto à manutenabilidade. De certa forma pode-se mesmo afirmar que as medidas de manutenabilidade são as mesmas utilizadas para avaliação do desempenho de uma manutenção. Há apenas uma diferenciação quanto ao momento da análise no ciclo de vida dos sistemas: a avaliação da manutenabilidade está relacionada ao projeto enquanto a avaliação de manutenção ao ciclo de operação/manutenção.

Esta congruência de medidas estabelece o ciclo de operação/manutenção como a melhor prova de testes que os sistemas de engenharia podem sofrer. Contradicoriantemente, entretanto, a aplicação prática dessa congruência não é usada, ainda, em grande parte dos sistemas de engenharia e processos o que leva à escassez de dados de desempenho de diversos tipos de maquinários (BLANCHARD *et al.*, 1995; DIAS, 1996).

Neste sentido, este capítulo objetiva apresentar a definição de manutenabilidade baseada em alguns autores, que tratam de manutenabilidade e do projeto para manutenabilidade, mas tomando como eixo a obra de BLANCHARD *et al.* (1995), finalizando pela apresentação das medidas mais relevantes para avaliação da manutenabilidade de um sistema

3.1 Definição de manutenabilidade

Mantenabilidade é uma característica de projeto dos sistemas e relaciona-se à facilidade, precisão, rapidez e economia das ações de manutenção. Ou seja, pode ser entendida como o conjunto de parâmetros de projeto que proporcionam a habilidade de um item ser mantido. Já a manutenção é realizada num sistema ou componente sob um evento de falha ou como uma medida preventiva para evitar uma falha esperada.

Sendo a manutenabilidade uma característica multidimensional, pode ser expressa em termos de inúmeros fatores como: freqüências, tempos de manutenção, fatores de carga de

trabalho, custos de manutenção e fatores de suporte logístico. Estas medidas facilitam a avaliação quantitativa e qualitativa da mantinabilidade do sistema, objetivando influenciar o projeto e a manufatura/produção de sistemas que sejam efetivamente e eficientemente manuteníveis.

Outras definições de mantinabilidade apresentadas por BLANCHARD *et al.* (1995) são:

- ✓ MIL-STD-721C – “uma característica de projeto e instalação que é expressa como a probabilidade que um item irá ser mantido ou restaurado a uma condição especificada num dado período de tempo, quando a manutenção for realizada de acordo com os procedimentos e recursos prescritos”;
- ✓ “uma característica do projeto da instalação que é expressa como a probabilidade que a manutenção não irá ser requerida por mais que x vezes num dado período, quando o sistema é operado de acordo com os procedimentos prescritos por pessoal devidamente qualificado. Pode ser análogo à confiabilidade, que lida com a freqüência de falha, enquanto a mantinabilidade lida com a freqüência, em geral, de manutenção”;
- ✓ “uma característica do projeto e da instalação que é expressa como a probabilidade que o custo de manutenção, para um sistema ou produto, não irá exceder a um determinado valor por um período de tempo projetado, quando o sistema é operado e mantido de acordo com os procedimentos prescritos. O custo precisa estar relacionado a fatores de consumo de recursos logísticos e humanos como também sobre reflexos ambientais, com o seus valores em dólar”.

A ABNT (1994) define mantinabilidade como “a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos”.

Já DIAS (1996) a define como “a probabilidade de restabelecimento das condições necessárias para o bom funcionamento de um sistema, dentro de um certo período previamente estabelecido”.

CASCONE, citado por DIAS (1995), define também como “a probabilidade de recolocar em serviço o elemento (componente, equipamento, sistema, etc.) em um dado tempo(t), ou seja, do elemento retornar ao estado de bom funcionamento (em operação)”.

Assim, pelas definições acima apresentadas, pode-se concluir que mantinabilidade é:

- ✓ o conjunto de características relacionadas ao projeto dos sistemas de engenharia ou produtos que os capacita em facilidade, precisão, segurança e economia em ser mantidos;

- ✓ é mensurável por fatores quantitativos ou qualitativos. Para tal refere-se a mensuração através da utilização de métodos estocásticos, determinísticos ou mesmo comparativos (Ex.: é mais fácil manter um equipamento que outro, a manutenção de um item proporciona menor risco humano que outro e assim por diante). Por ser mensurável, a mantinabilidade pode ser graduada num sistema de engenharia: um sistema que possua boas características de mantinabilidade proporcionará melhores resultados na manutenção de sua operacionalidade.
- ✓ uma característica de projeto cujo aproveitamento máximo está condicionado à execução das ações de manutenção calcadas em procedimentos e recursos prescritos. Sob recursos entende-se as necessidades de recursos humanos, de equipamentos de testes, de ferramental, de instalações prediais e de suporte logístico;

Conclui-se do conceito de mantinabilidade que a capacidade de manutenção de um sistema de engenharia está condicionada às decisões tomadas quando do seu projeto. Para tal, a vertente da atividade de projeto que dedica-se à inserção de características de mantinabilidade num sistema é o projeto para mantinabilidade.

3.2 O projeto para mantinabilidade

As principais características consideradas num projeto para mantinabilidade são: padronização, modularização, montagem funcional, intercambialidade, acessibilidade e isolamento da falha (PRADHAN, 1996).

A incorporação destas características de mantinabilidade no projeto dos sistemas reduz, em geral, o custo do ciclo de vida e gera vantagens competitivas. Contudo, é mais frequente somente identificar os custos iniciais do ciclo de vida dos sistemas, associados com o projeto, desenvolvimento e manufatura, dado que são bem conhecidos e possuem bancos de dados históricos para previsão. Os custos de longo prazo, associados com a distribuição, operação, suporte e descarte, são freqüentemente ocultos. A Figura 3-1 ilustra a falta de visibilidade do custo total (*efeito iceberg*), indicado por experiências que evidenciam uma longa percentagem dos custos de longo prazo (cerca de 75%) no custo de vida total do sistema (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; BLANCHARD *et al.*, 1995).

A não identificação dos custos de longo prazo decorre da falta de critérios quando da análise e seleção para compra de novos equipamentos. Neste instante, os aspectos financeiros imediatos (preço, condições de pagamento e financiamento) são, na grande maioria das vezes, priorizados. Os custos de longo prazo são, até, muitas vezes ignorados ou mesmo somente considerados quando da ocorrência da primeira falha (PRADHAN, 1996). Como para compor o

preço de venda faz-se necessidade basicamente dos custos de projeto, desenvolvimento e manufatura, perde-se o interesse em trabalhar os custos posteriores. Quando muito, em alguns casos, há o acompanhamento dos sistemas durante a fase de garantia.

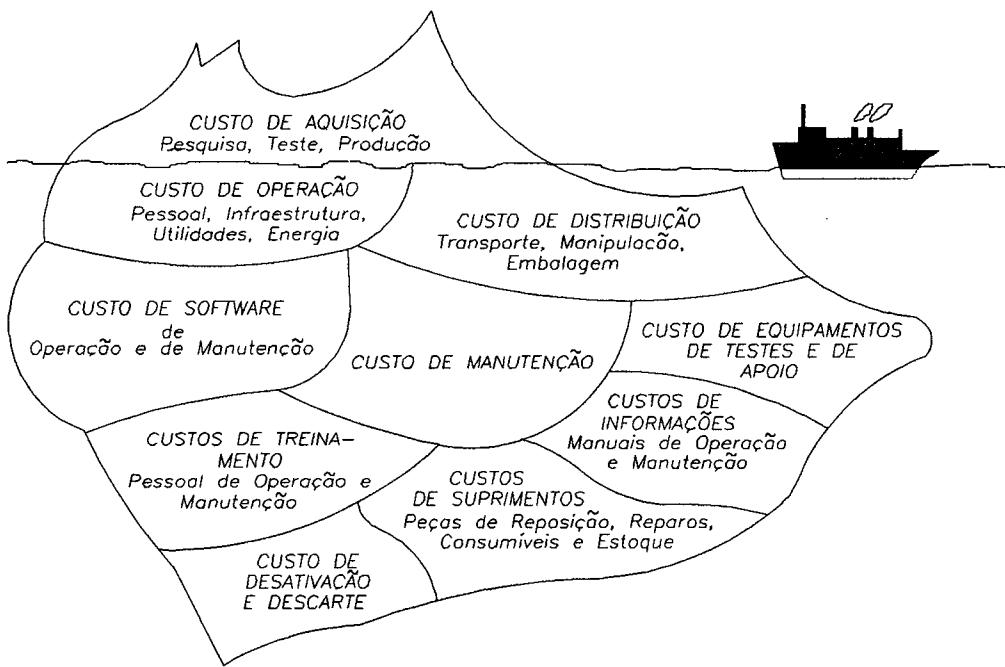


Figura 3-1: Efeito Iceberg – visibilidade do custo total de um produto (BLANCHARD *et al.*, 1995)

Da experiência, BLANCHARD *et al.* (1995) acredita que a implementação de requisitos de mantinabilidade, particularmente, com respeito a muitas indústrias já em operação, pode fornecer significativos benefícios aos seus sistemas de forma a promover uma melhor eficácia e produtividade em geral. Com vistas a saltos de evolução tecnológicos é muito necessário, em todos os momentos, a criteriosa análise dos aspectos de operação, manutenção e suporte do sistema/produto durante a etapa de utilização. Contudo, ainda cita que embora esta abordagem de projeto não seja nova, práticas passadas evidenciam uma forma mais seqüencial: projeto do sistema considerando somente as características funcionais mais importantes para então construir um protótipo e determinar como deve ser produzido e, finalmente, assistido. Essa abordagem fixa de projeto tem se mostrado tão custosa quanto a alternativa de incorporação de alterações na configuração de projeto durante o ciclo de vida do sistema, além de resultar, em muitos sistemas que não vão de encontro nem com os requisitos básicos pretendidos, nem com os requisitos de eficiência em relação ao custo em termos de operação e suporte. Adicionalmente destaca que:

- ✓ o desempenho apresentado por um sistema de engenharia é consequência das decisões tomadas em todos os estágios do seu ciclo de vida – lista de especificação, projeto,

- manufatura, montagem, controle de qualidade, distribuição e transporte, operação/manutenção;
- ✓ o custo total do ciclo de vida dos sistemas é muito influenciado pelas decisões tomadas nas fases iniciais do projeto, isto é, as decisões tomadas que retratam a utilização de novas tecnologias, a seleção de componentes e materiais, a identificação do esquema de montagem, rotinas de diagnóstico, seleção de processo de manufatura e políticas de suporte e manutenção.

Portanto, o projeto e o desenvolvimento de sistemas de engenharia deve considerar os seus elementos de uma forma integrada. Deve visualizar o sistema a longo prazo, dentro das perspectivas de todas as etapas do seu ciclo de vida pois, quando a confiabilidade e a mantinabilidade não são consideradas, riscos de altos custos de manutenção e suporte são passíveis, o que gera um definitivo comprometimento da eficácia ou produtividade.

Para aqueles sistemas já em operação/manutenção, uma avaliação interativa pode ser iniciada para determinar os itens relevantes de geração de altos custos. Para tal BLANCHARD *et al.* (1995) indica a utilização de uma análise de custo de ciclo de vida. Muitas vezes, em se determinando os relacionamentos causa e efeito, encontra-se o causador dos altos custos que, geralmente, é resultado de algum componente não confiável ou um item não manutenível. Nestes casos, a incorporação de melhorias de confiabilidade e mantinabilidade no projeto pode levar ao aumento da eficácia do sistema e à redução do custo do ciclo de vida. Aqui, a utilização de ferramentas mantenibilísticas, tais como modelos de análise e de predição, podem ajudar à execução deste objetivo.

Assim, torna-se imperioso a implementação de mecanismos de informação que retornem ao projetista dados de desempenho da operação e manutenção dos equipamentos possibilitando o concatenamento de questionamentos criteriosos, contínuos, para identificação dos pontos passíveis de melhoria dos índices de confiabilidade e mantinabilidade ao longo de seu ciclo de vida que refletirão nos resultados de disponibilidade, segurança e custos operacionais – *feedback* do ciclo de uso(Figura 3-2)(BLANCHARD *et al.*, 1995; DIAS, 1996; KELLY, 1989).

O projeto para mantinabilidade é uma das diversas especialidades envolvidas no desenvolvimento de um projeto que objetivam melhorar certas habilidades específicas do sistema de engenharia como: projeto para o meio ambiente; projeto para a manufatura e montagem (DFMA); projeto para modularidade; projeto para fabricabilidade; projeto para confiabilidade dentre outros. Embora estas especialidades trabalhem distantes uma das outras, devem

aperceber-se que o projeto ideal é aquele que promove o equilíbrio apropriado entre os diversos atributos em prol da eficácia e eficiência global do produto.



Figura 3-2: A interface da operação/manutenção com o ciclo de vida dos produtos (KELLY, 1989)

Contudo, encontrar o melhor equilíbrio entre todos os parâmetros, é difícil, pois muitas vezes um objetivo vai de encontro a outro – enquanto algumas características proporcionam eficácia, também causam custo ou prejuízo em relação a outro objetivo. Em essência deve ser incorporado somente as características necessárias para alcançar as especificações, nem tanto, nem tão pouco. Os atributos de projeto e os elementos de suporte logístico devem estar bem equilibrados para dar o ponto ótimo de eficácia a um custo de ciclo de vida balanceado, não apenas procurando a satisfação da performance (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

Por outro lado, havendo interesses convergentes entre as especialidades, os atributos devem ser bem explorados. É o caso do DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) em melhorar as características de montabilidade ao passo que melhora as características de manutenibilidade dos equipamentos, pois proporciona maior agilidade e facilidade às desmontagens e remontagens do sistema/produto. Segundo SOUSA (1998) um projeto de produto bem concebido sob metodologia do DFMA pode auxiliar a redução dos problemas de manutenção e melhorar a taxa de falha. Cita algumas técnicas que, facilitando a montagem, facilitam a manutenção: substituição de parafusos por *snaps*, montagens unidireccionais, emprego

de autofixadores, padronização de componentes (eliminação de variedade muito grande de tipos de parafusos e roscas num mesmo produto), montagens modulares, redução de parte, projeto de partes com características de auto-localização como chanfros, “*dimples*” e “*tab-in-slot*”, redução dos níveis de montagem, projeto de peças fáceis de manipular com evidência de simetrias ou assimetrias, redução de emaranhamentos de peças, peças que tenham estabilidade evitando que as submontagens possam cair ou rolar providenciando características que as permitam repousarem firmemente na orientação correta para a montagem e o projeto concebendo uma seqüência ótima de montagem.

3.3 Medidas de mantinabilidade

Os requisitos de mantinabilidade precisam ser delineados em termos quantitativos e qualitativos desde o início do projeto de um sistema de engenharia para que, em cada fase do ciclo de vida, sejam avaliados e assim possibilitando a implementação de medidas corretivas. A avaliação deve ser feita através de uma série de predições, estimativas, análises e demonstrações de medidas que se relacionam à habilidade do equipamento ser mantido: as “MEDIDAS DE MANTENABILIDADE” (BLANCHARD *et al.*, 1995).

Assim, as medidas de mantinabilidade são medidas quantitativas e qualitativas apropriadas que precisam ser identificadas e definidas de forma a representar e modelar as características de mantinabilidade de um sistema. São medidas que, colhidas junto à manutenção dos sistemas já em operação, formam um importante conjunto de informações que podem ser usadas para avaliação da capacidade do sistema em ser mantido, indicando os requisitos, especificações e atribuições que necessitam de melhoria em reprojetos ou mesmo em projetos futuros de sistemas similares.

As medidas de mantinabilidade mais comuns estão esquematizadas na Figura 3-3 e serão comentadas a seguir (BLANCHARD *et al.*, 1995).

3.3.1 Fatores de confiabilidade

A confiabilidade é uma medida relacionada à mantinabilidade pois a freqüência de manutenção é influenciada pela confiabilidade do sistema. É definida como “a capacidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo” (ABNT, 1994) e envolve o relacionamento de 04 entidades principais: probabilidade, comportamento adequado, período de uso (ou de vida) e condições de uso (DIAS, 1996). Ou seja, a intenção de mensurar a confiabilidade deve relacionar medidas estocásticas de tempo associadas a padronizações de fabricação e uso, objetivando a avaliação da probabilidade do

sistema não falhar. Envolvem medidas de freqüência de falha, distribuições de freqüência e freqüência acumulada, modelos de distribuição probabilísticos, probabilidade de sobrevivência e curvas de crescimento de confiabilidade.

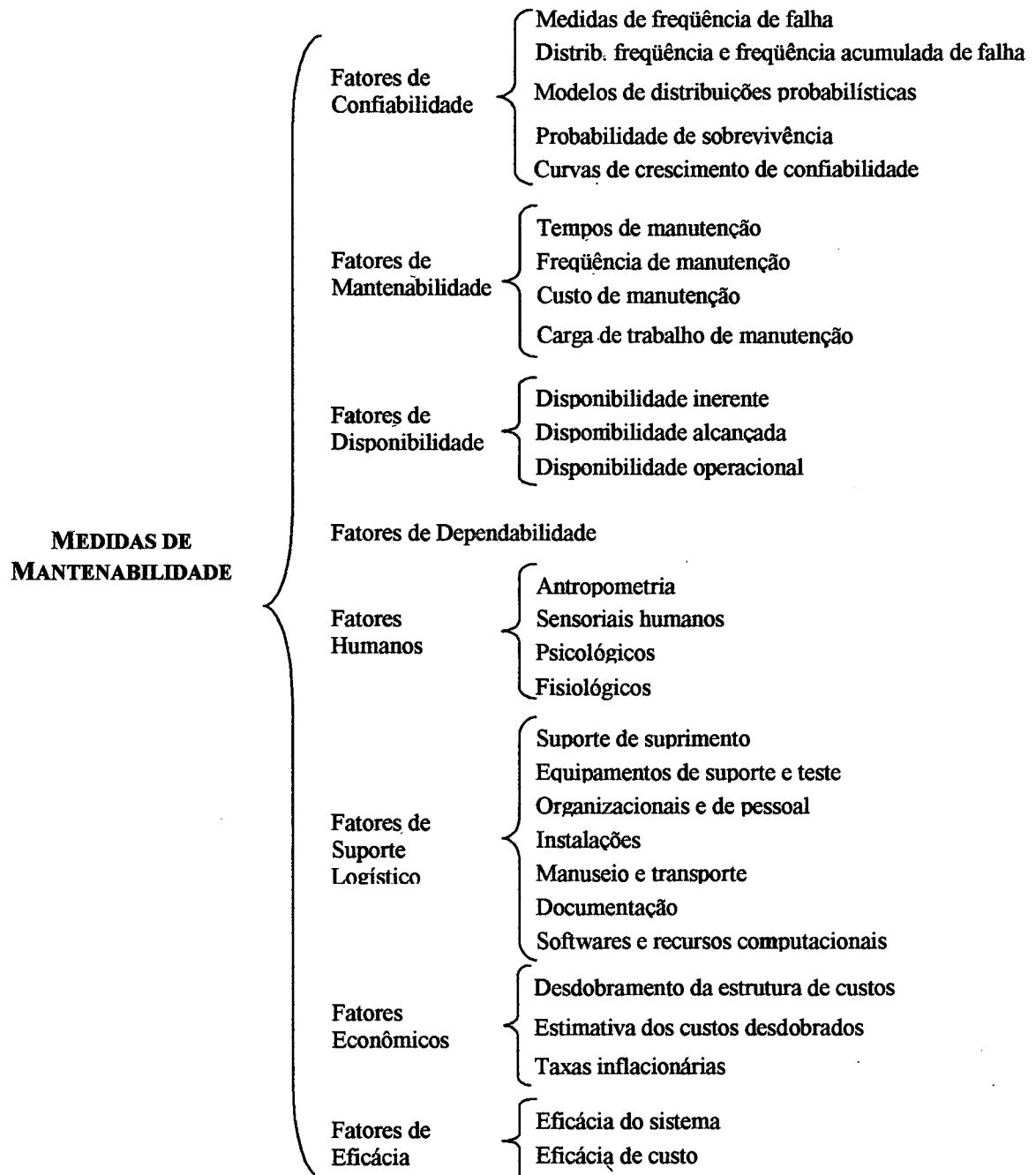


Figura 3-3: Medidas de manutenibilidade (BLANCHARD *et al.*, 1995)

3.3.1.1 Medidas de freqüência de falha

As principais medidas de freqüência de falhas são a taxa de falha(λ) e MTBF (esperança matemática do tempo entre falhas de um item). A taxa de falha(λ) é o número de falhas por tempo de operação. No caso de λ constante, a MTBF é a medida inversa da taxa de falha, tempo médio de operação por falha, ou seja, $1/\lambda$.

Outras medidas também utilizadas para referir a freqüência em que as falhas ocorrem são o MTTF (tempo médio até falha) e o MTFF (tempo médio até a primeira falha). O MTTF pode ser medido pelo número total de horas de operação para uma dada população de sistemas dividido pelo número total de falhas da população em um dado tempo de referência. De forma similar o MTFF pode ser medido, observando apenas que é aplicada para avaliação do tempo da primeira falha em componentes reparáveis.

Para análise destes fatores de freqüência algumas observações são importantes:

- ✓ definição da falha e do tempo de operação: para determinação da freqüência com que uma falha ocorre, deve-se definir a falha que será analisada juntamente com o período de tempo de coleta dos eventos de falha;
- ✓ relacionamentos série / paralelo: a taxa de falha total de um sistema é a combinação das taxas de falha de cada item do sistema. Para seu cálculo, é necessário identificar como a combinação das falhas de cada item contribuem para a falha do sistema total. Os diagrama de blocos da confiabilidade ilustram os relacionamentos entre as falhas de cada item através de associações *série* e *paralelo*. Para o cálculo da taxa de falha total do sistema as relações em paralelo devem ser calculadas prioritariamente (BILLINTON & ALLAN, 1983);
- ✓ redundâncias passivas ou ativas: em redundâncias ativa, cada item redundante está em operação durante a operação do sistema. Pode também ser classificados em completo, parcial ou condicional. No caso de redundância passiva, ou redundância de prontidão (ABNT, 1994), os itens redundantes são ativados apenas sob a falha de um item operacional. O item redundante pode ser similar ou diferente do item operante.

3.3.1.2 Distribuições de freqüência (histogramas) e freqüência acumulada

A base para a estimativa de confiabilidade é a investigação amostral de falhas do item para qualificar a natureza e o grau de incerteza. Em não se coletando e registrando corretamente os dados de falha no tempo, todo o trabalho restante de apropriação de valores de confiabilidade estarão comprometidos. Ou seja, a validade da análise de confiabilidade está na validade do conjunto de amostras em representar a realidade do comportamento das falhas (DIAS, 1996).

Há muitos métodos de organização, apresentação e redução dos dados observados que facilitam a observação e a avaliação (BENJAMIN & CORNELL, 1970). Dentro deste universo, na representação gráfica dos dados de falha coletados no tempo, duas distribuições são utilizadas: as distribuições de freqüência (histogramas) e as distribuições de freqüência acumulada de falha (Figura 3-4).

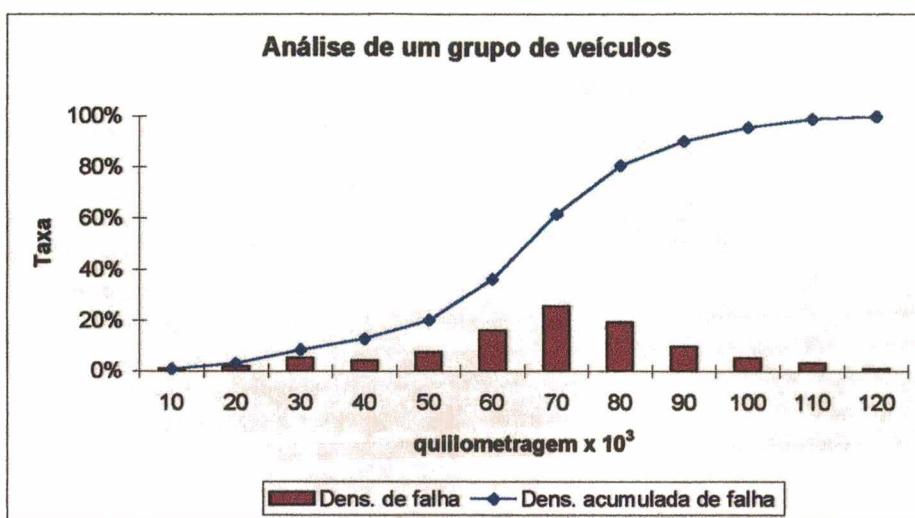


Figura 3-4:Curvas de densidade de falha e densidade acumulada de falha

Na distribuição de freqüências (barras vermelhas), os dados são agrupados em intervalos de tempo proporcionando uma visualização das freqüências (em valores percentuais do total) em que as falha ocorrem em cada intervalo. A distribuição freqüência acumulada de falha (linha azul contínua) é calculada da distribuição de freqüência, somando-se as parcelas sucessivas de cada intervalo. Os pontos de cada soma são plotados e conectados por uma reta. Assim, esta distribuição representa a quantidade de falhas ocorridas até um tempo “t” de operação. Observa-se que para $t \rightarrow \infty$, a taxa de ocorrência das falhas tende a 1 (ocorrência de 100% das falhas)(BENJAMIN & CORNELL, 1970).

3.3.1.3 Modelos de distribuição probabilísticos

Os modelos de distribuição probabilísticos são modelos matemáticos que buscam descrever o comportamento de problemas físicos regidos por variáveis aleatórias. Em estudos de confiabilidade, buscam descrever matematicamente o comportamento da falha no tempo através de modelos matemáticos similares às distribuições de freqüência e freqüência acumulada – as funções densidade e densidade acumulada. Mesmo em casos onde não haja um modelo matemático similar a uma distribuição de freqüência particular, é conveniente ter uma função

matemática simples para descrição do comportamento da falha (BENJAMIN & CORNELL, 1970).

Os modelos de distribuição probabilísticos são definidos a partir de parâmetros representativos da amostra como média, desvio padrão, variância e taxas de falha.

Dois modelos bastante utilizados para representar as distribuições amostrais dos momentos de falhas são:

- ✓ **exponencial:** empregada nos casos onde a taxa de falha (λ) é essencialmente constante durante a vida útil de operação do sistema. A vida média neste caso refere-se ao tempo de vida médio de todos os itens sob consideração e é igual ao MTBF para a função densidade exponencial.

$$f(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.1)$$

- ✓ **Weibull:** a distribuição de Weibull se caracteriza por não possuir um formato característico. A partir da determinação de três parâmetros ela pode se flexibilizar da melhor forma possível aos resultados experimentais e operacionais. Os parâmetros são: β = parâmetro de forma; γ = parâmetro de vida inicial ou de localização; e α = parâmetro de escala ou vida característica. A função densidade de falha geral da distribuição de Weibull é dada por (DIAS, 1996):

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha} \right)^\beta}, \quad (3.2)$$

onde $t > 0$, $\beta > 0$ e $\alpha > 0$.

Em casos onde a vida inicial (γ) é muito pequena em relação ao parâmetro de vida ($\gamma \ll t$) pode-se desprezar γ .

3.3.1.4 Probabilidade de sobrevivência

A probabilidade de sucesso ou sobrevivência do sistema em cumprir uma missão é consequência da utilização dos modelos de distribuição probabilísticos. Assim, por consequência, a determinação da probabilidade de sobrevivência é função da representação amostral das falhas e do modelo matemático escolhido para representá-la. Com o uso da função matemática que descreve o comportamento da falha no tempo, pode-se calcular a expectativa aproximada do sistema não falhar no próximo período “ t ” de uso. Inversamente, é também possível calcular a probabilidade de falha, ou seja, qual o risco do sistema falhar no mesmo período “ t ”.

3.3.1.5 Curvas de crescimento de confiabilidade

Sistemas novos freqüentemente apresentam uma baixa confiabilidade durante as fases iniciais de desenvolvimento. A confiabilidade de sistemas pode ser melhorada pela análise e aplicação de algumas experiências dos modos de falha. Neste sentido, BLANCHARD *et al.* (1995) cita JAMES T. DUANE – anos 60 -, o qual fez um relacionamento empírico baseado no MTBF_c -acumulativa - e a MTBF_s – inicial (Figura 3-5).

$$\text{Log}(\text{MTBF}_c) = \log(\text{MTBF}_s) + \log\beta(T), \quad (3.3)$$

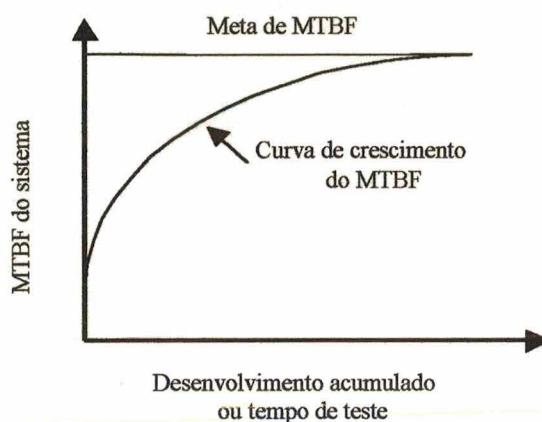


Figura 3-5: Curva de crescimento da confiabilidade (BLANCHARD *et al.*, 1995)

Onde T é o tempo operacional total ou de teste e β a inclinação que indica a eficácia do programa de crescimento de confiabilidade e tem uma forte correlação com a intensidade do esforço do ensaio. Uma dada curva de crescimento de confiabilidade pode também ser usada para avaliação do teste requerido para obter o objetivo final de confiabilidade do sistema.

Neste sentido, com o objetivo de aumentar a confiabilidade de seus veículos, principalmente em altas milhagens, a Chrysler Corporation, através do trabalho desenvolvido por HSIEH & LU (1980) desenvolveu um levantamento dos dados de falhas dos veículos e das reclamações dos seus clientes e implementou análises confiabilísticas, tendo, como resultado, o aumento de confiabilidade de seus produtos e a diminuição de reclamação dos usuários.

3.3.2 Fatores de manutenibilidade

3.3.2.1 Medidas de tempo de manutenção

A manutenibilidade é freqüentemente medida em termos do tempo requerido para realizar uma manutenção. Ou seja, quanto mais rápido o sistema sofre manutenção, melhor é sob a ótica

da manutenabilidade. A Figura 3-6 esquematiza os fatores de tempo de manutenção mais comuns. A seguir serão comentados os principais:

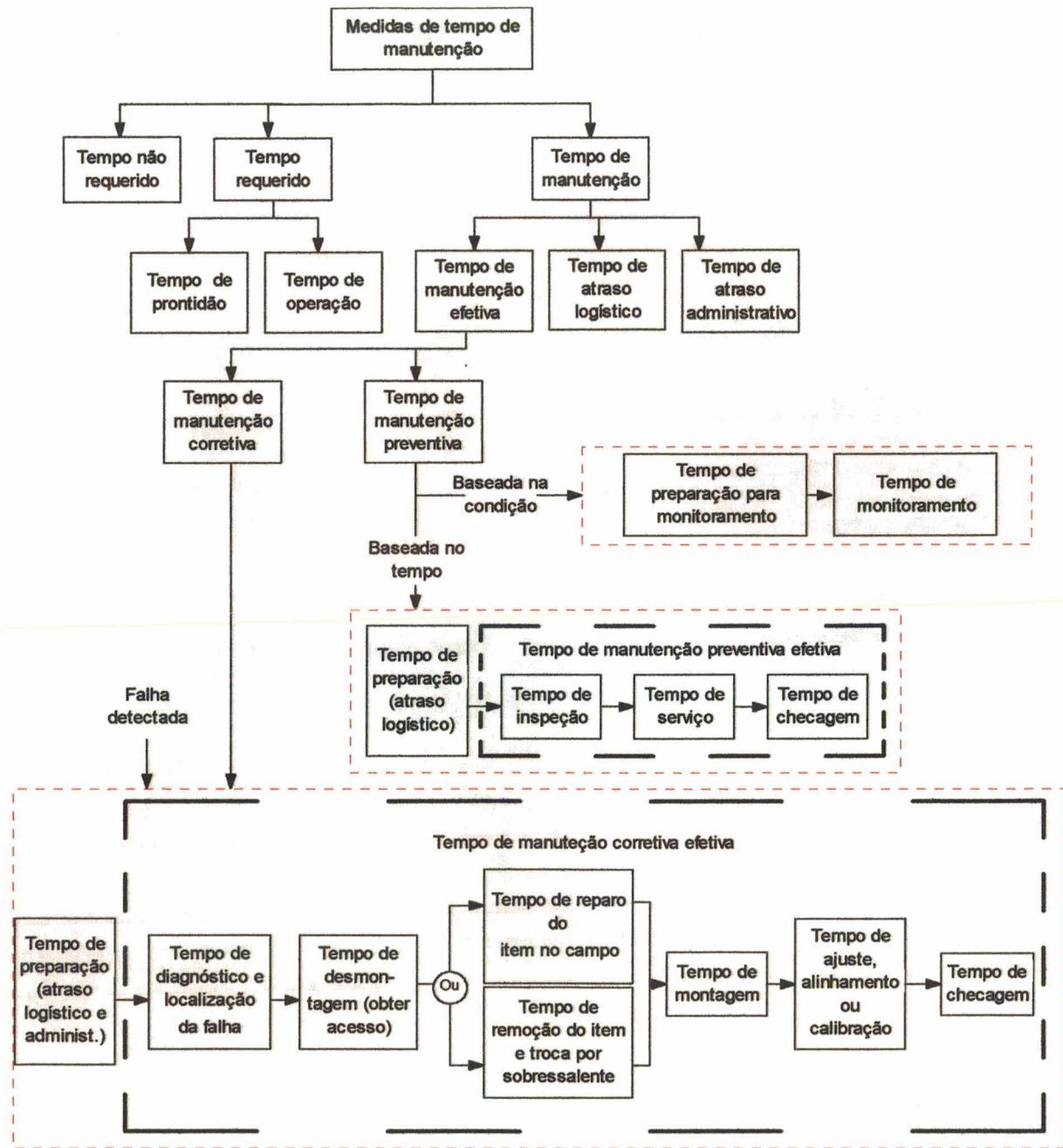


Figura 3-6: Medidas de tempo de manutenção (BLANCHARD *et al.*, 1995)

- ✓ **Tempo médio de manutenção corretiva efetiva (\bar{M}_{ct}):** é o tempo de restabelecimento médio – MTTR – e ocorre em resposta à interrupção da operação causada por uma falha inesperada. Como há quase sempre uma necessidade para restauração num tempo mínimo, máxima

ênfase é dada na redução do tempo de manutenção corretiva, a nível geral, do sistema. Um rápido diagnóstico, localização e isolamento da falha (com o uso de sensores e alertas, bons procedimentos de manutenção e pessoal bem treinado) junto com uma concepção de manutenção “remova e troque”, com acessibilidade, intercambialidade e consideração das medidas antropométricas da peça, pode reduzir o tempo do sistema fora de operação. Reparos mais longo podem ser melhor tolerados quando o componente estiver fora do sistema.

Para apropriação numérica da \bar{M}_{ct} duas formas de análise são possíveis:

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum (\lambda_i)(M_{cti})}{\sum \lambda_i} \quad (3.4)$$

onde λ_i = taxa de falha de cada modo de falha, ou:

$$\bar{M}_{ct} = \frac{\sum M_{cti}}{i}, \quad (3.5)$$

A média aritmética dos ciclos de manutenção corretivas individuais para um número qualquer de ações de manutenções específicas.

O modelo de distribuição probabilística do tempo de manutenção corretiva efetiva geralmente é apresentado numa das seguintes formas:

- Normal: aplicada a muitos componentes mecânicos e eletro-mecânicos, geralmente com uma concepção de manutenção “remova e troque” e onde a maioria das tarefas individuais têm pouca variação em relação ao tempo de duração médio. A função densidade de falha geral da distribuição normal é dada por (ANG & TANG, 1975; O'CONNOR, 1985);

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.6)$$

onde σ = desvio padrão da amostra; μ = média da amostra; e x = variável de tempo de duração da tarefa;

- Exponencial: algumas vezes assumida para equipamentos eletrônicos com uma boa capacidade de teste embutido e uma rápida remoção e troca particularmente quando aplicado para propósito de modelos confiabilísticos (equação 3.1). É caracterizada por taxa de falha constante, manifesta no período de vida útil;
- Log-normal: aplicada a muitos equipamentos eletrônicos sem a capacidade de teste embutida e, consequentemente, com muitas tarefas possuindo uma duração considerável. Pode ser aplicada a equipamentos eletro-mecânicos com larga variação de tempos

individuais de reparo. A função densidade de falha da distribuição log-normal é dada por (ANG & TANG, 1975; O'CONNOR, 1985):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot x (2\pi)^{1/2}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2}, \text{ para } x \geq 0 \quad (3.7)$$

onde σ , μ e x têm os mesmos significados explicados na equação 3.6.

- ✓ Tempo médio de manutenção preventiva efetiva (\bar{M}_{pt}): São consideradas manutenções preventivas: inspeções, calibrações, trocas periódicas, revisões e ajustes. O cálculo da \bar{M}_{pt} é similar ao cálculo da \bar{M}_{ct} , somente observando a substituição da taxa de falha pela freqüência da preventiva na equação 3.4:

$$\bar{M}_{pt} = \frac{\sum (f_{pt_i}) (M_{pt_i})}{\sum f_{pt_i}}, \quad (3.8)$$

Onde f_{pt_i} é a freqüência da i_{th} preventiva do sistema em operação.

- ✓ Tempo mediano de manutenção corretiva (\tilde{M}_{ct}): corresponde à mediana, ou seja 50% dos maiores e menores tempos de reparos corretivos;
- ✓ Tempo mediano de manutenção preventiva (\tilde{M}_{pt}): similar à \tilde{M}_{ct} ;
- ✓ Tempo máximo de manutenção corretiva (M_{max}): representa uma porcentagem na qual são realizados uma porcentagem específica de todos os tempos de manutenção corretiva. Ou seja, especifica o limite de tarefas que são permitidas exceder a uma dado tempo de reparo;
- ✓ Atraso administrativo (ADT): tempo acumulado durante o qual uma ação de manutenção corretiva não é efetuada por razões administrativas (ABNT, 1994), ou seja, alguma prioridade administrativa ou restritiva, ou qualquer outra causa não considerada e incluída na LDT. Ex.: análise de prioridades de trabalho e greves;
- ✓ Atraso logístico (LDT): tempo acumulado durante o qual uma ação de manutenção não pode ser executada devido à falta de recursos necessários, excluindo-se qualquer atraso administrativo (ABNT, 1994), ou seja, falta de sobressalente, teste, equipamento de suporte, uma instalação, um serviço ou procedimento, recurso humano e outros. Pode incluir o tempo de execução de tarefas administrativas como o preenchimento de formulários;
- ✓ Tempo médio de manutenção efetiva (\bar{M}): tempo médio para realizar as tarefas de preventiva e corretiva. Nesta não são considerados os atrasos logístico e administrativos. Pode ser calculada por:

$$\overline{M} = \frac{(\lambda)(\overline{M}_{ct}) + (f_{pt})(\overline{M}_{pt})}{\lambda + f_{pt}} \quad (3.9)$$

- ✓ **Tempo de manutenção - Maintenance Downtime (MDT):** É a soma dos tempos totais requeridos para reparo e restauração, manual ou automática. MDT é geralmente expresso em valores médios e é função dos tempos médios de corretiva ou preventiva, suas freqüências relativas e dos atrasos administrativos e logísticos. Pode ser calculado por:

$$MDT = \overline{M} + ADT + LDT \quad (3.10)$$

- ✓ **Tempo de inatividade do equipamento devido a manutenções corretivas (T_D):** é a previsão do tempo necessário para executar todas as corretivas num certo período. T_D é uma função das freqüências de manutenções corretivas dos diversos modos de falha, do tempo de realizar as tarefas e do período de interesse.
- ✓ **Probabilidade de não estar apto (P_D) e probabilidade de estar apto(P_u):** a probabilidade que um sistema estará parado em qualquer período de tempo (P_D), pode ser dado por:

$$P_D = \frac{T_D}{T_m} = \frac{T_m(\overline{Mct}_m)}{T_m(MTBF + \overline{Mct}_m)} = \frac{\overline{Mct}_m}{MTBF + \overline{Mct}_m}, \quad (3.11)$$

onde \overline{Mct}_m é o tempo médio em relação a cada modo de falha e T_m é o tempo total de missão ou ciclo operacional, ou seja, o tempo em que o sistema irá operar.

Inversamente, o tempo em que o sistema estará apto ou operacional (P_u) pode ser dado por:

$$P_u = 1 - P_D = \frac{MTBF}{MTBF + \overline{Mct}_m} \quad (3.12)$$

A probabilidade de 02 unidades semelhantes, com taxa de falha constante, estarem em falha durante o mesmo intervalo de tempo (situação de redundância) é:

$$P_D(2\text{unidades}) = \left(\frac{\overline{Mct}}{MTBF + \overline{Mct}} \right)^2, \quad (3.13)$$

onde $MTBF = 1 / \Sigma\lambda$, o somatório das taxas de falha constantes.

Quando mais de duas unidades em paralelo são envolvidas, a probabilidade do equipamento estar em falha é determinada alterando o expoente para o total de unidades em paralelo.

- ✓ **Tempo requerido:** intervalo de tempo durante o qual o usuário exige que o item esteja em condições de desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).

- ✓ **Tempo não-requerido:** intervalo de tempo durante o qual o usuário não exige que o item esteja em condições de desempenhar uma função requerida (ABNT, 1994).
- ✓ **Tempo de prontidão:** intervalo de tempo durante o qual o item está em estado de prontidão.

3.3.2.2 Medidas de freqüência de manutenção

A freqüência de manutenção corretiva é função de sua correspondente taxa de falha. Já a freqüência da preventiva depende, dentre outros fatores, da previsão de desgaste e da tendência do comportamento do sistema. Dois fatores de freqüência de manutenção comumente adotados são:

- ✓ **Tempo médio entre manutenção (MTBM):** é função da freqüência de ações de manutenção programada ou não. Pode ser calculada por:

$$\text{MTBM} = \frac{1}{\frac{1}{\text{MTBM}_u} + \frac{1}{\text{MTBM}_s}} \quad (3.14)$$

Onde “s” refere-se a manutenções preventivas e “u” a corretivas.

Observa-se que MTBM_u é, aproximadamente, igual a MTBF pois refere-se a todas as falhas que ocorrem no sistema. Também é salutar destacar que a MTBM se aproxima de MTBF na ausência de manutenções preventivas.

- ✓ **Tempo médio entre substituições (MTBR) ou tempo médio entre demanda (MTBD):** são fatores significativos de MTBM pois, aplicado tanto a manutenções corretivas quanto a preventivas, refletem o impacto sobre a capacidade de suporte logístico do sistema. A gerência de manutenção deve objetivar sempre estender o MTBR de um item, contudo preservando as vantagens sobre os custos indiretos relacionados a uma falha como, por exemplo, a não produção.

3.3.2.3 Medidas de custo de manutenção

Os custos diretos de manutenção são obtidos com base nas ações de manutenção, tanto planejadas como não planejadas, e são mensurados baseados no consumo de recursos utilizados na realização das manutenções e nos custos do suporte logístico necessário. Já os custos indiretos referem-se a custos relacionados com a consequência da falha: não produção, indenizações, perda de contratos, acidentes de trabalho e outros.

Na Figura 3-1 estão inclusos, dentre outros custos do ciclo de vida de um sistema, os custos diretos relacionados à manutenção dos sistemas: custo de manutenção, treinamento, testes e equipamentos de suporte, softwares, dados técnicos e suporte de suprimento.

Alguns exemplos de fatores de custo de manutenção são:

- ✓ custos de manutenção/hora de operação do sistema (\$/OH);
- ✓ custos de manutenção/ação de reparo;
- ✓ custo de manutenção/mês (\$/mês);
- ✓ custo de manutenção/missão ou fase da missão;
- ✓ taxa de custo de manutenção para o custo de ciclo de vida total do sistema;
- ✓ custos de manutenção relacionados à limpeza do meio ambiente.

3.3.2.4 Medidas de utilização de mão de obra de manutenção

Freqüentemente é possível reduzir tempos de manutenção pelo aumento de pessoal. Contudo esta opção deve ser bem analisada em relação à eficiência em relação ao custo. Ou seja, para um sistema ser altamente manutenível, deve haver equilíbrio entre período de tempo, horas de trabalho, qualificação de pessoal, equipamentos de suporte e instalações apropriadas. Exemplos de alguns fatores relacionados à utilização da mão de obra de manutenção são:

- ✓ custos de manutenção relacionados à limpeza do meio ambiente;
- ✓ tempo de manutenção em homens-hora por ação de manutenção (MMH/OS);
- ✓ tempo de manutenção em homens-hora por mês (MMH/mês);
- ✓ tempo de manutenção em homens-hora por hora de operação (MMH/OH);
- ✓ tempo de manutenção em homens-hora por missão ou fase de missão (MMH/missão).

3.3.3 Fatores de disponibilidade

Disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, mantinabilidade e suporte logístico, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados(ABNT, 1994). Ou seja, a disponibilidade reflete a capacidade de utilização de um item que pode ser um componente, um sistema mecânico, um equipamento ou o conjunto destes. O termo disponibilidade também é usado como medida de desempenho da disponibilidade (ABNT, 1994).

BLANCHARD *et al.* (1995), para medir a disponibilidade, sugere três índices distintos:

3.3.3.1 Disponibilidade Inerente (A_i)

Probabilidade do sistema operar satisfatoriamente quando necessário em qualquer momento sob as condições operacionais especificadas e o ambiente de suporte logístico ideal. Não considera os tempos de atrasos administrativos e logísticos. Exclui as tarefas de preventiva.

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + Mct} \quad (3.15)$$

3.3.3.2 Disponibilidade Alcançada (A_a)

Disponibilidade inerente, considerando as tarefas de preventiva.

$$A_a = \frac{MTBM}{MTBM + M} \quad (3.16)$$

3.3.3.3 Disponibilidade Operacional (A_o)

Probabilidade de operação sob condições especificadas e num ambiente de suporte logístico real. É uma medida mais próxima da realidade pois considera também os tempos de atrasos logísticos e administrativos.

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3.17)$$

As disponibilidades inerente e alcançada podem ser especificadas nos contratos de suprimento de sistemas devido à pouca, se alguma, interferência da capacidade do suporte e atrasos logístico associados à estrutura de manutenção das empresas. A disponibilidade operacional, por sua vez, precisa ser considerada quando de uma análise real do sistema como um todo, estando associado à capacidade de suporte no ambiente real do usuário.

A disponibilidade também é definida como a probabilidade do sistema estar em estado operacional (CLOUGH & PENZIEN, 1975; MONCHY, 1989). Neste sentido, associado à probabilidade do equipamento não estar em estado operacional, ou indisponibilidade, o equipamento alterna períodos de estar disponível e não disponível. Esta mudança contínua de estados randônicos pode ser mensurada com a utilização do modelo de Cadeias de Markov. Através destes, é possível mensurar a probabilidade do equipamento estar em estado operacional (S) ou não operacional(F) num dado tempo futuro (CLOUGH & PENZIEN, 1975). A Figura 3-7 ilustra a transição contínua entre estado onde $\lambda(t)\Delta t$ representa a probabilidade do item falhar num dado tempo “t”, $\mu(t)\Delta t$ a probabilidade do equipamento ser reparo no tempo “t”.

Os termos “ $1-\lambda(t)\Delta t$ ” e “ $1-\mu(t)\Delta t$ ” representam as respectivas funções complementares, probabilidade do equipamento continuar em operação, ou de não falhar, e probabilidade do equipamento não ser reparado no tempo “t”.

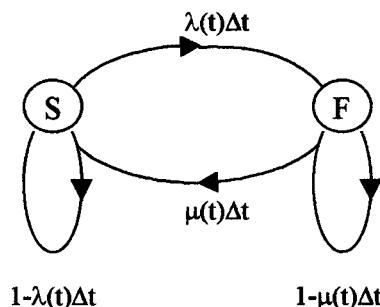


Figura 3-7: Transição de probabilidades entre estados operacional (S) e não operacional (F) (CLOUGH & PENZIEN, 1975)

3.3.4 Fatores de dependabilidade

Segundo a ABNT (1994) dependabilidade é um termo coletivo usado para descrever o desempenho da disponibilidade e seus fatores de influência: confiabilidade, mantinabilidade e suporte logístico de manutenção. BLANCHARD *et al.* (1995) define como a probabilidade de um sistema completar sua missão dado que o sistema estava disponível no início da missão. Assim, para um sistema não operado pelo homem, a dependabilidade será fortemente influenciada pela confiabilidade do sistema.

Embora a ABNT (1994), em observância, mencione ser um termo de descrição genérica sem expressão quantitativa, BLANCHARD *et al.* (1995) apresenta uma formulação matemática para mensuração. Segundo este autor a dependabilidade pode ser medida como:

$$D = R_o + M_o(1 - R_o) \quad (3.18)$$

Onde R_o é a confiabilidade operacional, M_o a mantinabilidade operacional e $(1-R_o)$ a não confiabilidade do sistema ou probabilidade de falha. M_o define-se pela probabilidade de um item ser restaurado a um estado operacional ou mantido neste, dentro de um certo intervalo de tempo, quando a manutenção é realizada por pessoal apropriadamente treinado seguindo os procedimentos e recursos logísticos designados.

Nota-se da equação 3.18 que, se $M_o = 0$, não há pessoal de manutenção envolvido e a expressão se reduz a R_o (confiabilidade do sistema). A capacidade de manutenção é nula. Se $M_o = 1$, todas as ações de manutenção podem ser realizadas dentro do intervalo do tempo especificado, refletindo a situação ideal.

O valor de M_o para reparos isolados é derivado da discussão de tempo de manutenção e depende do formato da distribuição probabilidade de tempo de reparo. Se M_{max} é igual a 34

minutos para 90% dos reparos e o tempo especificado para efetuar os reparos for de 34 minutos, então M_o , é igual a 0,90.

Para situações onde possa ocorrer mais de um tipo de falha durante a missão, M_o pode ser alternativamente expressa como uma relação das taxas de falhas, de todas as combinações, dos itens que possam ser reparados no intervalo de tempo designado (λ^*), e da taxa de falha total de todas as combinações (λ_s), que possam ou não ser reparáveis no tempo determinado.

$$M_o = \frac{\lambda^*}{\lambda_s} \quad (3.19)$$

A equação 3.18 da dependabilidade, pode ser expandida pela consideração das várias combinações de possíveis falhas para:

$$D = R_o \left(1 + \lambda \cdot t M_1 + \frac{(\lambda \cdot t)^2}{2!} M_2 + \dots + \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} M_n \right) \quad (3.20)$$

Onde M_n é a probabilidade de serem corrigidos “ n ” mal-funcionamentos, em todas as combinações de “ n ”, no tempo permitido. BLANCHARD *et al.* (1995) exemplifica: dado um sistema com taxa de falha constante e confiabilidade de 0.37. De acordo com a equação 3.18, a dependabilidade do sistema será também 0.37 na ausência de capacidade de manutenção (Do na Tabela 3-1). Contudo, isto pode ir de encontro a certos requisitos operacionais, tornando-se inaceitável. Buscando aumentar a dependabilidade, considere-se que M_1 , M_2 , M_3 , M_4 e M_5 são iguais a 1.0, 0.9, 0.75, 0.5, e 0.33, respectivamente, para o mesmo sistema. Aplicando este valores na equação 3.20 (Tabela 3-1), a capacidade de serem corrigidas todas as falhas isoladas dentro do tempo permitido, aumenta a dependabilidade do sistema para $D_{(M1)} = 0.738$; a capacidade de serem efetivamente reparadas 90% de todas as combinações de falhas duplas, aumenta a dependabilidade para $D_{(M1,M2)} = 0.902$; e a dependabilidade aumenta para $D_{(M1,M2,M3,M4,M5)} = 0.956$ se 33% de todas as combinações de cinco falhas simultâneas possam ser reparadas no intervalo de tempo determinado.

Assim, o aumento marginal da dependabilidade com o aumento da habilidade de restaurar um grande número de combinações de mal-funcionamentos do sistema é função do produto da taxa de falha do sistema (λ) e do tempo disponível para restaurar (t). Enquanto o número de significativas combinações de mal-funcionamentos é provavelmente pequeno para pequenos valores deste produto, um grande valor é esperado para maiores combinações de falhas ou mal-funcionamentos do sistema.

Tabela 3-1: Variação da dependabilidade com a capacidade de reparos simultâneos num intervalo de tempo determinado(Equação 3.20) (BLANCHARD *et al.*, 1995).

$R=0,37; \lambda.t=-\ln(R)$	
$M_1=1; M_2=0,9; M_3=0,75; M_4= 0,5; M_5=0,33$	
$D_{(0)}$	0,37
$D_{(M1)}$	0,738
$D_{(M1,M2)}$	0,902
$D_{(M1,M2,M3)}$	0,948
$D_{(M1,M2,M3,M4)}$	0,955
$D_{(M1,M2,M3,M4,M5)}$	0,956

3.3.5 Fatores humanos

A preocupação com os fatores humanos visa maximizar a eficácia dos esforços através da consideração do elemento humano como: *fatores antropométricos* (dimensão e características físicas do corpo humano); *fatores sensoriais* (consideração da capacidade de percepção através dos sentidos humanos), *fatores fisiológicos* (impacto do *stress* do ambiente, como temperatura e umidade, na eficiência do homem); *fatores psicológicos* (características da mente humana, como emoção, atitudes de resposta, comportamento e iniciativa, que possam ser afetadas, como por exemplo, por políticas e procedimentos de manutenção que sejam difíceis ou complexas, ou um gerenciamento ou estilo de supervisão que podem levar a frustrações e a atitudes negativas).

3.3.6 Fatores de suporte logístico

O desempenho do suporte logístico da manutenção é definido como a capacidade de uma organização prover, sob demanda, os recursos necessários para manter um item sob condições especificadas e de acordo com uma dada política de manutenção (ABNT, 1994). Também são definidas como medidas de suporte de manutenção o atraso administrativo médio (ADT) e o atraso logístico médio (LDT).

A capacidade de suporte logístico exerce um papel importante sobre os requisitos de mantinabilidade dos sistemas de engenharia já que a eficiência na execução das tarefas de manutenção estão relacionados com a capacidade de suporte dos seus elementos principais. Inversamente, também a capacidade de suporte afeta significativamente a mantinabilidade dos elementos principais, já que onera os requisitos de custo de manutenção. Assim, os requisitos de eficiência de manutenção devem ser contra-balanceados com as consequências dos custos quando do planejamento do suporte logístico de manutenção dos sistemas.

São requisitos de suporte a serem analisados num projeto para a mantinabilidade:

3.3.6.1 Medidas de suprimento

Refere-se à necessidade de peças sobressalentes e os correspondentes estoques. Esse fatores influenciam diretamente na duração e eficácia tanto das manutenções programadas como das não-programadas e, consequentemente, no tempo do sistema fora de operação. Devem ser planejados para cada nível de manutenção identificado na concepção de manutenção.

A capacidade de suprimento é função da demanda de sobressalentes. Assim precisam ser identificadas informações relacionadas ao número de sobressalentes a ser procurado, custo, fornecedores, freqüências, tempo de giro entre manutenção e estoque das peças reparáveis, observância da obsolência de componente, taxa de descarte dos itens reparáveis e criticidade do componente em relação à execução das tarefas de manutenção.

O projeto para mantinabilidade, em relação aos fatores de suprimento, deve levar em consideração a utilização de partes padronizadas e intercambiáveis e uma redução na diversidade de sobressalentes.

3.3.6.2 Medidas de equipamentos de suporte e de teste

Os equipamentos de suporte e teste necessitam estar disponíveis na quantidade e localização apropriada para assegurar a efetividade da manutenção do sistema. Na determinação das necessidades de equipamentos de suporte e de teste específicos é importante definir o tipo e a natureza dos itens a serem reparados e mantidos numa dada localização, a freqüência de realização dos testes, o nível de utilização do equipamento de suporte, os tempos de missões de operação do sistema, a função dos testes a serem realizados e os parâmetros de performance requeridos (precisão e tolerância) para realizar as medições.

As necessidades de equipamentos de suporte e teste são derivadas da concepção de manutenção e podem incluir itens como testes mecânicos ou eletrônicos de precisão, equipamentos portáteis e outros. Deve ser observado que o objetivo é que o equipamento de suporte e teste impacte positivamente sobre a disponibilidade e proporcione um funcionamento eficiente em termo de custo. Neste sentido, é salutar observar que, para melhor representar a eficácia do equipamento de suporte e teste, algumas medidas de desempenho deste devem ser tomadas como, por exemplo, tempo médio de calibração e tempo médio de diagnóstico de falha dentre outras.

3.3.6.3 Medidas organizacionais e de pessoal

As características de pessoal de manutenção é uma função do tipo, magnitude e complexidade das atividades de manutenção. É um índice de mantinabilidade inerente no projeto

do sistema e fornece uma visão dos requisitos organizacionais necessários resultantes da definição da concepção de manutenção. Algumas medidas relevantes são:

- ✓ trabalho direto utilizado na realização da manutenção – homens-hora de manutenção por ciclo ou missão operacional, homens-hora de manutenção por período de tempo, homens-hora de manutenção por ação de manutenção;
- ✓ trabalho indireto para dar suporte às principais atividades de manutenção;
- ✓ problemas pessoais e taxa de substituição de MDO (*turnover*);
- ✓ previsão de tempo e taxa de treinamento de manutenção;
- ✓ tempo médio de execução de uma ordem de serviço de manutenção ou freqüência de ordem de serviço processada por unidade de tempo;
- ✓ o atraso médio administrativo previsto ou experimentado, ou o tempo de espera entre uma chamada inicial para manutenção e o início real da tarefa;

3.3.6.4 Medidas de instalação

Este fatores influenciam diretamente a facilidade e economia na realização das tarefas de manutenção. Dizem respeito à estrutura necessária à execução das tarefas de manutenção, ao estoque de peças sobressalentes, à administração e de utilidades.

As medidas quantitativas associados aos fatores de instalação, provavelmente, não são estáveis. Variam de um instante para outro. De qualquer forma algumas medidas mais gerais e relevantes são:

- ✓ utilização das instalações: porcentagem de utilização em termos de ocupação de espaço. Pode ser função das freqüências de corretiva e preventiva;
- ✓ utilização de energia por ação de manutenção;
- ✓ custo das instalações gerais para o suporte do sistema: fixo e variável;
- ✓ tempo de processo do item ou tempo de giro de manutenção (TAT – *turnaround*).

3.3.6.5 Medidas de transporte e manuseio

Este fatores refletem a necessidade de trânsito de material e humanos entre os vários locais de operação e de instalações, ou seja, deslocamento de equipes e recursos para realização das tarefas de manutenção. A eficácia do sistema de transporte é uma função do modo de transporte (água, ar, terra, trem), da rota, do tempo – que pode ser expresso em termos de tempo médio de transporte – e do custo de transporte.

3.3.6.6 Medidas de documentação

A documentação técnica é um importante aspecto da análise mantenabilística. A documentação dos procedimentos das manutenções corretivas e preventivas deve estar clara e atualizada em relação às últimas alterações do projeto.

3.3.6.7 Fatores de recursos de computação e software

Refere-se às necessidades de software, equipamentos de informática, fitas/discos, banco de dados e acessórios.

3.3.7 Fatores econômicos

O primeiro passo para efetuar uma análise econômica do sistema de engenharia, é definir o ciclo de vida com suas atividades e fases. A seguir, BLANCHARD *et al.* (1995) e FERREIRA, C. (1997) recomendam três etapas: o desdobramento da estrutura de custos do sistema, a estimativa dos custos desdobrados e a consideração das taxas inflacionárias.

3.3.7.1 Desdobramento da estrutura de custos

O desdobramento do custo do sistema é basicamente uma divisão do custo total do seu ciclo de vida, categorizando-o de forma a facilitar a apuração e melhor avaliação dos custos envolvidos em todo o ciclo de vida do sistema.

3.3.7.2 Estimativa dos custos desdobrados

Envolve a estimativa de valores para o custo desdoblado na fase anterior. Assim são estimados os custos envolvidos em cada subsistema do sistema através do ciclo de vida, inclusive a fase de operação e manutenção.

3.3.7.3 Taxas inflacionárias

O tratamento dos fatores de custos deve ser transformado em índices econômicos para considerar as taxas inflacionárias objetivando equiparar valores presentes de custo com valores passados ou futuros.

3.3.8 Fatores de eficácia

A eficácia é definida como a capacidade de um item atender a uma demanda de serviço de determinadas características quantitativas. Essa capacidade depende dos aspectos combinados da capacidade e da disponibilidade do item (ABNT, 1994).

Na avaliação ou medição da eficácia de um sistema, dois fatores devem ser considerados: as características técnicas e as características de custo do sistema. Ou seja, deve-se buscar um

equilíbrio entre performance técnica e o custo. Inúmeros fatores podem ser citados para representar a eficácia de um sistema. Alguns dos mais comuns e relevantes são:

3.3.8.1 Eficácia do sistema

Relaciona à capacidade do sistema em realizar a função pretendida. Dependendo do tipo de sistema exemplos de fatores de eficácia do sistema são: os parâmetros de performance e técnicos do sistema (o quanto os requisitos de projeto são satisfeitos – velocidade, precisão, alcance, potência fornecida, peso, confiabilidade, manutenibilidade, taxa real de velocidade de operação em relação à teórica, taxa de qualidade de produção, dentre outros), disponibilidade e dependabilidade. Um exemplo de índice de eficácia para um caso particular pode ser o índice calculado pelo produto da disponibilidade, dependabilidade e um parâmetro técnico de performance (OEE).

Deve-se observar entretanto que os verdadeiros valores de muitos índices de eficácia são impossíveis de serem medidos, pois existem vários fatores que influenciam a operação e o suporte de um sistema de engenharia e que não podem, realisticamente, serem quantificados como, por exemplo, os efeitos da interação do sistema com outros sistemas, implicações políticas e certos fatores ambientais (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

3.3.8.2 Eficácia de custo

O custo e as facetas econômicas do projeto dos sistemas precisam estar平衡ados com os parâmetros técnicos relativos para assegurar uma performance eficiente em termos de custo. Assim, os índices que representam a eficácia do custo do sistema devem ser destacados como, por exemplo, disponibilidade por custo e manutenibilidade por custo.

3.4 Comentários finais

Neste capítulo foi visto a definição de manutenibilidade e como ela se revela, através de suas medidas, num sistema de engenharia. No projeto dos sistemas, foi constatado a importância de se implementarem os atributos de manutenibilidade desde as etapas iniciais do projeto e as consequências no custo e desempenho operacional na fase de operação/manutenção. Por conclusão, a manutenibilidade pode aumentar significativamente a competitividade dos sistemas de engenharia.

Assim, os veículos de uma frota devem estar dotados de atributos de manutenibilidade que os proporcionem melhor capacidade de serem mantido com eficiência em termos de custo. Ao

proporcionarem custos e desempenhos operacionais melhores, respeitando sua capacidade funcional, tendem a aumentar, por consequência, a competitividade das empresas.

O projeto para manutenibilidade é a especialidade de projeto que se preocupa, especificamente, com a habilidade do sistema ser mantido. Contudo é muito dependente, ao mesmo tempo que carente, de dados de desempenho reais de sistemas já em operação. Em relação a veículos automotivos no Brasil, na seção 1.3, foi constatada a carência destes dados, com destaque aos sub-sistemas automotivos relacionados à segurança veicular. A escassez de dados fica mais crítica em altas quilometragens de operação dos veículos.

Assim, motivado por esta falta de dados observados na operação dos veículos e facilitado pela congruência entre as medidas de manutenibilidade e às medidas de desempenho de uma manutenção, a coleta e o armazenamento de dados na fase de operação/manutenção do ciclo de vida dos veículos, devem ser estimulados de forma a propiciar o retorno de informações ao projeto de novos modelos, propiciando um ciclo contínuo de desenvolvimento com reflexos no aumento da eficiência operacional, na redução dos custos de manutenção e principalmente no aumento da segurança veicular – notadamente em frotas relacionadas ao transporte de pessoal.

No capítulo seguinte, será apresentada a metodologia utilizada na fase de projeto de sistemas de engenharia. Essa mesma metodologia, servirá de base ao estabelecimento da metodologia para análise e estruturação de sistemas de manutenção.

4 METODOLOGIA DE PROJETO

4.1 Introdução

FONSECA (1996) cita PAHL & BEITZ e ULLMAN para conceituar a atividade de projeto como uma tentativa intelectual para atender certas demandas da melhor maneira possível. Para ULLMAN citado por FONSECA (1996), projeto é uma forma de solução de problemas. Nesta mesma linha, BLANCHARD & FABRICKY (1990) definem como uma idéia de executar ou realizar algo no futuro, um plano, um intento ou desígnio, um intenso exercício de formação de conhecimento que começa com a percepção de uma necessidade, de uma deficiência percebida do mundo real baseada num “querer” ou “desejo” por algum item.

O projeto é a primeira etapa do ciclo de vida dos sistemas de engenharia. Em cada uma das etapas do ciclo de vida, expectativas de pessoas ou instituições estão envolvidas, as quais devem ser identificadas e supridas, ponderando-se as possibilidades tecnológicas, econômicas e de relevância ao desempenho do sistema. Também, em cada uma destas etapas, experiências são adquiridas e, estes conhecimentos, devem ser transformados em informações que, realimentando o processo de projeto, promovam a melhoria contínua da satisfação das necessidades oriundas de cada etapa do ciclo de vida de um produto (FONSECA, 1996) (Figura 3.2).

A partir das necessidades identificadas, diferentes caminhos podem levar a uma mesma solução que satisfaça o problema de projeto. Assim o analista utiliza de seus conhecimentos para gerar e avaliar idéias e, pelo uso de uma metodologia, organiza seus conhecimentos e constrói uma estrutura de pensamento que o conduz, com objetividade, eficácia, custo e rapidez, à solução mais ajustada e competitiva para o problema (BACK & FORCELLINI, 1997).

Uma metodologia é um tratado de métodos que se segue na investigação da verdade, no estudo da ciência ou para alcançar um fim determinado; um conjunto de cadências racionais da inteligência para chegar ao conhecimento ou à demonstração de uma verdade; um conjunto harmonioso de modos de proceder (BUENO, 1962); é um procedimento sistemático com o objetivo de integração e otimização dos diferentes aspectos envolvidos no projeto, se adequando

às várias tecnologias e possibilitando a interação entre o pessoal envolvido, de modo que o processo de criação da solução seja todo lógico e compreensível (BACK & FORCELLINI, 1997).

Assim ao aplicar uma metodologia faz-se uso de uma estrutura racional de investigação e análise com a finalidade de construir um conhecimento. É o que FIOD, citado por FONSECA (1996), afirma quando diz que a metodologia de projeto tem um caráter de ordenamento das ações, da sua soma acrescentado de recomendações para os métodos que podem ser usados durante o projeto. Já HUBKA & EDER (1988) dizem que a metodologia de projetos compõe um modo de proceder.

A metodologia possibilita a racionalização de recursos disponíveis tanto no setor de desenvolvimento como no de construção. Permite fixar um cronograma realístico e facilita a delegação de tarefas. Visa o desenvolvimento de produtos de qualidade, sob todos os aspectos, num menor período de tempo (BACK & FORCELLINI, 1997). Assim, aplicado à estruturação de sistemas de manutenção, pode auxiliar a organizar o planejamento das estruturas e ações no objetivo de conceber uma atividade totalmente integrada às necessidades da organização além de auxiliar a fixação de cronogramas e a delegação de tarefas, encurtando o tempo de concepção das soluções.

Assim, a metodologia proporciona um processo de projeto de sistemas que desenvolve um detalhamento funcional e de requisitos de projeto objetivando alcançar um balanço apropriado entre os fatores logísticos, econômicos e operacionais. Emprega uma lógica seqüencial e iterativa visando obter a solução, dentre as alternativas do projeto, mais eficiente em termos de custo (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

Contudo, sendo o projeto em essência um processo de criação, as qualidades de intuição e criatividade têm potencial valor (FONSECA, 1996). Portanto, uma metodologia de projeto não deve restringir a capacidade de percepção do mundo real, a criatividade e a transformação do analista (BACK & FORCELLINI, 1997). O mesmo sentido aplica-se a sistemas de manutenção. O analista deve precaver-se em adotar soluções padronizadas pelo mercado, que possam tolher a essência da geração de alternativas criativas, que possam vir a ser inovadoras ao mesmo tempo que vantajosas.

No âmbito gerencial, há um crescente interesse das empresas voltado ao assunto projeto. Suas técnicas têm mostrado serem muito úteis também em outras áreas onde há mudanças ou novas iniciativa, englobando, portanto, projetos de mudanças organizacional, RH, marketing, qualidade, vendas, produção (DINSMORE, 1997).

Na atualidade, as ações de preservar e de manter têm requerido da sociedade esforços significativos. Entende-se que a função manutenção está aí contextualizada. É neste sentido e diante desse contexto e necessidade, que percebeu-se ser necessário apropriar-se de um conhecimento, já estabelecido e sistematizado, para ser aplicado à função manutenção. E assim sendo propõe-se nesta dissertação, como já exposto no capítulo 01, apresentar uma metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota automotiva.

4.2 A metodologia de projeto

Muitos autores abordam o tema: metodologia para o processo de projeto [BACK & FORCELLINI, 1997].

Nesta dissertação, será utilizada a metodologia que vem sendo implementada pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), laboratório de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina, dedicado ao projeto de sistemas mecânicos. Esta metodologia é fruto de intensas discussões, através de diversos trabalhos de mestrado e doutorados, como os de FONSECA (1996), SOUSA (1998), FERREIRA, M. (1997), FERREIRA, C. (1997), sobre as principais metodologias sugeridas no mundo como também sobre reflexões dos pesquisadores do laboratório.

Várias contribuições vêm sendo desenvolvidas visando facilitar a sua sistematização e a sua aplicação com relação a aspectos específicos para o desenvolvimento de sistemas, tais como: manutenibilidade, modularidade, fabricabilidade, meio ambiente e outras. Nesta direção os trabalhos mais recentes têm concentrado esforços visando preencher esta lacuna. É o caso do trabalho de MARIBONDO *et al.* (1999) no qual propõe-se uma metodologia visando o projeto de produtos modulares. Neste trabalho, está sendo formalizado as discussões de todos os autores anteriores, documentando e definindo um fluxograma padrão para a metodologia empregada no NeDIP (Figura 4-1).

Em termos de implementar, especificamente, a manutenibilidade nos sistemas, a proposta apresentada em BLANCHARD & FABRICKY (1990) e BLANCHARD *et al.* (1995) pode contribuir para estruturar estas discussões pois, encontra um importante foco de atenção na incorporação das características de manutenibilidade nos sistemas. Da mesma forma, há uma maior interface com a proposta de desenvolver sistemas de manutenção, como já exposto nos capítulos 02 e 03.

Assim, a metodologia utilizada para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção terá por base a metodologia de projetos utilizada no NeDIP, porém inserida das

discussões da proposta de BLANCHARD & FABRICKY (1990) e BLANCHARD *et al.* (1995), principalmente, na execução do projeto preliminar.

A metodologia de projeto adotada no NeDIP é composta por 04 fases (Figura 4-1):

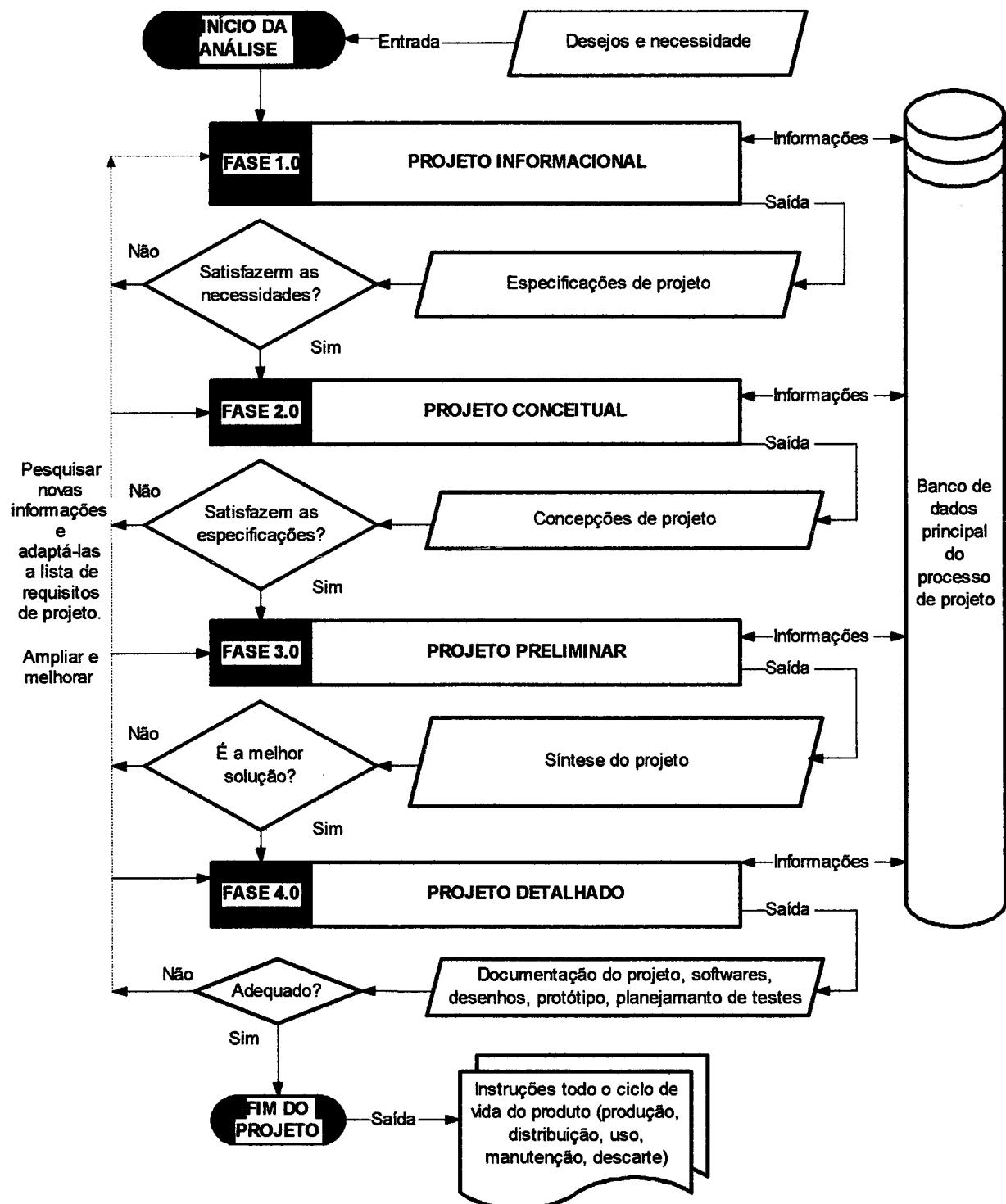


Figura 4-1: Metodologia de projetos adotada no NeDIP (MARIBONDO *et al.*, 1999)

- a) Projeto informacional: é a definição da tarefa definida por PAHL & BEITZ (1996), onde são realizados os estudos iniciais do universo em que o projeto está contido. Esta fase conclui pelas especificações do projeto, ou seja, determinam aí as características que o produto deve possuir e as expectativas que deve suprir.
- b) Projeto conceitual: aqui é realizada a seleção de concepções de solução para o projeto. Para tal, é realizado um desdobramento da função total do sistema, onde são identificadas as subfunções que devem ser executadas. e princípios de solução são associados às subfunções. A partir da combinação destas subsoluções, são formuladas soluções totais para então serem selecionadas aquelas julgadas como potenciais para a solução total do projeto.
- c) Projeto preliminar: objetiva a seleção definitiva da melhor concepção de projeto o que é realizado após estudos e análises de ordem de grandeza A solução escolhida é submetida a exames mais detalhados, nos quais são realizados estudos de síntese e de tolerâncias (BACK, 1983). BLANCHARD & FABRICKY (1990) sugerem a alocação dos requisitos globais através das subfunções desdobradas na análise funcional, para então realizar análises de otimização e viabilidade, visando refinar e estruturar as concepções de solução, para então sintetizar a escolha da melhor concepção de projeto. A fase conclui pela síntese detalhada do sistema;
- d) Projeto detalhado: desenvolvimento dos resultados da fase preliminar, detalhando todas as características do produto – performance, forma, materiais, resistência. Conclui pela determinação das especificações definitivas para o entendimento da produção/construção do sistema e pela apresentação de um protótipo para testes posteriores.

Vale salientar que a divisão em fases não deve ser tomada de forma rígida, nem as etapas devem ser seguidas cegamente uma após a outra. As fases e etapas do projeto são cumprida iterativamente, retornando-se às fases anteriores, buscando uma otimização gradual (FONSECA, 1996).

4.3 Projeto informacional

Todo projeto começa após a percepção de algum tipo de necessidade e/ou desejo (Figura 4-1). O primeiro passo em direção ao desenvolvimento de um sistema de engenharia que satisfaça às necessidades é processado no projeto informacional, no qual é desenvolvido o entendimento do problema pela definição da tarefa do projeto.

Definir uma tarefa significa definir um trabalho que deve ser concluído num determinado tempo (BUENO, 1962). Ou seja, o termo relaciona ações a prazos. Em se tratando de projetos,

definir a tarefa é direcionar objetivamente à solução através da compreensão, da análise das “reais” necessidades e da identificação da função requerida. É concluir o tratamento da abstração das necessidades até obter especificações globais do projeto.

No projeto informacional as necessidades percebidas do mundo real são transformadas em especificações globais. FONSECA (1996) destaca neste sentido a importância do correto entendimento das informações iniciais que motivam o projeto. Caso estas sejam definidas com algum equívoco todo o processo de projeto pode estar comprometido. Cita ainda HUBEL, que define especificações como uma expressão integral da solução final do problema, que deve apresentar-se na forma de uma lista ordenada de atributos, que vão servir como elemento de avaliação final do produto que se projeta.

Desde a percepção de uma necessidade até a obtenção das especificações globais do projeto, a informação deve sofrer um criterioso tratamento para a correta interpretação. Neste sentido, BLANCHARD & FABRICKY (1990) sugerem inicialmente um conjunto de sete perguntas sobre as características de função, operação, custo, desempenho dentre outras para identificação das necessidades.

FONSECA (1996) diz que o início do projeto requer informações qualitativas diferenciadas sobre as necessidades que originam projeto e sobre aspectos paralelos e derivados. Ele propõe o tratamento das informações através de sete etapas até a obtenção das especificações globais do projeto que serão comentadas a seguir (Figura 4-2).

Nas duas primeiras etapas da proposta de FONSECA (1996), o analista faz uma compreensão geral do projeto através de estudos que o posicionará no estado da arte no qual o projeto se insere e pela identificação dos usuários do sistema que será projetado (Figura 4-2). Nesse ponto é salutar definir o termo usuários. Nesta dissertação usuários se refere a todas as pessoas envolvidas na utilização do projeto, no desenvolvimento, distribuição, venda, armazenagem, uso ou descarte do produto, ou seja, os clientes internos, intermediários e externos definidos por BACK & FORCELLINI (1997).

4.3.1 Definição das necessidades dos diferentes usuários

Para captação das necessidades junto aos usuários de cada fase do ciclo de vida, é necessário questioná-los. Contudo, a identificação das necessidades não devem se resumir a aplicação de um simples questionário, pois muitas das necessidades do consumidor não são perfeitamente percebidas por este (BACK & FORCELLINI, 1997). Algumas ferramentas indicadas para obtenção das necessidades são (FONSECA, 1996):

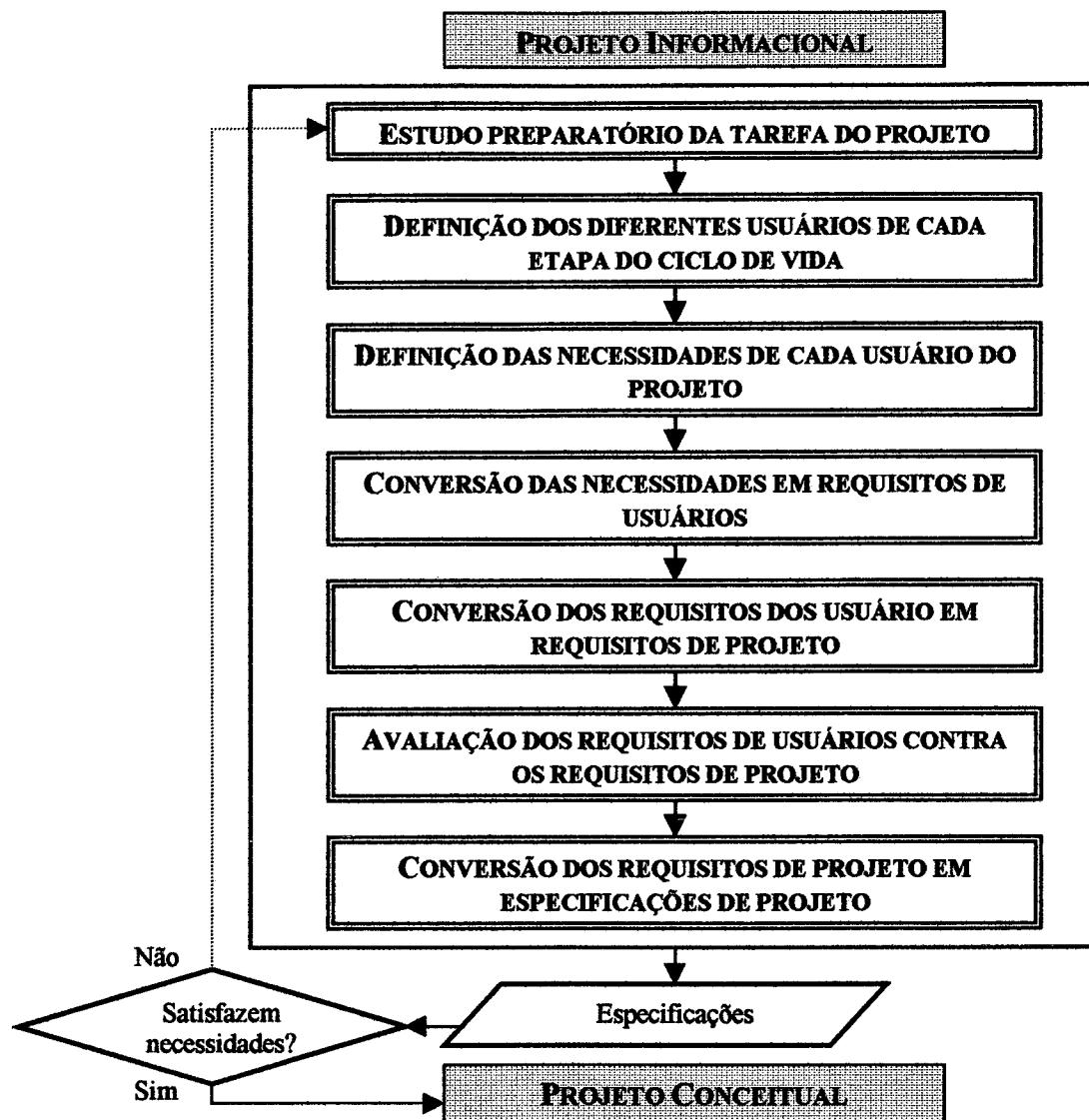


Figura 4-2: Etapas do projeto informacional (FONSECA, 1996)

- ✓ formulação de *QUESTIONÁRIOS ESTRUTURADOS* específicos a cada usuário identificado. Estes questionários devem revelar as expectativas de satisfação destes usuários em relação ao projeto, na linguagem comum utilizada por cada um deles, linguagem corriqueira, não necessariamente técnica.
- ✓ *OBSERVAÇÕES* de como procede os diferentes usuários nas situações de uso e manipulação do produto;
- ✓ *SIMULAÇÃO* de situações práticas, computacionais ou mesmo dedução de como procedem os diversos usuários nas diversas situações mais comuns – variante do processo de observação;
- ✓ *BASE DE DADOS*, recomendado por STAUFFER & MORRIS citados por FONSECA (1996), no qual utiliza dados acumulados de prováveis necessidades de produtos que se assemelhem.

Neste caso as necessidades são elaboradas na forma de requisitos de usuários, eliminando o filtro necessário do caso dos questionários e observações.

BACK & FORCELLINI (1997) ainda recomendam mais duas técnicas para melhor apuração da percepção das necessidades: o posicionamento do projetista como cliente e a comunicação com os clientes.

4.3.2 Conversão das necessidades em requisitos de usuários

As necessidades identificadas na linguagem do usuário, devem ser traduzidas, primeiramente, numa linguagem que apresente alguma terminologia técnica específica para projeto (área, peso, volume, comprimento...), filtrando as subjetividades inerentes às declarações das necessidades. São assim elaboradas os requisitos dos usuários.

4.3.3 Conversão dos requisitos dos usuários em requisitos de projeto

Requisitos de projeto são características técnicas, mensuráveis, que produto deve ter, de forma a satisfazer os requisitos de usuários. Estes propiciam o entendimento e a descrição do problema, expondo as possíveis alternativas técnicas que o produto deve possuir junto com a tendência que o projeto deve seguir – menor ruído, menor custo, maior velocidade, maior precisão, maior peso, maior resistência. Pela definição, os requisitos de projeto envolvem: características técnicas – atributos - mensuráveis e orientação de quantidade.

Os atributos do produto são propriedades que dão características de fabricabilidade, manutenibilidade, manipulabilidade, armazenabilidade e outras. Um enfoque para o produto, implica em vê-lo dotado de certas características a serem atribuídas durante o projeto. Sendo assim, os atributos são usados para classificar, em grau de importância, os requisitos do projeto. A Figura 4-3 apresenta os atributos que um produto qualquer pode possuir (FONSECA, 1996).

Para definir os requisitos de projeto, o QFD (*Quality Function Deployment*), mais particularmente, a primeira matriz ou “Casa da Qualidade” é indicada por BACK & FORNCELLINE (1997), FONSECA (1996), BLANCHARD & FABRICKY 1990 e PAHL & BEITZ (1996). Esta ferramenta consiste na análise matricial de dois fatores, no caso os requisitos dos usuários contra os requisitos de projeto, dentre aqueles considerados como importantes para o desenvolvimento de um processo ou de um produto. O QFD investiga o grau de relacionamento que cada requisito de projeto possui com os diversos requisitos de usuários, permitindo identificar a importância relativa de cada requisito de projeto para o desenvolvimento do produto. “O QFD conclui pela hierarquização dos requisitos dos projetos do produto que se projetará” (FONSECA, 1996).

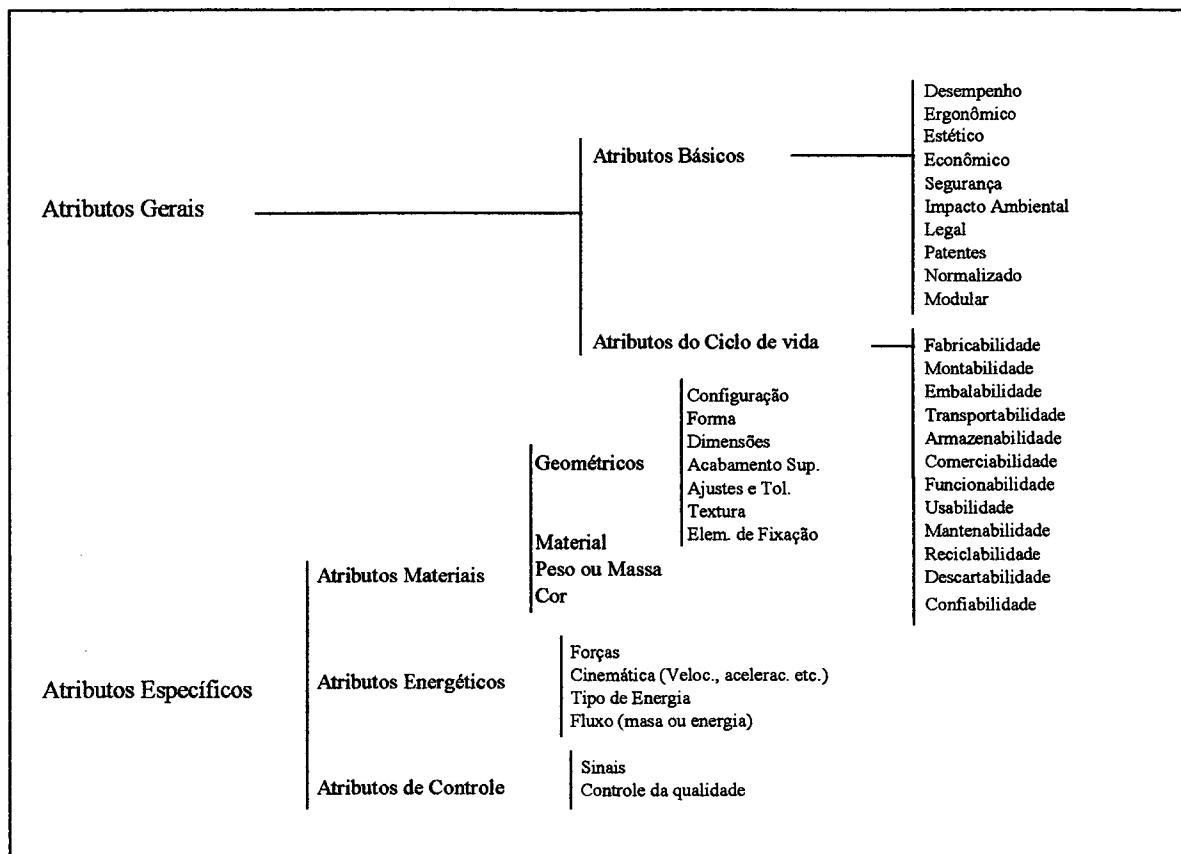


Figura 4-3: Atributos de um produto (FONSECA, 1996)

Em relação aos requisitos do projeto, BLANCHARD & FABRICKY (1990) destacam como fundamentais o estabelecimento dos requisitos operacionais e, em consequência destes, os requisitos para manutenção do sistema objeto de projeto. Em essência a análise dos requisitos operacionais visa compreender ou mesmo projetar como o equipamento será utilizado, os ambientes esperados para cada local de operação e a capacidade e distribuição de pessoal e equipamentos em campo pelo consumidor. Objetiva estabelecer parâmetros técnicos que refletem a concepção operacional do projeto. Os requisitos operacionais devem levar também em consideração os aspectos específicos de cada consumidor que utilizará o produto como por exemplo, localização, capacidade de transporte, capacidade de manuseio e estoque, pois os modos de operação podem diferir significativamente.

Já os requisitos relacionados à manutenção do sistema devem ser considerados para a possibilidade de desenvolvimento de um sistema tecnicamente possível contudo, economicamente, desvantajoso em termos de manutenção para o ciclo de vida planejado. O tratamento dos requisitos de manutenção é empregado como uma etapa para formação da concepção de manutenção do sistema sob projeto.

4.3.4 Conversão dos requisitos de projeto em especificações de projeto

As especificações do projeto definem, formalmente, os critérios técnicos, operacionais, de suporte logístico e de outros segmentos do sistema. “A partir do conjunto de diretrizes especificadas, todas as alternativas de solução, que possam cumprir os requisitos que efetivamente alcançarão a satisfação das necessidades, podem ser levantadas do ponto de vista tecnológico atual e futuro”(BLANCHARD & FABRICKY, 1990). As especificações devem conter as informações sobre as características que o produto deverá ter e as características restritivas ou outras advertências que devam ser imposta ao projeto.

As especificações são formadas a partir dos requisitos de projeto com forte relacionamento – identificado no QFD - com a maioria dos requisitos dos usuários, guiando o projetista na decisão do grau de importância que cada um deve ter para a adequada execução do projeto (FONSECA, 1996). Contudo não devem limitar-se, simplesmente, à direta transcrição do resultado da casa da qualidade. As declarações dos usuários, que de tão importantes e claras, não sofrem qualquer tratamento no processo de tratamento das necessidades, colocando-se diretamente como requisitos de projetos, farão parte das especificações.

Para projetos simples e que possam ser acometidos com poucas necessidades são indicadas também como ferramentas apropriadas, reuniões com a participação de diferentes especialistas (ULLMAN *apud* FONSECA 1996), a consulta a projetos anteriores (KHADILKAR & STAUFFER *apud* FONSECA, 1996) e relações de verificação (checagem) (FONSECA, 1996).

As especificações de projeto devem ser acompanhadas também das restrições de uso, funcionais, financeiras, legais, normativas e operacionais importantes, da descrição sintética das características principais do projeto, ou produto, e de qualquer outro elemento importante que o grupo de desenvolvimento estime que deva ser assinalado no documento como elemento de avaliação posterior (FONSECA, 1996).

As especificações agrupam os requisitos de projeto em áreas funcionais e definem as várias interfaces entre estas (BLANCHARD & FABRICLY, 1990). Neste sentido, para proporcionar ao projetista um ponto de partida em seu trabalho imediatamente posterior, o de decomposição funcional, FONSECA (1996) e PAHL & BEITZ (1996) sugerem a classificação das especificações por categoria e o ordenamento por grau de importância, pois enquanto algumas especificações são obrigatórias, outras são simplesmente desejáveis (PAHL & BEITZ, 1996). Já ULLMAN *apud* FONSECA (1996) e BLANCHARD & FABRICKY (1990) aconselham utilizar a lógica fuzzy junto ao QFD para valorizações graduais.

4.4 Projeto conceitual

Determinadas as especificações do projeto, ou seja, os anseios e metas que o sistema deve satisfazer e cumprir, a próxima fase é a de elaborar soluções gerais, concepções de projeto, ajustadas a estas especificações e que sejam as melhores no equilíbrio entre investimento tecnológico e eficiência em relação ao custo.

Para alcançar seu objetivo, no projeto conceitual é utilizado um fracionamento do problema, ou seja, o problema complexo é desdobrado em vários subproblemas simples (análise da estrutura de funções do sistema), a seguir soluções são pesquisadas para cada um dos subproblemas simples para então estas soluções serem sintetizadas formando alternativas para o problema complexo, concepções de projeto - síntese de soluções (PAHL & BEITZ, 1996, VDI *apud* BACK & FORCELLINI, 1997; FERREIRA, M.; 1997)(Figura 4-4). A esta seqüência PAHL & BEITZ (1996) denominam de método da função síntese.

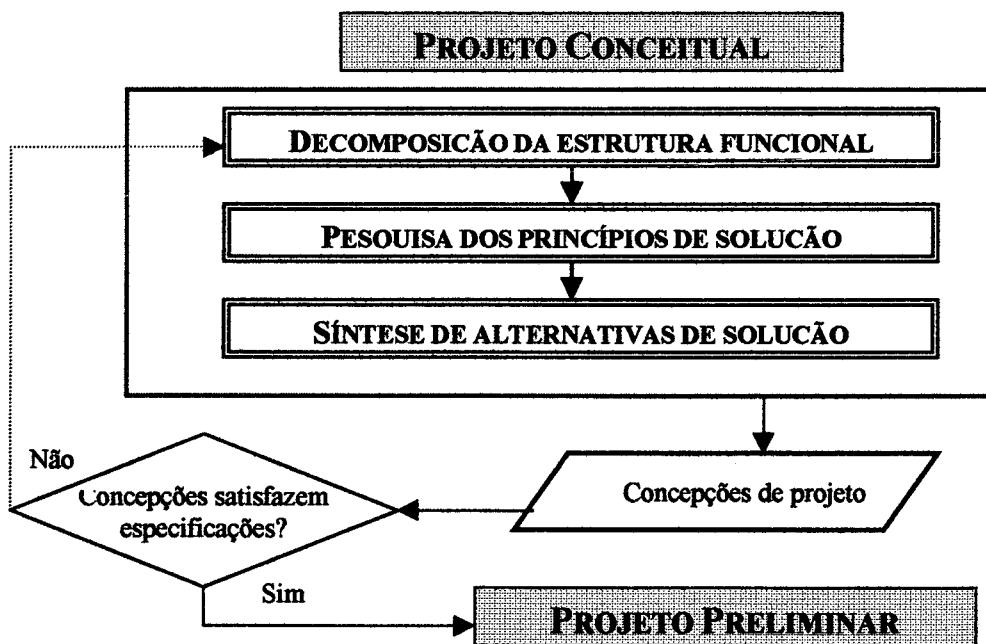


Figura 4-4: Etapas do projeto conceitual (PAHL & BEITZ, 1996, VDI *apud* BACK & FORCELLINI, 1997; FERREIRA, M.; 1997)

Vale ressaltar que, no caso de não haver uma destacada vantagem da melhor concepção de projeto em relação às outras, recomenda-se a possibilidade de seleção de mais de uma concepção de projeto para serem analisadas no projeto preliminar.

Para geração de alternativas de solução para o projeto, BACK & FORCELLINI (1997) indicam a utilização de métodos que estimulem a criatividade de forma a conceberem o maior número de possíveis soluções como: *brainstorming* e suas vertentes mais recentes como o

brainstorming escrito (ou método 635) e o brainstorming eletrônico com o uso da internet; as analogias direta, simbólica e pessoal (ou empatia); método sinérgico (uso coordenado das três analogias anteriores); matriz morfológica; análise de valor; e método da função síntese (desdobramento em seqüência e de nível de complexidade, de funções para a adequada transformação das entradas nas saídas).

4.4.1 Análise da estrutura de funções do sistema

O primeiro passo em direção a escolha de uma alternativa de solução para o projeto, uma concepção, é o fracionamento do problema complexo. Nesta etapa, o projetista realiza a análise da estrutura funcional requerida para o sistema. Resumidamente deve desdobrar a função total ou global do sistema em suas subfunções mais simples.

A partir deste desdobramento o problema do projeto não mais será resolvido focando no sistema como um todo, mas resolvendo cada parcela mais simples, pela seleção de princípios de solução para cada subfunção. Por fim, as soluções simples serão compostas em soluções gerais para o sistema total.

Se baseia no fato de que, para alcançar os objetivos, realizar a função total pretendida, ações menores (subfunções) devem ser realizadas pelo sistema, pelo suporte logístico associado e/ou por uma combinação dos dois. Se propõe em dizer *o que* deve ser feito e não *o como* (BLANCHARD *et al.*, 1995).

A análise funcional é o método utilizado para desdobrar a função total em suas subfunções. É uma abordagem lógica e sistemática utilizada no projeto e no desenvolvimento de sistemas, no qual são estudadas as funções que o sistema deve realizar para cumprir sua função total. A análise funcional promove a interação entre os requisitos gerais para o sistema total e os requisitos mais específicos para as subfunções, a partir do desdobramento da função total e de suas subfunções, até atingir um nível de detalhamento de forma a assegurar que:

- ✓ todos os elementos do sistema sejam identificados (elementos principais, equipamentos de suporte e teste, instalações, pessoal e informações);
- ✓ todas as facetas de desenvolvimento do sistema para todo o ciclo de vida planejado estejam consideradas ;
- ✓ as interfaces de uma determinada função com as outras, através de uma concepção de montagem e dos requisitos de suporte do sistema, estejam consideradas.

A análise funcional começa por uma descrição funcional total do sistema e de todas as facetas de seu desenvolvimento e operação. A função total é o resultado do processamento das

grandezas de entrada, nas de saída, sem considerar as etapa que esta transformação passa no interior do sistema. Exemplificando pode-se dizer que a função total de uma máquina de lavar roupas seria “lavar roupas”, de um sistema de transporte, “transportar pessoas”, de uma caixa de som, “emitir sons” sem detalhar as etapas de processamento de materiais, energia e/ou sinal que possam ocorrer entre a entrada e a saída do sistema.

A definição da função total deve partir das especificações de projeto e deve ser formulada e expressa de forma concisa e objetiva, declarando a função geral do sistema, as interfaces com outros sistemas e o meio ambiente (BACK & FORCELLINI, 1997). O seu desdobramento deve prosseguir até um nível de complexidade que permita a associação de algum princípio de solução, o que dependerá do contexto em que se insere o projeto, do grau de novidade da tarefa e da experiência do projetista. Um princípio de solução é o meio como a subfunção promove a transformação: os princípios de solução para gerar rotação num eixo podem ser um motor elétrico, um motor a combustão química, força humana ou outros (PAHL & BEITZ, 1996). BLANCHARD & FABRICKY (1990) acrescentam ainda que as funções identificadas não devem limitar-se somente àquelas necessárias à operação do sistema. Precisam também considerar o impacto do suporte e da manutenção.

Para executar e documentar a análise funcional, modelos funcionais são preparados. Estes representam o produto através de suas entradas e saídas desejadas, em função do que dele é esperado obter.

Os modelos funcionais são mecanismos gráficos que retratam as especificações de projeto do sistema possibilitando ao projetista perceber o projeto de um ponto de vista lógico e sistemático. Neles representam-se as funções que o sistema deve realizar e as ações externas necessárias para o cumprimento de sua missão, permitindo a ilustração dos relacionamentos série-paralelo, facilitando a definição de interfaces de funções e requisitos e o desmembramento em funções mais detalhadas.

Vários modelos de representação funcional são sugeridos por diversos autores. O NeDIP utiliza o desdobramento praticado no método da função síntese (PAHL & BEITZ, 1996). A Figura 4-5 ilustra este desdobramento no projeto conceitual de uma enfardadeira de papel para reciclagem. Primeiramente, a função total – enfardar papel para reciclagem – é desdobrada em suas subfunções principais: “A” (alimentar), “D” (picotar), “G” (compactar) e “T” (retirar). A seguir, cada uma destas subfunções são progressivamente desdobradas em funções mais específicas até compor toda a estrutura de funções do projeto. Assim, na estrutura funcional 2, para cumprir a subfunção “A”, foram identificadas como necessárias as subfunções “B” (estocar)

e “C” (verificar estoque); na estrutura 3, para a função “B”, a subfunção “E” (repicotar); na estrutura 4, para a função “G”, as subfunções “F” (agregar) e a “H” (verificar volume do fardo); e finalmente na estrutura funcional 5, para a função “I”, a subfunção “J” (embalar).

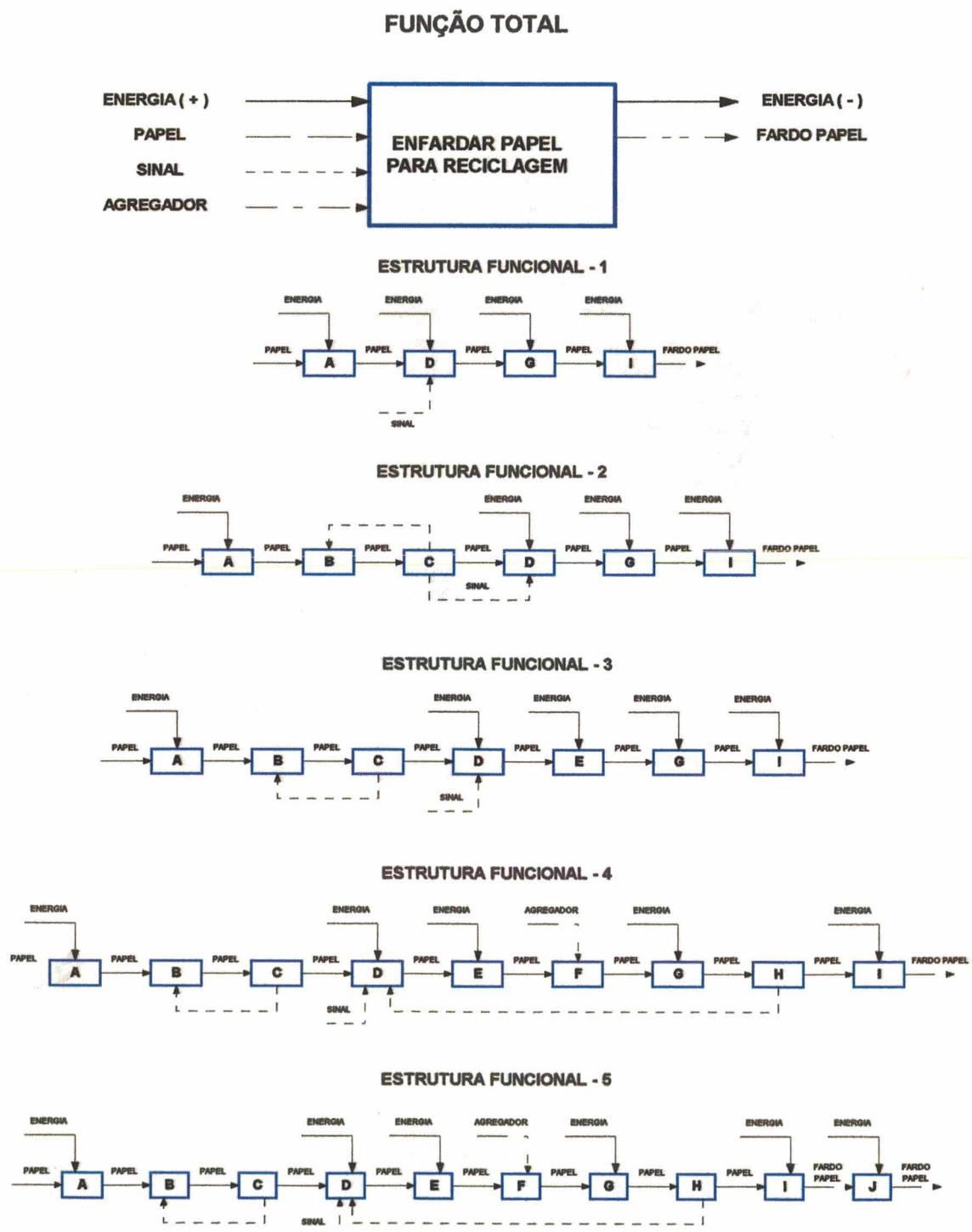


Figura 4-5: Método da função síntese aplicado ao projeto conceitual de uma enfardadeira de papel para reciclagem (MATOS *et al.*; 1997)

Vale também ressaltar o modelo sugerido por BLANCHARD *et al.* (1995) – os diagramas de fluxos funcionais. A Figura 4-6 retrata um modelo didático de um diagrama de fluxo funcional. BLANCHARD *et al.* (1995), em sua proposição, divide os modelos funcionais em dois tipos: os operacionais e os de manutenção. Para o autor a divisão se baseia na evidência que a função de manutenção é derivada das necessidades imposta à operação. Assim, os primeiros níveis representam as funções operacionais e são definidos em termos de missões para retratar as funções necessárias relativas à atividade do sistema. A partir destes, é realizada uma expansão progressiva das funções individuais em direção aos níveis específicos para assegurar o estabelecimento de todos os requisitos operacionais, assim como, por manutenção do sistema. Ou seja, diagramas de manutenção desenvolvem-se a partir de uma saída não desejada dos diagramas de operação e retratam as necessidades por intervenção da manutenção.

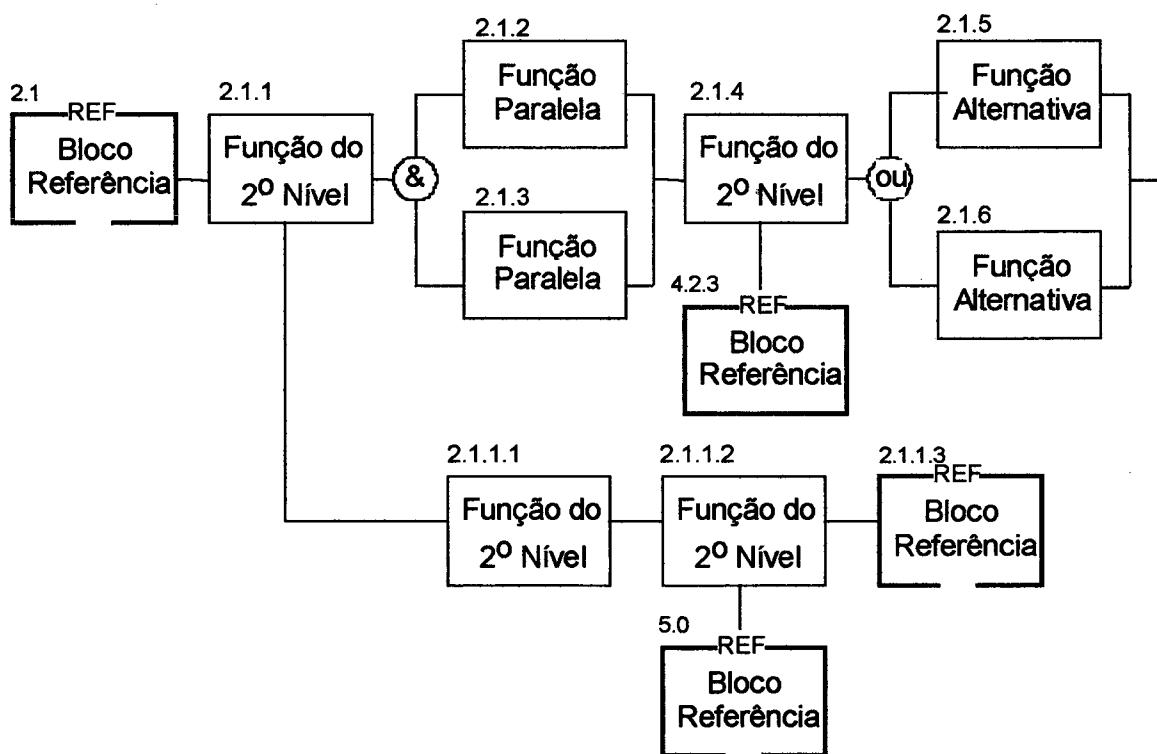


Figura 4.6: Diagrama de fluxo funcional proposto por BLANCHARD *et al.* (1995)

PAHL & BEITZ e a VDI *apud* BACK & FORCELLINI (1997) destacam ainda que mais de uma estrutura de funções podem concretizar a execução da função total, principalmente, em projetos de sistemas que transformem energia, material ou informação. Neste sentido todas as alternativas de estruturas possíveis devem ser expostas para que possam, posteriormente, ser analisadas. No exemplo da Figura 4-5, as funções podem ser combinadas diferentemente, proporcionando alternativas de solução para executar a função total.

4.4.2 Pesquisa sobre os princípios de solução

Definida a estrutura de funções a ser realizada pelo sistema agora é preciso executar análises do problema do projeto objetivando conceber soluções viáveis, cuja forma dependerá do tipo e complexidade das especificações.

Para tal é necessário pesquisar ou criar as possíveis alternativas de princípio de solução para cada subfunção (esta etapa) e, posteriormente, combinar as diversas alternativas objetivando compor possíveis concepções de soluções para o problema como um todo (etapa seguinte).

Nesta etapa o uso da matriz morfológica auxilia o analista a organizar os diversos princípios de solução para cada subfunção identificada e, posteriormente, auxilia a compor todas as possíveis soluções minimizando a desconsideração de alguma alternativa.

4.4.3 Síntese de alternativas de solução

A partir da combinação dos princípios de solução, a mais ou as mais prováveis candidatas em termos de critério de performance, eficácia e economia são separadas e avaliadas (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

Pesquisados e/ou criados os princípios de solução para cada subfunção, são processadas todas as possíveis combinações para formar as alternativas de solução para o problema geral, visando identificar uma configuração de projeto para o sistema possível dentro dos limites de tecnologia e recursos disponíveis (humanos, financeiros, equipamentos, material ou uma combinação). A análise das alternativas compostas será baseada, sob critérios estabelecidos, nas especificações, inclusive do ponto de vista político, econômico, ecológico e social (BLANCHARD & FABRICKY, 1990), de forma que assegurem desempenhos técnicos eficientes, aliados a um custo compatível, para todo o ciclo de vida: projeto, produção, uso, manutenção e descarte.

O resultado desta etapa pode ser apresentado como configurações preferíveis de projeto ou como uma decisão de não avançar por falta de tecnologia ou recursos.

Decidido pela viabilidade, os resultados são apresentados em forma de proposta técnica e nas informações preparadas devem constar a definição da configuração funcional, as características físicas do sistema e a descrição dos requisitos de operação e suporte de manutenção (BLANCHARD & FABRICKY, 1990).

4.5 Projeto preliminar

“O projeto preliminar é um refinamento da concepção. Na metodologia proposta pelo NeDIP, de um subproblema para outro, antecipa decisões a serem tomadas e corrige decisões já tomadas à luz do estado corrente do projeto” (FERREIRA, M., 1997).

Para BLANCHARD & FABRICKY (1990), no projeto preliminar é realizada a transformação dos requisitos globais em requisitos específicos, mais refinados, quantitativos e qualitativos, para cada função identificada na estrutura funcional. Para executar esta etapa, em termos de agregar características de manutenibilidade ao projeto, a proposta de BLANCHARD & FABRICKY (1990) se mostra melhor estruturada.

Executada a análise funcional, a transformação se processa através das etapas ilustradas na (Figura 4-7).

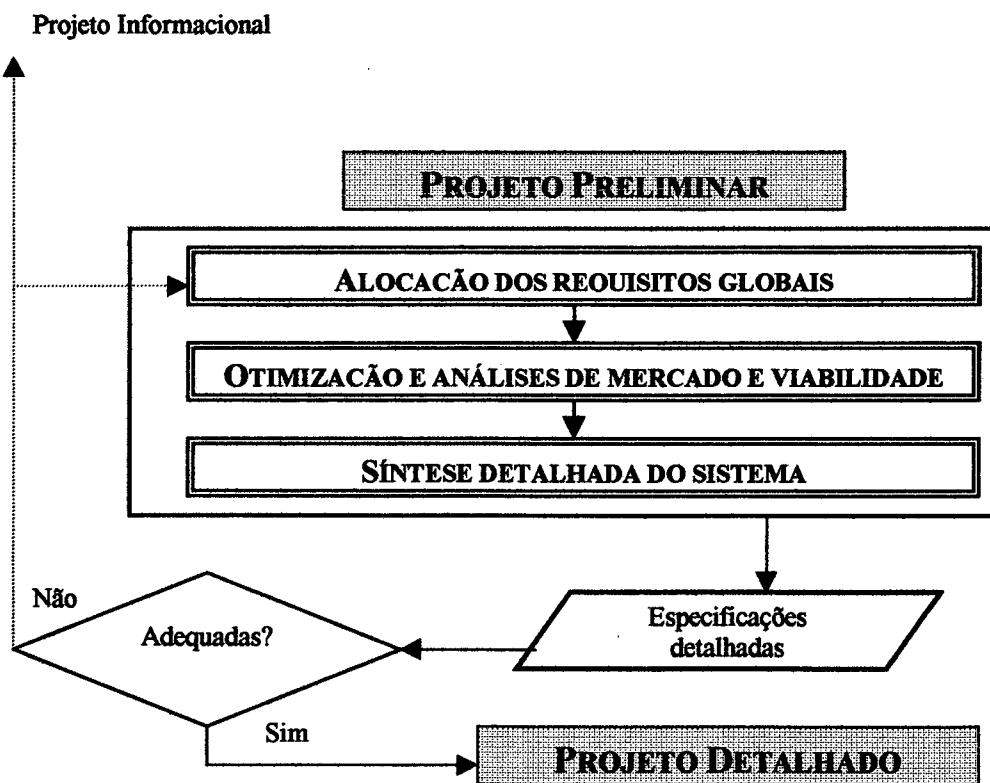


Figura 4-7: Etapas do projeto preliminar (BLANCHARD & FABRICKY, 1990)

Dentro das etapas do projeto preliminar, estão as tarefas de planejamento, implementação e avaliação/teste do sistema. Nelas, os resultados alcançados devem ser continuamente avaliados em termos dos critérios de eficácia especificados e, caso sejam satisfatórios, a configuração proposta progride para o projeto detalhado, do contrário, alternativas são avaliadas e mudanças

devem ser implementadas na alternativa de concepção escolhida, formando assim um processo iterativo.

4.5.1 Alocação de requisitos

Nesta etapa, os requisitos especificados para o sistema total são alocados nas funções desdobradas objetivando propiciar algumas diretrizes de projeto, quantitativas e qualitativas, a cada elemento do sistema em particular e auxiliar o desenvolvimento de um produto que estará compatível com os requisitos globais identificados para sistema. A alocação dos requisitos objetiva fundamentalmente:

- ✓ proporcionar parâmetros técnicos e restritivos além de discutir os critérios de projeto onde necessário;
- ✓ ajudar à delegação de tarefas na equipe de projetista. Cada membro pode ficar responsável por um diferente elemento do sistema e, trabalhando independentemente, estabelecer seus próprios objetivos e o resultado quando combinado com as outras parcelas, não conspire contra os requisitos totais estabelecidos inicialmente.

A alocação deve considerar todos os parâmetros significativos para o sistema total, na forma de requisitos máximos ou mínimos (com tolerâncias onde apropriado) e é composto de:

- ✓ fatores de eficácia: disponibilidade operacional (A_o), confiabilidade, mantinabilidade, horas de manutenção por horas de operação (MMH/OH) e outros;
- ✓ parâmetros físicos e de performance: alcance, precisão, velocidade, capacidade, taxa de saída, potência fornecida, peso tamanho e volume, tempo médio entre manutenção (MTBM) tempo médio de manutenção corretiva efetiva (\bar{M}_{ct});
- ✓ fatores relacionados à capacidade de suporte: tempo de transporte ou suprimento entre níveis de manutenção, sobressalentes e reparos, disponibilidade, equipamentos de suporte e teste (utilização e disponibilidade), utilização das instalações, eficácia e qualificação de pessoal, taxa de transporte e manuseio, tempo de giro de manutenção;
- ✓ fatores de custo de ciclo de vida: custo de pesquisa, de desenvolvimento, de investimento ou de produção, de suporte e manutenção, de descarte, de operação.

A árvore de montagem é utilizada no sentido de retratar graficamente e assim auxiliar a compreensão e documentação, possibilitando uma excelente visão do esquema de montagem do sistema e seus subsistemas (Figura 4-8).

O resultado das análises da alocação de requisitos, mais uma vez, pode ser a conclusão pela impossibilidade tecnológica ou de mercado dos parâmetros atribuídos. Neste caso, deve-se revisar a alocação dos requisitos e a concepção para definir o formato mais competitivo.

4.5.2 Otimização, análises de mercado e viabilidade

Dentro dos limites e restrições determinados desde as especificações globais e alocados através da alocação de requisitos, um projeto pode possuir diversas variáveis na sua concepção. O problema é selecionar o melhor conjunto de resultados para estas variáveis, através de uma análise do sistema utilizando ferramentas como (BLANCHARD & FABRICKY, 1990):

- ✓ Modelos de análise
- ✓ Técnicas de análise econômica
- ✓ Modelagem matemática e otimização
- ✓ Estatística e probabilidade
- ✓ Técnica e conceitos de controle de processos
- ✓ Análise e teoria de simulação

SISTEMA	
A _o	0.9989
MTBM	450 h
MMH/OH	0.2
Qualificação	GS-5
Custo	\$50.000

Unidade A	Unidade B	Unidade C		
MTBM	4,050h	MTBM	536h	9,050h
Mct	0,9h	Mct	0,4h	1,0h
MMH/OH	0.2	MMH/OH	0.17	0.01
Qualificação	GS-7	Qualificação	GS-7	GS-7
Tamanho	1 x 2 x 5	Tamanho	1 x 4 x 2	1 x 1 x 2
Peso	280 kg	Peso	150kg	320kg
Custo	\$17.000	Custo	\$25.000	\$8.000

Figura 4-8: Árvore de montagem de uma alocação de requisitos (BLANCHARD & FABRICKY, 1990)

Um exemplo de análise neste nível são as análises de confiabilidade. Supondo um sistema cuja confiabilidade deva ser de no mínimo 99% para um determinado tempo de operação, significa que todos os seus elementos, representados neste ponto do projeto pelas funções identificadas na estrutura funcional, devem conspirar para tal requisito global. Porém não significa que cada componente deva ter uma confiabilidade de 99%. A depender dos resultados de uma análise de confiabilidade e das relações série-paralelo no diagrama de blocos de confiabilidade, o analista pode, por exemplo, concluir pela vantagem em projetar um sistema com algumas redundâncias. Assim as funções serão executadas por um elemento, contudo estando previstos outros para atuarem no caso da falha, garantindo a operação do sistema. O requisito de 99% de confiabilidade pode assim ser alcançado. Afora esta alternativa, outras também poderiam ser analisadas em prol do requisito global – 99% de confiabilidade para o

sistema total. A escolha pairará sobre outros critérios que devem estar explícitos nas especificações ou no método de análise.

A avaliação pode ser facilitada pelo uso de várias técnicas matemáticas na forma de modelos ou série de modelos, que representem, de forma simples, a realidade da situação do problema sob análise. Os modelos matemáticos tornam possíveis avaliar elementos interrelacionáveis e atuam focados em dois objetivos: avaliar as consequências prováveis da maioria das alternativas examinadas; não concluir pela decisão final, mas sim ser uma ferramenta que forneça dados necessários de suporte ao processo de decisão. BLANCHARD & FABRICKY (1990) consideram fundamental um conhecimento de probabilidade e estatística, teoria de simulação, técnicas de controle e outra técnicas para realização de uma eficaz análise do sistema.

Na conclusão da decisão, deve ser questionado se todas as alternativas de solução foram consideradas. Quanto melhor for a alternativa selecionada sobre as demais, menores os riscos e incertezas envolvidos.

4.5.3 Síntese do sistema

BLANCHARD & FABRICKY (1990) concluem o projeto preliminar com a elaboração da síntese do sistema. Uma síntese é a combinação e estruturação de partes e elementos de tal forma a compor uma entidade funcional. A síntese do sistema é alcançada quando suficientes análises de otimização e viabilidade são realizadas para confirmar e assegurar a perfeição de performance do sistema e atribuição de requisitos de projeto para o projeto detalhado.

A performance, configuração e arranjo escolhidos para o sistema e seus elementos são retratados junto com suas técnicas e planejamentos de teste, operação e suporte e manutenção no ciclo de vida, formando uma base definitiva que pode ser apresentada na forma de especificações mais refinadas. Assim, o resultado final do projeto preliminar é uma sintetização da configuração do sistema proposto apresentadas através de especificações mais detalhadas.

4.6 Projeto detalhado

Com as especificações globais da configuração do sistema definidas no projeto conceitual e refinadas no projeto preliminar é necessário avançar para uma definição final da estrutura física do sistema e do suporte logístico associado. Nesta fase as formas geométricas, dimensões, tolerâncias, propriedades superficiais e materiais do produto e todas as suas partes individuais são completamente especificadas e expostas em desenhos de montagem, desenhos de detalhes e listas de partes. Todas as instruções para o resto do ciclo de vida do sistema devem ser

documentados: produção, montagem, teste, transporte, operação, uso, manutenção, descarte/reciclagem.

Assim, o projeto detalhado é composto das seguintes atividades (BLANCHARD & FABRICKY, 1990):

- ✓ detalhamento de “todos” os elementos do sistema e seus subsistemas, unidades, montagens e componentes e dos equipamentos de suporte logístico (materiais, tratamentos superficiais, detalhamento das formas, tolerâncias e ajustes, entre outros);
- ✓ preparação da documentação do projeto (especificação, resultados das análises, relatórios dos estudos de mercado, análises de predições, desenhos detalhados de “todos” os elementos do sistema);
- ✓ definição e desenvolvimento de software de computador (se aplicável);
- ✓ desenvolvimento de modelos físicos de teste e/ou protótipo do sistema e/ou de seus elementos para teste e avaliação de forma a verificar a conformidade do projeto;
- ✓ revisão formal do projeto.

4.7 Considerações finais

Como apresentado neste capítulo, a metodologia de projeto é um procedimento sistemático com o objetivo de integração e otimização dos diferentes aspectos envolvidos no projeto e que se adequa às várias tecnologias, possibilitando a interação entre o pessoal envolvido e tornando lógico e compreensível o processo de projeto (BACK & FORCELLINI, 1997).

Baseado nas discussões apresentadas, a metodologia de projeto adotada nesta dissertação é, basicamente, a adotada pelo NeDIP (Figura 4-1). Contudo, principalmente, no projeto preliminar, contribuições das discussões promovidas na proposta de BLANCHARD & FABRICKY (1990) são empregadas, pois possuem um maior foco no projeto para mantinabilidade e, consequentemente, maior interface com o questionamento sobre sistemas de manutenção.

A revisão da metodologia de projeto executada neste capítulo, serviu de base para a estruturação da metodologia a ser apresentada nesta dissertação e que é, também, dividida em quatro fases (Figura 4-9). No projeto informacional (capítulo 05), busca-se identificar as necessidades da empresa frotista em fazer manutenção da frota e traduzi-las em metas e objetivos do setor de manutenção para estar integrado aos anseios globais da empresa. No projeto conceitual (capítulo 06), busca-se definir possíveis configurações gerais para a

manutenção – concepções de manutenção – que cumpram as metas e objetivos especificados. No preliminar (capítulo 07) as concepções são refinadas e a melhor alternativa é escolhida. No processo de seleção, as estruturas de manutenção são definidas de acordo com cada concepção de manutenção sob análise.

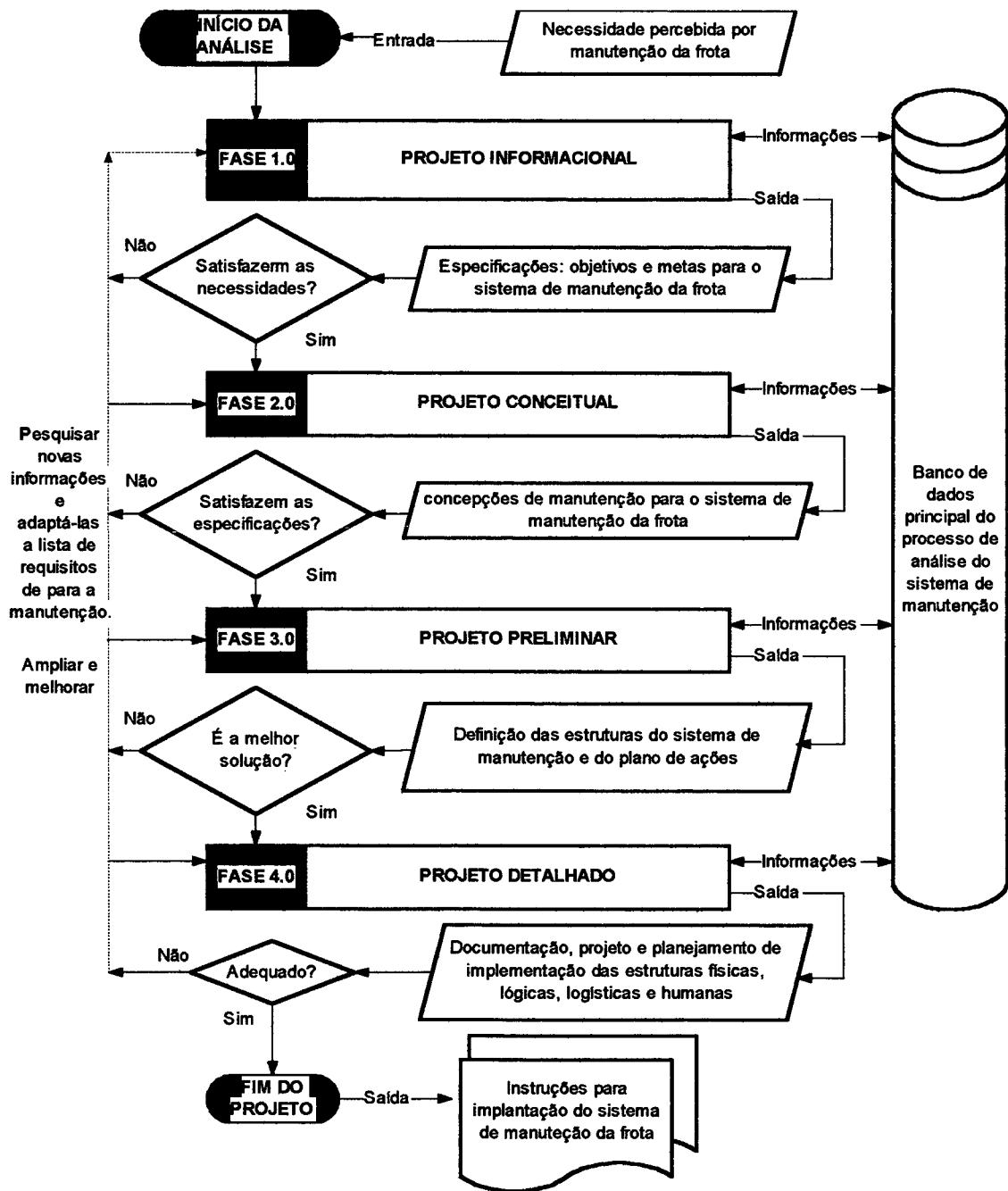


Figura 4-9: Metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4-1)

Na fase detalhada, o projeto é concluído através da documentação, elaboração dos softwares de gestão, ao tempo que se inicia o projeto e planejamento e implementação das estruturas do sistema de manutenção. Como é uma fase de conclusão de trabalhos, não possui análises decisórias sobre o formato do sistema de manutenção, ou seja, não há análises que modifiquem ou modelem a configuração da manutenção. Assim, como um dos objetivos do trabalho é descrever todas as análises necessárias para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frotas, a fase detalhada não será abordada nesta dissertação, estando apenas relacionadas as atividades que devem a ser executadas.

5 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional é a fase na qual o analista colhe as informações que justificam a estruturação de um sistema de manutenção para uma frota e as transformam em especificações técnicas, objetivas e sem ambigüidades.

Na estruturação de sistema de manutenção para frota, as especificações devem descrever quais os objetivos e metas este deve cumprir de forma a satisfazer, da melhor maneira possível, as necessidades da empresa, quer sejam manifestadas através das necessidades de seus usuários, da produção ou das diretrizes estratégicas globais do frotista. Posteriormente, as especificações servem de meio de avaliação do sucesso da manutenção em satisfazer estas necessidades.

5.1 Etapas do projeto informacional

É importante destacar a atenção que deve ser dispensada quando da captação e compreensão das necessidades que motivam o planejamento e estruturação de sistemas de manutenção. Estas precisam estar bem estabelecidas pois determinam a direção a ser seguida no projeto da manutenção.

Neste sentido, DOLCE (1998) diz que os conhecimentos que um gerente de manutenção de veículos deve ter, não têm o mesmo grau de importância em cada organização. Os critérios de tomada de decisão e a ênfase em qualificação são dependentes da formação da pessoa responsável pela frota, do histórico de trabalho e, talvez o mais importante, do departamento no qual a unidade está localizada. Assim sob estes critérios, a função do gerenciamento de manutenção da frota varia de organização para organização.

Assim, a identificação das necessidades que motivam a estruturação do sistema de manutenção da frota pode proporcionar uma base sólida que possibilite menores custos e tempos de desenvolvimento dos sistemas de manutenção em direção a resultados harmoniosos com a estrutura, cultura e necessidades da organização, uma vez que todas as tarefas subsequentes, a serem conduzidas no projeto, serão direcionadas sobre as metas e objetivos especificados.

Ou seja, qualquer equívoco de coleta de informação ou mesmo interpretação pode gerar soluções distorcidas daquilo que realmente se necessita. Frente a este grau de importância, o emprego de alguma metodologia que auxilie o levantamento destas necessidades e as transforme em especificações finais, é salutar.

A Figura 5-1 sistematiza a sequência de etapas utilizada para tratamento das informações.

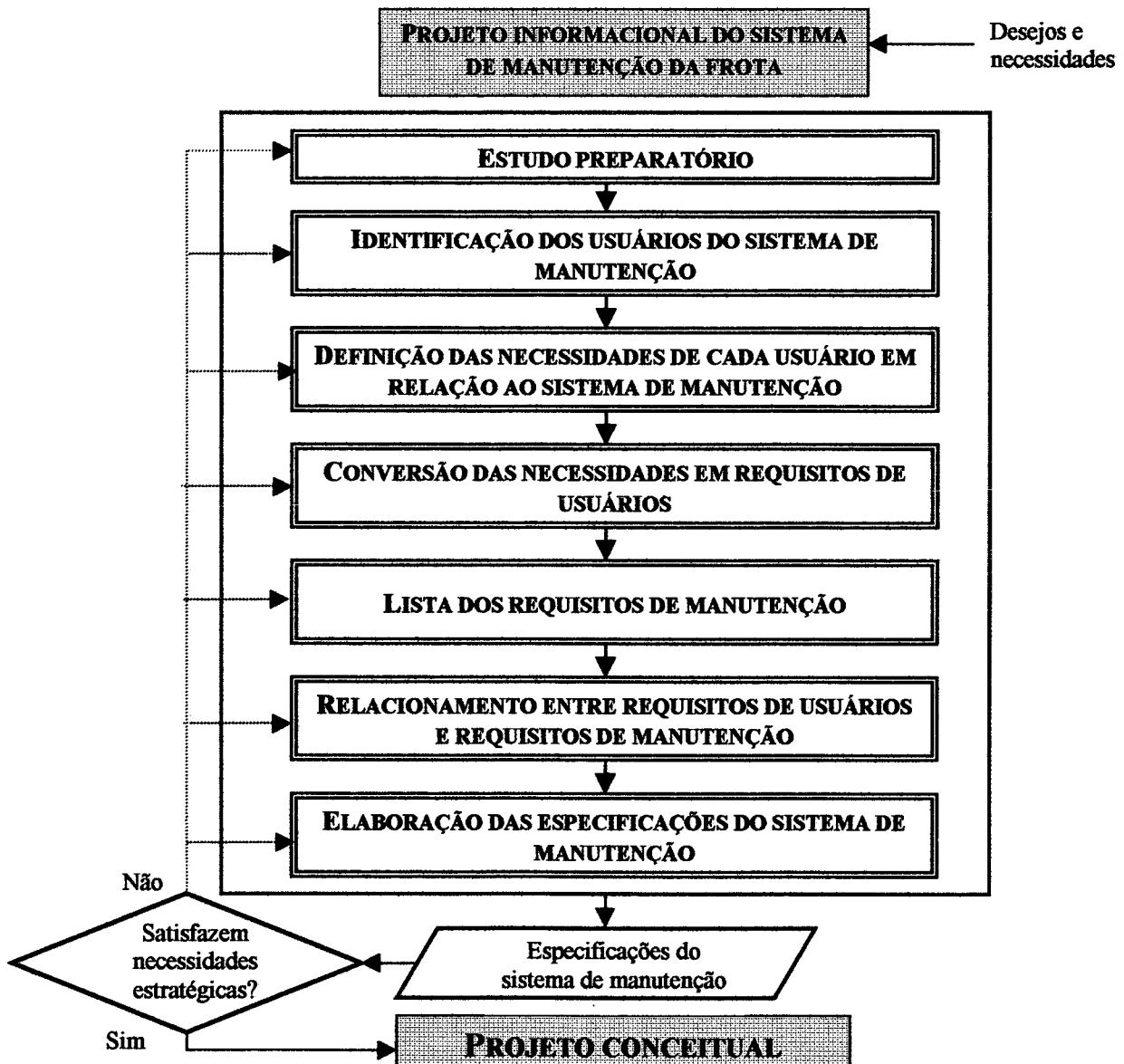


Figura 5-1: Etapas do projeto informacional de um sistema de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4.2)

Como referência, para sistematizar esta fase, foi empregada a metodologia proposta por Fonseca (seção 4.3), dentro da proposta do NeDIP, que, embora objetivasse especificamente o projeto de produtos, com algumas considerações pode ser utilizada à elaboração das

especificações da estruturação de sistemas de manutenção. A seguir serão discorridos os comentários da aplicação desta metodologia.

5.1.1 Estudo preparatório

O que deve o analista observar e conhecer sobre o projeto de um sistema de manutenção de uma frota automotiva? Esta pergunta resume bem o objetivo desta tarefa. Compreender, preliminarmente, os meandros no qual o sistema de manutenção irá agir, penetrar no mundo de conhecimento relacionado às análises e estudos que desenvolverá, antes de iniciar propriamente a pesquisa das necessidades junto aos usuários.

Diferentes parâmetros devem ser considerados para caracterizar a configuração em que o sistema de manutenção irá atuar (seção 2.7.1) como, demanda ambiental, compromissos com pontualidade, variedade e estrutura de produtos, cadeias de fornecimento e suprimento, demanda de qualidade, processo de produção requerido, necessidade de segurança e qualificação de mão de obra (RIIS *et al.*, 1997).

Como no setor industrial, a manutenção de uma frota deve estar inserida no contexto da produção. Quais as condições operacionais? Qual a disponibilidade requerida? Para cada empresa há objetivos declarados e não declarados que devem ser identificados pelos gerentes e analistas de manutenção.

Assim, no projeto de sistemas de manutenção de frota o analista deve captar as características inerente de cada organização, observando com atenção suas peculiaridades, além de entender, com clareza, a configuração de mercado em que se estabelece. Para tal, quatro pontos de análise se destacam:

- ✓ características do ramo de atividade;
- ✓ características da organização;
- ✓ características dos veículos;
- ✓ características operacionais dos veículos.

As características do ramo de atividade determinam as características do negócio da empresa como: restrições e inferências externas, tanto de organismos públicos como do mercado, a economia que rege a atividade e os propósitos do negócio.

A percepção das características da organização visa entender como se processam as formas de aprendizado na empresa (RIIS *et al.*, 1997), ou seja, quais as perspectivas de comportamento individuais, as perspectivas de suporte de decisão, as perspectivas de sistemas de gerenciamento e estrutura organizacional e as perspectivas de cultura corporativa. Procura

entender como a empresa funciona, seus níveis de hierarquia, e seu fluxo de decisão, o grau de qualificação dos funcionários e de suas lideranças (chefias formais e informais).

A análise dos veículos a serem mantidos identifica além dos veículos da operação os outros equipamentos determinados pela direção geral da empresa como foco da manutenção. Assim, identificam a área de atuação da manutenção, as características das falhas e as possíveis consequências à segurança, ao meio ambiente, ao homem e ao cumprimento das metas e objetivos operacionais e estratégicos da empresa.

A análise das características operacionais dos veículos deve revelar a carga de esforços empregada aos equipamentos, o grau de nocividade do ambiente de operação, as rotinas operacionais e a distribuição geográfica dos veículos imposta pela operação. Visa compreender os requisitos operacionais, ou seja, como é ou será utilizado, considerando os aspectos específicos de cada empresa como, localização e modos de operação, os ambientes esperados para cada local de operação, a capacidade e distribuição de pessoal, veículos e as métricas de desempenho. Os fatores que caracterizam a configuração operacional dos equipamentos são (Figura 5-2) (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; BLANCHARD *et al.*, 1995):



Figura 5-2: Composição dos requisitos operacionais (BLANCHARD & FABRICKY, 1990; BLANCHARD *et al.*, 1995)

- ✓ missão: identificação das funções principais dos veículos, a dinâmica das características operacionais;
- ✓ parâmetros físicos de performance: identificar os parâmetros críticos de performance dos veículos. Ex.: peso, precisão, velocidade, potência, fluxo, volume e outros;
- ✓ distribuição e emprego operacional: identificação dos locais de operação dos veículos, assim como a distribuição de pessoal, equipamentos de suporte, softwares, instalações, dados;

- ✓ ciclo de vida operacional: tempo previsto para o veículo operar até ser descartado;
- ✓ ambiente: definição do ambiente em que o equipamento vai operar (plano, montanhoso, ártico, trópico, ar, terra, água, temperatura), em fim, identificar a agressividade imposta aos veículos;
- ✓ fatores de eficácia: relação custo por eficiência dos veículos, como disponibilidade operacional requerida, taxa de prontidão, nível de utilização das instalações de manutenção, nível de qualificação de operadores e eficiência de pessoal dentre outros. São as medidas que são utilizadas para avaliar o quanto eficiente e efetiva estão sendo executadas as missões.

Estas análises devem influir decisivamente no perfil e planejamento das tarefas de manutenção. Para realizá-las, o analista deve cercar-se de observações e análises de mercado, destacando os pontos característicos importantes que possam inferir num modelo de manutenção.

Para guiar estas observações e análises sugere-se a adoção de um *check-list* reduzindo a possibilidade de não percepção de algum fator importante. A Tabela 5-1 apresenta um *check-list* aplicado a sistemas de manutenção de frotas.

Tabela 5-1: Check list para estudo preparatório de sistemas de manutenção de frota automotiva

a) CARACTERÍSTICAS DO RAMO DE ATIVIDADE
✓ Características do mercado no qual a empresa está inserida;
✓ Como a economia pode afetar os objetivos da empresa;
✓ Como gestões públicas ou decisões políticas podem interferir no gerenciamento e competitividade da empresa. Como o sistema de manutenção pode auxiliar neste ponto;
✓ Dependência da empresa em relação a outras empresas (cadeia de fornecimento e clientes);
✓ Como a manutenção pode afetar o meio ambiente (resíduos tóxicos, poluição...);
✓ Legislações e normas restritivas, inclusive ambientais, que se relacionam com a manutenção;
✓ Efeitos, devido a deficiência de manutenção, são percebidos pelos passageiros;
✓ Importância da atividade da frota: principal ou secundária. Exemplificando, uma empresa de transporte de carga objetiva como função principal o transporte de carga. Já uma usina de cana de açúcar tem por objetivo principal produzir derivados da cana. A frota executa uma função secundária de suporte. Para uma frota secundária, qual a influência da manutenção sobre a execução da função principal da empresa;
✓ Tipo de produção da empresa da qual a frota faz parte: produção a pedidos ou para manter estoques; unitária, intermitente ou contínua; discreta (por peças) ou em massa (por processo) (QUEIROZ, 1997);
✓ Competitividade da concorrência. Como pode a manutenção tornar a empresa mais competitiva;
b) CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA
✓ Nível de preocupação com a satisfação dos clientes da empresa;
✓ Identificar as funções principais da manutenção (manutenção da frota, abastecimento, controle de dados de desempenho,...);
✓ Identificar funções secundárias da manutenção da frota (gerenciamento de resíduos da frota, compras, almoxarifado, laudos técnicos, projetos ou reprojetos parcial ou total de veículos e equipamentos, instalações e manutenção predial e acessórios, gerenciamento de limpeza e serviços gerais contratados como segurança);
✓ Faturamento médio mensal;
✓ Perfil de gastos com manutenção: custo total por período, porcentagem do faturamento, custo por pessoa transportada, por viagem,...;
✓ Requisitos de qualificação e habilidade profissionais (grau de escolaridade, instrução por categoria, especializações) assim como políticas de recursos humanos (procedimentos de contratação, políticas de formação e treinamento, plano de carreira, incentivos, planos de desempenho...);
✓ Fatores culturais que podem influenciar o desempenho da manutenção: nível de exigência da comunidade, informalidades nos fluxos de decisão e comando...);

Tabela 5-1: Check list para estudo preparatório de sistemas de manutenção de frota automotiva

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Como a motivação e comprometimento dos funcionários afeta a manutenção; como se estabelece atualmente; ✓ Organograma hierárquico da empresa; ✓ Integração entre departamentos da empresa; ✓ Identificação e qualificação das lideranças formais (diretores, gerentes, chefes...); ✓ Identificação e qualificação das lideranças informais da empresa;
c) CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diversidade e classificação dos veículos sob manutenção (modelos e tipos); ✓ Complexidade dos veículos: especialidades envolvidas, precisão de mecanismos, conhecimentos científicos e tecnológicos necessários à manutenção dos veículos; ✓ Níveis de manutenção necessários (serviços de campo, equipes de inspeção, equipes de preventiva, seções de recuperação e montagem, seções de retífica, serviço técnico autorizado, reformas, dentre outros); ✓ Expectativa de carga de trabalho de manutenção; ✓ Efeitos da falta de manutenção organizada sob os veículos: relação da manutenção com a garantia de desempenho operacional, segurança humana, dos veículos, instalações e ambiental, incluindo aspectos de contaminação e insalubridade; ✓ Como verificar se o veículo está apto a operar;
d) CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DOS VEÍCULOS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Disponibilidade operacional requerida para a frota; ✓ Caracterizar a missão dos veículos; ✓ Distribuição dos veículos e pessoal de operação e manutenção. Verificar necessidade de estrutura de transporte para fluxos de equipamentos e equipes; ✓ Severidade; ✓ Identificar o melhor momento para realizar manutenção nos veículos; ✓ Custo médio da parada de produção por falha nos veículos? ✓ Identificar os parâmetros de desempenho operacional (índices característicos); ✓ Rotina operacional e identificar janelas de manutenção (momentos onde o veículo não é requisitado); ✓ Verificar a rotatividade ou renovação da frota – expectativa de vida operacional dos veículos; ✓ Tempo médio de atendimento de emergência de uma falha durante a operação. Quais os fatores restritivos;

Em frotas de ônibus urbano de passageiros, alguns fatores que se destacam como necessidades a serem satisfeitas por um sistema de manutenção são: custos periódicos (mensais, por exemplo); disponibilidade requerida para a frota; grau de preocupação com a satisfação dos passageiros; nível exigido pelo órgão gestor no cumprimento de ordens de serviços operacionais (número de viagens realizadas por número de viagens programadas pelo órgão da prefeitura); consumo de óleo diesel, pneus, óleo lubrificante, peças e acessórios e distância do local de operação à garagem (departamento de manutenção).

Um exemplo de estudo preliminar, parcial, para uma manutenção de frota de ônibus urbano na Inglaterra é apresentada por KELLY (1989). Primeiramente ele desvenda a composição da frota, classificando-a por tipo (Tabela 5-2).

Pela Tabela 5-2, verifica-se que há duas sub-frotas dentro da frota total: plataforma simples e plataforma dupla. As sub-frotas caracterizam-se por serem imiscíveis, ou seja, um veículo de plataforma simples não pode operar no lugar de um de plataforma dupla. Dentro desta divisão há a demanda requerida para cada sub-frota (4 veículos plataforma simples e de 177 de plataforma dupla) e a disponibilidade total de veículos (6 e 203 respectivamente).

Tabela 5-2: Exemplo de composição de uma frota (KELLY, 1989)

Tipo de ônibus	Fabricante/modelo	Quantidade	Demanda
Plataforma simples	A	6	4
	B1	1	
	B2	14	
	B3	16	
	B4	13	
	B5	40	
Plataforma dupla	C1	23	
	C2	86	
	D	10	
	Sub total plat. dupla	203	177
	Total de ônibus	209	181

Caracterizada a frota, as necessidades por manutenção desta será consequência das necessidades de cada sub-frota. Assim, a disponibilidade operacional requerida para o todo será consequência do resultado da disponibilidade operacional de cada parcela.

Como exemplo, simula-se uma análise da disponibilidade de um situação real (Figura 5-3). A disponibilidade requerida para uma sub-frota é dada pela taxa de demanda de pico – TDP – e a disponibilidade operacional efetivamente alcançada, pela Disponibilidade da Frota no Pico – DFP (KELLY, 1989). Assim a disponibilidade requerida exigida para a sub-frota de plataforma dupla é maior (87,19%) que para a de plataforma simples (66,67%).

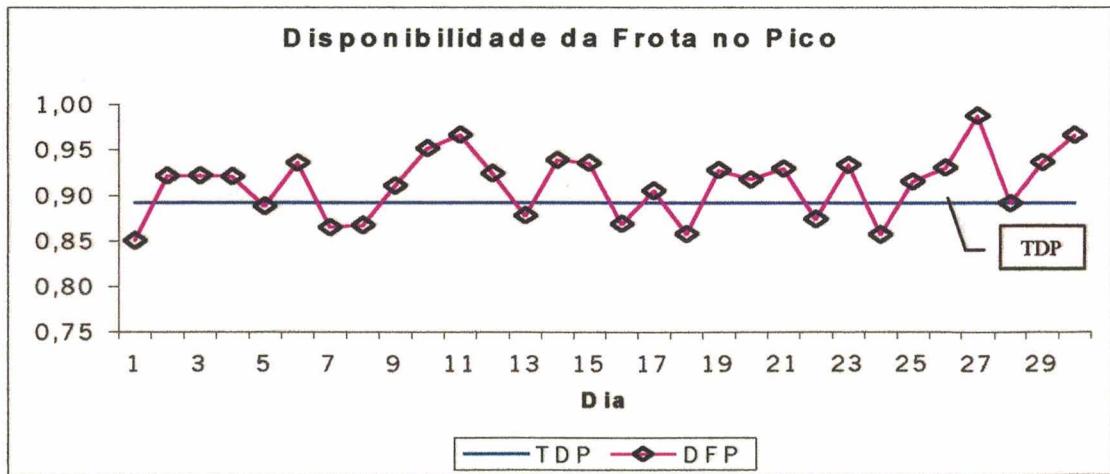


Figura 5-3: Simulação de análise de disponibilidade de uma sub-frota

Observa-se que, num período de 30 dias, houveram 08 dias com disponibilidade abaixo do requerido (pontos abaixo da linha TDP). Isto significa falta de veículos para a operação no horário de pico de demanda ($DFP < TDP$) o que ocasiona o não cumprimento de viagens programadas, o atraso de cronograma de diversos veículos e consequentemente a não

confiabilidade de cumprimento da carta horária prevista pelo órgão gestor. Nesta configuração muitos usuários perderão horários ou compromissos.

Já no dia 27, observa-se que a frota está totalmente disponível (100%). Isto significa que todos os 209 veículos (Tabela 5-2) estão aptos a operar no momento de pico. Este ponto representa o melhor resultado de disponibilidade e deve ser perseguido numa ação conjunta entre a operação e manutenção.

O cálculo da disponibilidade requerida para esta análise é feito por:

$$\text{TDP (taxa de demanda de pico)} = \frac{\text{Nº de veículos necessários no pico}}{\text{Nº total de veículos da sub - frota}} \quad (5.1)$$

$$\text{DFP (disponibilidade da frota no pico)} = \frac{\text{Nº veículos disponíveis pico}}{\text{Nº veículos necessários no pico}} \quad (5.2)$$

5.1.2 Identificação dos usuários do sistema de manutenção

O objetivo desta tarefa é identificar todos as pessoas ou entidades que se relacionam com o sistema de manutenção da frota. Uma forma de proceder tal identificação é responder às seguintes questões:

- ✓ Quem são os **usuários diretos** do sistema de manutenção da frota? Usuários diretos são aqueles que interagem com o sistema, que trabalham com ele ou na empresa, ou seja, os funcionários da manutenção, diretores, supervisores, chefes de seção, almoxarifes, superintendentes, dentre outros.
- ✓ Quem são os **usuários indiretos** do sistema de manutenção? Usuários indiretos são ou entes (pessoas ou entidades) que sofrem as consequências do sistema de manutenção e que não pertencem à empresa, ou seja, o meio ambiente, comunidades vizinhas, clientes, dentre outros.

5.1.3 Definição das necessidades de cada usuário em relação ao sistema de manutenção

Após estar familiarizado com o quadro em que o sistema de manutenção irá atuar, inicia-se a análise das necessidades de cada usuário, identificado na tarefa anterior. Esta etapa objetiva captar os desejos e expectativas de cada usuário em relação ao sistema de manutenção complementando e certificando as informações colhidas no estudo preparatório, através da coleta da expressão do usuário. Tal tarefa justifica-se por dois motivos:

- ✓ Na atividade de manutenção, a experiência deve ser valorizada ao máximo, pois muitas das decisões são reflexos de características muito particulares de cada empresa, e assim são muito

díficeis de serem captadas por um observador externo. Um exemplo é o grau de confiança depositado na equipe. Equipes confiáveis não necessitam de excesso de documentações para geração de dados confiáveis ou para garantia da segurança patrimonial (evitar furto).

- ✓ A maioria das manutenções de frotas no país não dispõe de dados observados para análise. Nestes casos, as conclusões sobre alternativas de decisão de manutenção da frota são calcadas sobre a experiência acumulada e “arquivadas” apenas na cabeça de alguns funcionários chaves, antigos. Assim, este “banco de dados informal” deve ser desvendado objetivando uma melhor solução e um caráter mais técnico para o sistema de manutenção.

Para execução desta tarefa, alguns métodos são indicados: questionários estruturados a cada usuário; observações; e posicionamento do analista como um usuário.

Os questionários estruturados são realizados através de entrevistas ou mesmo formulários com todos os usuários do sistema de manutenção. Estes questionários devem ser específicos a cada tipo de usuário e constar tantos dos pontos analisados no estudo preparatório da tarefa como de novos questionamentos que captem a expressão de cada usuário. Deve-se observar que as declarações dos usuários devem ser descritas com total liberdade de expressão, ou seja, não devem preocupar-se em se prender a terminologias técnicas que possam comprometer a transmissão da comunicação.

As observações e o posicionamento como usuário colocam o analista numa posição externa ao cotidiano da empresa, o capacitando a reduzir a carga emocional das declarações dos usuários e a consolidar as informações de forma mais precisa em relação ao que o usuário realmente deseja do sistema de manutenção.

A Tabela 5-3 apresenta dados complementares importantes a serem pesquisados junto aos usuários de uma frota. São itens complementares pois o questionário completo para cada usuário deve ser montado, também, sobre os itens referidos no estudo preparatório (Tabela 5-1). Mais uma vez, em se dispondendo de dados históricos de sistemas de manutenção similares, estes devem ser bem explorados em relação aos pontos indicados.

Tabela 5-3: Quesitos complementares a pesquisar junto aos usuários

a) DESEJOS DOS USUÁRIOS

- ✓ Expectativas dos usuários com manutenção dos veículos
- ✓ Como os usuários podem ser afetados pelo mau desempenho do sistema de manutenção
- ✓ Como o sistema de manutenção pode ajudar o usuário (em seu trabalho, sua saúde,...)
- ✓ A padronização na execução de serviços é fundamental

b) CARACTERÍSTICAS DO RAMO DE ATIVIDADE

- ✓ Como pode a manutenção ajudar a empresa aumentar sua participação no mercado;

Tabela 5-3: Quesitos complementares a pesquisar junto aos usuários**c) CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA**

- ✓ Qual a posição que a empresa pretende ocupar entre as concorrentes; Se a manutenção pode ajudar;
- ✓ Metas operacionais e da produção (no caso da frota desempenhar função secundária);
- ✓ Metas e planos globais da empresa;
- ✓ Quanto a empresa dispõe para estruturar o sistema de manutenção;
- ✓ Dispõe a manutenção de previsão orçamentária; Quanto?
- ✓ Como a manutenção da frota compromete a imagem interna e externa pretendida pela empresa;

d) CARACTERÍSTICAS DOS VEÍCULOS

- ✓ Quais são os itens de maior preocupação com manutenção? Por que?

No Anexo II está exposto um questionário utilizado na pesquisa junto aos usuários do estudo de caso de um sistema de manutenção de frota de ônibus coletivo urbano de passageiro de Florianópolis, Santa Catarina.

5.1.4 Conversão das necessidades em requisitos de usuários

As necessidades percebidas e captadas pelo analista até este ponto devem agora ser compiladas buscando uma expressão mais técnica, ainda mais qualitativa que quantitativa.

No seção 2.4, foi concluído que as medidas de manutenção de uma empresa podem ser agrupadas em 03 categorias: medidas de desempenho operacional, medidas de suporte de manutenção e medidas estratégicas da organização. Num projeto de um sistema de manutenção para uma frota objetiva-se, fundamentalmente, estruturar um suporte de manutenção que proporcione um desempenho das tarefas de manutenção ajustados às necessidades de desempenho operacional e das metas estratégicas. Assim, nesta fase o analista colhe informações sobre quais metas de desempenho operacionais e estratégicas justificam a estrutura de suporte de manutenção.

Desta forma, a lista de requisitos do usuário em projeto de sistema de manutenção de frota, pode ser agrupada em dois conjuntos de requisitos: requisitos operacionais dos veículos e requisitos estratégicos da organização. Ou seja, todos os requisitos de um sistema de manutenção estarão englobados nestas duas categorias.

Já em relação ao desempenho dos equipamentos, os requisitos operacionais proporcionam ao analista gerar uma estrutura ajustada à carga e características de utilização dos veículos, específicos a cada empresa (Figura 5-2): missão, parâmetros físicos de performance, distribuição e emprego dos equipamentos, vida prevista para os equipamentos, fatores de eficácia de desempenho e ambiente de operação. A Tabela 5-4, a seguir, exemplifica alguns requisitos de usuários característicos de sistemas de manutenção de frotas.

Tabela 5-4: Tipicos requisitos de usuários de sistemas de manutenção de frota automotiva

REQUISITOS ESTRATÉGICOS DA ORGANIZAÇÃO	REQUISITOS OPERACIONAIS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reduzir gastos ✓ Reduzir acidentes com funcionários e clientes ✓ Reduzir acidentes com veículos ✓ Maior comprometimento com funcionários ✓ Maior produtividade ✓ Reduzir reclamações dos clientes ✓ Reduzir estoque de peças e acessórios ✓ Prever demanda de peças e acessórios ✓ Maior integração operação/ manutenção ✓ Preservar imagem da empresa ✓ Cumprir orçamento anual com manutenção ✓ Cumprir orçamento estimado para estruturar o sistema de manutenção. ✓ Atingir previsão de faturamento anual ✓ Evitar multas e penalidades ✓ Custo relativo (custo total manut. por passageiro) ✓ Diminuir custo de operação ✓ Melhorar ou manter qualidade de operação 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reduzir poluição ✓ Reduzir ruído ✓ Realizar programação de viagens ✓ Realizar missões sem falhas ✓ Cumprir missões com poucas falhas ✓ Prever comportamento dos veículos ✓ Reduzir consumo de combustível ✓ Diminuir o tempo de inatividade dos veículos ✓ Evitar falhas em operação ✓ Cumprir programações operacional ✓ Aumentar a segurança ✓ Indicar melhores marcas e modelos para renovação de veículos ✓ Controlar grande fluxo de informações ✓ Reduzir manutenções de emergência ✓ Aumentar o MTBM ✓ Reduzir corretivas não planejadas; ✓ Reduzir corretivas planejadas por solicitação dos motoristas ✓ Preservar a pontualidade ✓ Aumentar controle sobre operação dos veículos

5.1.5 *Lista dos requisitos de manutenção*

Como definido – seção 4.3.3 – requisitos de projeto de um produto referem-se a atributos técnicos mensuráveis. De forma similar a um produto, a atividade de manutenção também deve ser mensurada tecnicamente para caracterização de seu sucesso. As características técnicas mensuráveis do sistema de manutenção serão, nesta dissertação, denominadas de: requisitos de manutenção.

A manutenção é mensurada através de suas medidas – seção 2.4. Assim, as medidas de manutenção podem ser consideradas como os requisitos de manutenção de um sistema de manutenção e, por consequência, como as características que devem ser satisfeitas por este. Contudo, os requisitos de manutenção também devem refletir características inerentes apenas à manutenção, o que não ocorre com as métricas estratégicas organizacionais. Por definição, estas expressam o desempenho global dos desejos da empresa, ou seja, o resultado do conjunto de todas os setores da empresa. Assim foge da esfera de competência exclusiva da manutenção.

Dessa forma, os requisitos de manutenção são compostos apenas pelas medidas de desempenho que sejam exclusivamente exercidas pelos esforços da manutenção, isto é, as características relacionadas à mantinabilidade dos veículos: eficiência e suporte de manutenção.

As medidas de mantinibilidade dos equipamentos que sofrerão manutenção são os parâmetros técnicos que caracterizam o desempenho e o suporte do sistema de manutenção e

assim compõem os requisitos de manutenção que deve possuir para satisfazer as necessidades do frotista, seus funcionários e usuários. Determinam as métricas que o sistema de manutenção deve cumprir e justificam todas as estruturas necessárias ao sistema de manutenção (seção 2.7.1). Mais ainda, em planejamentos e estruturações de sistemas de manutenção os requisitos de manutenção são formados pelos fatores de mantinabilidade associados ao desempenho operacional dos veículos (seção 3.3). Obviamente se a configuração de projeto dos veículos não permitir um tal patamar de desempenho, os esforços serão inúteis (seção 2.7.2).

Para finalmente compor integralmente a lista dos requisitos de manutenção de um sistema de manutenção ainda resta determinar a tendência de quantificação, ou seja tendências de menos (-) ou mais (+).

Por consequência, ao elaboração da lista de requisitos do sistema de manutenção, passa pelas medidas de mantinabilidade expostas na seção 3.3, guardando as características manutenção necessárias a cada frota. Assim os requisitos de manutenção do sistema de manutenção de frota podem ser englobados em requisitos de:

- ✓ confiabilidade da frota: relacionados às falhas em operação da frota;
- ✓ tempos de manutenção: relacionados à duração das tarefas de manutenção;
- ✓ requisitos de freqüências de manutenção: relacionados à freqüência com que as tarefas devem ocorrer para satisfazer as necessidades;
- ✓ custos diretos de manutenção: relacionados aos gastos necessários para manter o nível de manutenção desejado. Engloba os custos de peças e acessórios, suporte logístico, MDO, óleo diesel, materiais de consumo, energia, água, instalações prediais, em fim, os custos gerados pelos recursos necessários para manter os veículos operando dentro do que se deseja;
- ✓ custos indiretos de manutenção: relacionados aos custos gerados pelas falhas em operação como: indenizações por acidentes de trânsito, multas, não produção, perda de qualidade de serviço e outros;
- ✓ utilização de MDO: relacionados à necessidade de quantidade e qualificação da MDO para manter os níveis de manutenção desejados;
- ✓ disponibilidade da frota: relacionados à necessidade da frota estar disponível para operação.
- ✓ dependabilidade da frota: capacidade de atender às manutenções de emergência sem prejudicar a operação (reparos entre os intervalos de viagem);
- ✓ considerações humanas: relacionados à importância que a estrutura de manutenção deve ter em relação aos limites humanos para satisfazer os desejos e necessidades;

- ✓ suporte logístico: relacionados ao suporte à atividade de manutenção. Engloba o dimensionamento das estruturas lógicas, físicas e logísticas (capítulo 02);
- ✓ econômicos: consideração da importância do desdobramento da estrutura de custos necessário para avaliar a manutenção dos veículos, das taxas financeiras e inflacionárias; e das perspectivas de gastos futuros;
- ✓ eficácia da manutenção: consideração da importância de uma manutenção eficaz. A eficácia da manutenção é medida sobre diversos fatores que equilibram desempenho técnico com custos - proporcionar confiabilidade a um baixo custo por exemplo. Exemplificando um caso extremo: a eficácia da manutenção pode ser quase totalmente ignorada em frotas cuja responsabilidade operacional atinjam o extremo. É o caso de frotas de corpo de bombeiros, no qual a confiabilidade e disponibilidade são muito mais importantes que o equilíbrio com os custos.

A Tabela 5-5 exemplifica alguns requisitos de manutenção de sistemas de manutenção de frota com alguns aspectos, mensuráveis, respectivamente relacionados.

Tabela 5-5: Requisitos de manutenção de sistemas de manutenção de frota automotiva

REQUISITOS	+/-	ASPECTOS RELACIONADOS AOS REQUISITOS
Custos de manutenção	-	Custos diretos de manutenção (MDO + peças de acessórios) Custos indiretos de manutenção (viagens perdidas, acidentes, indenizações...) Consumo de combustível Gastos com serviços de terceiros
Confiabilidade	+	Confiabilidade Taxa de falhas em operação
Tempos das tarefas de manutenção	-	Tempo médio de manutenções corretivas (Mct) Tempo médio de revisões (Mr) Tempo de atraso administrativo (ADT) Tempo de atraso logístico (LDT) Tempo médio de manutenção efetiva (\bar{M})
Carga de MDO	-	Taxa de utilização de MDO Taxa de eficiência de MDO Total de horas de MDO em manutenção corretiva (Hct) Total de horas de MDO em preventiva (Hpt)
Suprimento	-	Estoque de manutenção
Fatores Humanos	+	Número de sugestões/ano Dias de Faltas no trabalho/ano <i>Turn-over</i> (taxa de substituição de MDO) Número de atestados médicos/ano Número de acidentes de trabalho/ano
Disponibilidade	+	Disponibilidade operacional Disponibilidade inerente ao equipamento Disponibilidade de equipamentos reservas

5.1.6 Relacionamento entre requisitos de usuários e requisitos de manutenção

As especificações devem ser formadas pelas características técnicas do sistema de manutenção que mais se identificam com a satisfação das necessidades dos usuários. Nos requisitos de usuários estão expressos os desejos, ânsias, medos, exigências, em formato mais qualitativo que quantitativo. Nos requisitos de manutenção estão expressos as características de desempenho que o sistema de manutenção deve suprir para satisfazer as necessidades (menor custo, maior disponibilidade, menor tempo das tarefas de manutenção).

Para compor a lista de especificações do sistema de manutenção é necessário então promover uma análise associativa de quais características de desempenho da manutenção – requisitos de manutenção - melhor satisfarão as necessidades dos usuários, produção e organização frotista - requisitos de usuários. Ou seja, busca-se respostas às seguintes questões: qual desempenho da manutenção e operação dos veículos e do suporte logístico associado mais se identificam com os requisitos do usuários, ou seja, quais as metas e objetivos do sistema de manutenção mais se relacionam com as necessidades dos usuários?

Da análise associativa verifica-se que cada requisito de manutenção listado deve relacionar-se com pelo menos um requisito de usuário para que possa ser tido como diretriz ao futuro sistema de manutenção. Um exemplo dessa associação é quanto ao requisito de confiabilidade em sistemas de transporte coletivo: para os passageiros, a confiabilidade relaciona-se com o desejo de pontualidade e, para a empresa, com o desejo de reduzir multas que as manutenções de emergência podem gerar (SINGH & KANKAM, 1979).

Observação deve ser destacada quanto à eficiência, nessa tarefa. A falta de coordenação na execução pode ocasionar uma necessidade de maior iteratividade nas fases futuras do desenvolvimento do sistema de manutenção, que por consequência elevam os custos, tempo e falta de qualidade no desenvolvimento do sistema de manutenção.

Assim, com o objetivo de estruturar o relacionamento dos requisitos de usuários com todos os possíveis requisitos de manutenção, classificar em grau de importância os requisitos mais adequados ao caso particular da empresa e documentar o processo de decisão, indica-se a utilização o QFD (*Quality Function Deployment*).

O QFD, através de sua primeira matriz a “casa da qualidade” (Figura 5-4), é uma ferramenta que promove o relacionamento das necessidades dos usuários em requisitos técnicos do produto a ser desenvolvido. Através de relacionamentos matriciais o QFD confronta necessidades e características técnicas do produto, destacando quais aspectos técnicos mais se relacionam com a satisfação das necessidades dos usuários, ao tempo que promove um ordenamento, em grau de importância, entre os requisitos selecionados. “O QFD ajuda a obter um produto com a qualidade definida pelo usuário, pela clara definição dos objetivos das tarefas necessárias para alcançá-lo”. Contudo, “não garante o sucesso, mas sem dúvida aumenta consideravelmente a probabilidade de atingí-lo”(EUREKA, 1992).

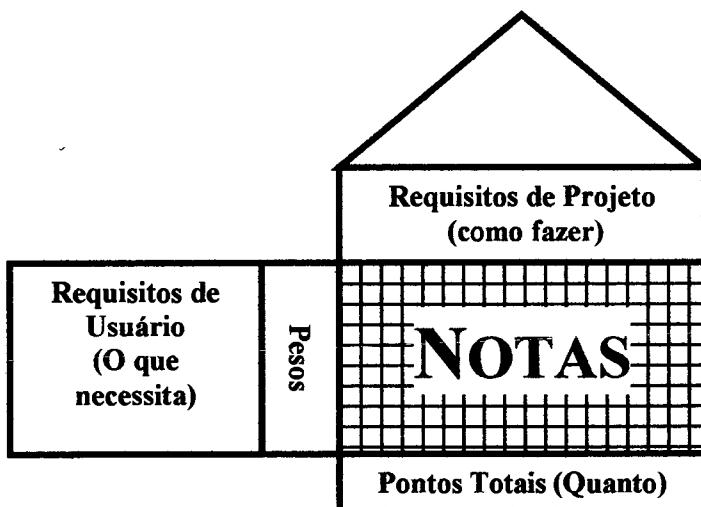


Figura 5-4: 1^a Matriz do QFD - Casa da Qualidade (EUREKA, 1992)

Entretanto, devido à dificuldade de aplicação do QFD demonstrada por alguns autores, um simples “rankiamento”, um ordenamento por ordem de regra, pode ser praticado na qualificação do relacionamento entre requisitos de usuários e de manutenção. Contudo este método não se arca de uma sistematização que o torne, seguramente, eficaz.

5.1.7 Elaboração das especificações do sistema de manutenção

Por fim, a fase do projeto informacional é concluída pela elaboração da lista de especificações do sistema de manutenção. Observa-se que durante todo o processo, desde o estudo preparatório até este ponto, houve um ganho de clareza e definição das informações do projeto. Ainda mais, houve um cuidado na progressão entre os estágios de definição dos requisitos do sistema de manutenção de forma a certificar que, o que está sendo definido como objetivo, está sendo definido com maior exatidão.

Nesta tarefa, elaboração das especificações, ainda há um incremento informacional. Agora é necessário:

- ✓ listar os requisitos que o sistema de manutenção deve cumprir de forma a satisfazer as necessidades dos usuários, produção e organização – os **objetivos** do sistema de manutenção;
- ✓ definir os modelos de apropriação numérica para cada um dos objetivos – **índices técnicos** a serem medidos periodicamente;
- ✓ definir os limites – as **metas** do sistema de manutenção em períodos de tempo. Sobre as metas é que serão realizadas as avaliações futuras do desempenho do sistema de manutenção.

A lista de especificações será formada pelos requisitos de manutenção que se revelaram, na matriz do QFD, como relevantes para a satisfação das necessidades. Assim, para cada um deve-se selecionar um índice de medição que abarque apenas desempenhos da manutenção, sem influência do desempenho de outros departamentos.

É o caso do requisito “reduzir custos”. Este requisito é influenciado pelo desempenho tanto da manutenção como da operação. Em se determinando o índice, deve-se selecionar um que se relacione apenas com a parcela das perdas relacionadas às falhas dos veículos, não mascarando assim os resultados com o acréscimo relacionado à influência dos outros setores da empresa. Na Tabela 5-6 estão visualizados alguns exemplos de especificações de projeto de sistema de manutenção de frotas.

Tabela 5-6: Exemplo de especificações de sistemas de manutenção de frota automotiva

REQUISITO	Objetivo	ÍNDICE DE AVALIAÇÃO	Meta	PERÍODO
Custo direto de manutenção	-	Custo/km (\$/km)	0,3	Ano
Confiabilidade	+	1 – VNRm / VP ⁱ	0,99	Mês
Disponibilidade	+	Disponibilidade operacional	Ao	Trimestre
Eficácia da manutenção	+	veículos.dia /Nº. atrasos	20	Ano
Utilização de MDO	+	Produtividade de MDO		Trimestre
Custo indireto de manutenção	-	Custo/km (\$/km)	0,01	Ano
Frequência de manutenção	-	Total de O.S./veículo.dia	10	Ano
Dependabilidade	+	Dependabilidade	D	Semestre
Tempos de manutenção	-	M	2000km	Mês
Considerações humanas	+	Turn over	0,5%	Ano
Supporte logístico	+	Estoque médio/veículos	R\$ 2000,00	Ano
Fatores econômicos	-	Tipos de custos a avaliar	20	Semestre

Como complemento, as especificações devem conter também:

- ✓ uma descrição do que o sistema deve realizar em termos globais, ou seja, descrever suas funções primárias e suas funções secundárias, estas acompanhadas das justificativas;

ⁱ (VNRm) – viagens não realizadas devido à manutenção ; (VP) – total de viagens programadas

- ✓ descrição do objetivo principal da manutenção, no caso de haver um que sirva de parâmetro para todas as outras, como: satisfazer nosso passageiro, ser eficiente, manutenção, vantagem competitividade, dentre outros.

Outras observações também devem ser destacadas, como:

- ✓ as metas que relacionam valores devem ser atualizadas para o momento presente, corrigindo os efeitos da inflação;
- ✓ alguns índices de avaliação podem ser desdobrados para melhor rastreamento das causas de variação no cumprimento das metas. Um exemplo é o desmembramento do custo direto de manutenção em custos de: sistema motriz, sistema de freios, pneus, carroceria, sistema elétrico, sistema de eixo dianteiro, sistema de eixo traseiro, óleo diesel, MDO,...).

5.2 Comentários finais

Na atividade de manutenção, por trás da necessidade básica de reparar e manter os veículos e seus níveis de desempenho operacional, econômico, técnico, legal e/ou de segurança, reside uma mescla de necessidades maiores, dominantes, originadas de necessidades estratégicas organizacionais. Assim, os objetivos e metas de manutenção, devem apoiar-se sobre estas prioridades gerenciais estratégicas da empresa, ou seja nos fatores que definem a divisão de mercado, o desejo de resultado econômico (retorno de investimento), de produtividade, de qualidade, de fluxo de entrega, de insumos ambientais e de segurança.

Nesta fase da estruturação do sistema de manutenção para uma frota, é realizada a definição destes objetivos e metas para integrar os esforços da manutenção aos anseios estratégicos organizacionais. Ou seja parametriza o que deve ser obtido com a manutenção da frota.

Os objetivos e metas globais da manutenção incluem estabelecer estratégias e políticas que sejam consistentes com as estratégias da operação, comunicando efetivamente com os outros setores da empresa, justificando as tarefas e métodos de manutenção, o planejamento e controle da atividade, o acúmulo de conhecimento sobre manutenção e a estrutura logística associada em prol de resultados operacionais satisfatórios.

Para tal, similarmente aos propósitos do projeto de produtos, no projeto informacional, parte-se da abstração das necessidades que motivam a estruturação do sistema de manutenção, ganhando em objetividade e definição até estabelecer as especificações. A Figura 5-1 resume o processo de transformação das informações de necessidades e desejos por manutenção.

6 PROJETO CONCEITUAL

6.1 Objetivo do projeto conceitual

A fase conceitual objetiva a formulação de concepções de solução. Por definição, concepção é o ato de conceber idéias sobre algo (BUENO, 1962). Porém, devido à falta de quantidade e profundidade de informações neste ponto das análises do sistema de manutenção, estas idéias, geralmente, não são muito objetivas. Desse modo as soluções compiladas são, ainda, genéricas.

Portanto, na análise e estruturação de sistemas de manutenção para uma frota, esta fase objetiva conceber idéias sobre a melhor estrutura, genérica, para a manutenção da frota, que esteja de acordo com os anseios definidos nas especificações (projeto informacional). Uma **concepção de manutenção** que, ajustada às necessidades da organização e dos usuários, resulte num sistema de manutenção que determine algum grau de competitividade à organização.

Como no projeto de um produto, a concepção de manutenção visa estabelecer, sobretudo, uma idéia de como poderá ser a manutenção dos veículos, de forma que sirva de (BLANCHARD & FABRICKY, 1990):

- **Base para estabelecimento das metas e objetivos definidos nas especificações de manutenção** como disponibilidade requerida, custos mensais e outros, auxiliando o estabelecimento dos critérios do sistema de manutenção relacionados à melhor política de manutenção para a frota.
- **Base para estabelecimento do suporte logístico total.** Auxilia a identificação de tarefas de manutenção, freqüências e tempos, quantidade e qualificação de pessoal de manutenção, necessidade de treinamento, testes e equipamentos de suporte, suporte de suprimento, instalação e informações.

Portanto, esta fase conclui por uma concepção de manutenção que é, ainda, uma compreensão genérica das estruturas humana, lógica, física e logística da organização necessária

para satisfação das especificações do projeto, mas capaz de consubstanciar o direcionamento das análises da fase seguinte do projeto – a preliminar.

6.2 Elaboração da concepção de manutenção

A concepção de manutenção desenvolve-se a partir das especificações. Aspectos operacionais como local de utilização (planície, montanha, serra, trópico, zona temperada, terra, água, ar...), distribuição da frota, característica e vida operacional planejada dos veículos, e aspectos estratégicos como preocupação com o meio ambiente, recursos financeiros disponíveis e capacidade de investimento formam as particularidades de cada organização. Estas devem estar consideradas na concepção de manutenção.

Para a elaboração da alternativa de manutenção mais vantajosa, primeiro realiza-se uma análise operacional da frota, onde destacam-se os fluxos e funções necessários à operação e à manutenção. Em seguida, realizam-se análises das possibilidade de alternativas para os fluxos e funções identificados. A fase conclui pela escolha de alternativas que se ajustem melhor aos objetivos e metas declarados nas especificações – as concepções de manutenção (Figura 6-1).

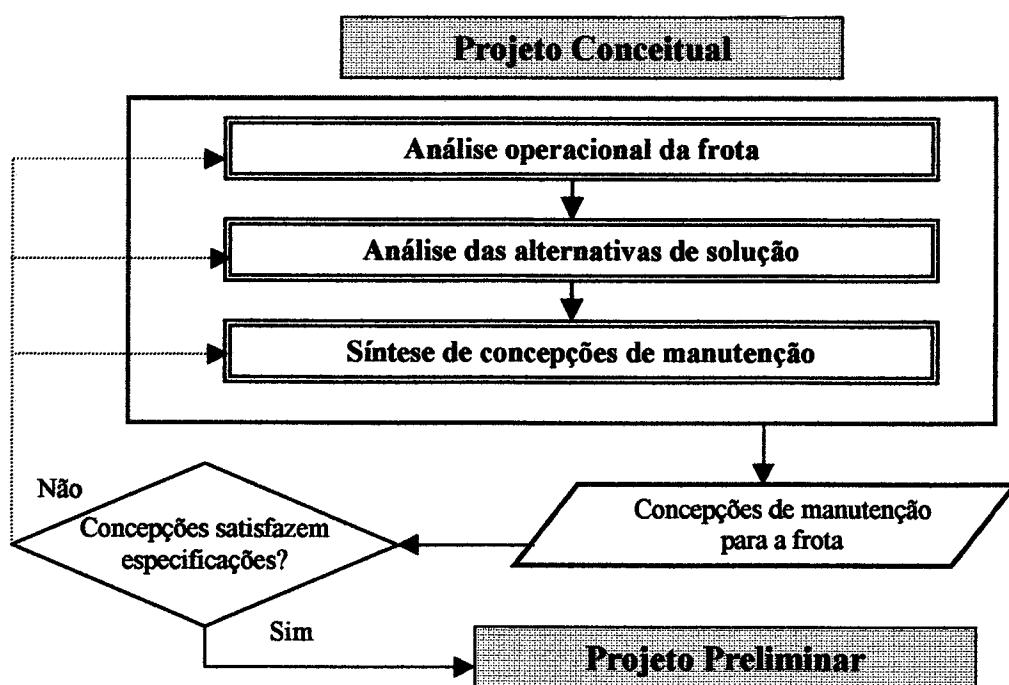


Figura 6-1: Seqüência de etapas da fase conceitual (adaptado da Figura 4.4)

Evidentemente, na seleção das alternativas de concepção de manutenção para a frota, a utilização da experiência da equipe de analistas como também a utilização de bancos de dados de sistemas de manutenção similares deve ser bem valorizada, pois agilizam o processo de análise. Contudo, cuidado deve ser tomado em relação a soluções evidentes demais que tolham a

característica criativa do processo e obscureçam alguma das particularidades importantes da organização.

6.3 Análise operacional da frota

Para identificar as funções e fluxos funcionais necessários à manutenção da frota deve-se, primeiramente, compreender como ela opera (BLANCHARD *et al.* 1995; KELLY, 1989). Portanto, as funções e fluxos de manutenção dos veículos são derivadas das características operacionais da frota.

Contudo, as características de mantinabilidade dos veículos também afetam o modo operacional da frota, na medida que determinam como os veículos deverão ser mantidos para que mantenham um certo nível de eficácia operacional. Ou seja, deve ser observado que as características de mantinabilidade dos veículos influenciam no modo operacional da frota.

A análise operacional da frota é, propriamente, uma análise funcional visando identificar as funções e fluxos impostos a sua operação. É realizada em complemento à caracterização dos requisitos operacionais da frota realizado no projeto informacional (Figura 5-2). Como consequência destas e em conjunto com as características de mantinabilidade dos veículos, as funções necessárias à sua manutenção se evidenciam, no sentido de corrigir ou prevenir desvios na eficiência operacional. Assim a análise operacional da frota objetiva identificar as funções e fluxos necessários à manutenção associados ao modo e aos requisitos impostos à operação da frota.

Por definição, função é uma ação específica ou discreta requerida para alcançar um dado objetivo, sendo que a ação pode ser executada por um equipamento, uma pessoa, uma instalação, um software ou uma combinação destes (BLANCHARD *et al.* 1995). Por fluxos funcionais de manutenção entende-se, nesta dissertação, os fluxos de veículos, serviços, pessoas, materiais e informações da manutenção.

Deve-se observar entretanto, que não somente das funções diretas relacionadas a manter ou reparar a operacionalidade dos veículos compõem as obrigações que devem estar previstas para um departamento de manutenção de uma frota. A depender das características gerenciais, algumas funções auxiliares à operação dos veículos podem ser agregadas ao departamento de manutenção, e assim, este deve estar estruturado para supri-las da melhor forma. Alguns exemplos destas funções auxiliares são: gerenciamento do abastecimento do veículo, administração de materiais, tratamento dos resíduos originados da manutenção (sucatas e esgoto), pequenos projetos, manutenções prediais, segurança patrimonial, dentre outras. Assim,

as funções que o sistema de manutenção devem gerir podem tornar-se bem diversificadas embora, obviamente, mantendo sempre como função primária total, a função de manter e reparar os veículos.

Através da identificação das funções e fluxos necessários à manutenção, a composição da estrutura geral do sistema de manutenção fica exposta. Contudo, a questão de como estas funções serão estruturadas dependerá das diretrizes estratégicas da organização (seção 2.7.1). Esta análise começa com a análise das alternativas de solução para cada fluxo e função identificada (etapa seguinte) e prolonga-se até o final do projeto. O objetivo é buscar o dimensionamento da estrutura que viabilize a atuação do sistema de manutenção dentro das especificações.

Um exemplo de alternativa em relação a uma função identificada para a manutenção de frota, é quanto à necessidade de instalação para recuperação e montagem de motores. Caso a empresa adote uma política de renovação prematura da frota (antes de completar 200.000 km, por exemplo), não há necessidades de prever instalações de recuperação e montagem mais especializadas e, consequentemente, mais caras como é o caso da função de recuperação de motores. Assim, a partir das diretrizes estratégicas da empresa conclui-se pela vantagem em desfazer-se dos veículos antes deste período. Desta forma, a função de manutenção, necessária de acordo com a configuração de projeto do veículo, passa a não ser necessária estruturar, devido à política da empresa frotista. Ou seja observa-se que mesmo havendo a identificação de uma função necessária à manutenção, pode-se, contraditoriamente, se chegar à conclusão da não vantagem em estruturá-la.

6.3.1 Diagramas de fluxos funcionais do sistema de operação da frota

Como mencionado na seção 4.4.1, para organizar e registrar uma análise funcional, diagramas de fluxo funcionais (ou fluxogramas funcionais) são gerados. Assim, estes diagramas retratam os estágios das funções e dos fluxos operacionais dos veículos, derivando, a partir destes, as funções relativas à manutenção.

A Figura 6-2 ilustra a distribuição da operação de uma frota de ônibus coletivo urbano. Esta pode ser feita por analogia a uma fábrica com diversas linhas de produção, onde:

- ✓ cada linha de itinerário correspondendo a uma linha de produção;
- ✓ cada terminal de onde derivem mais de uma linha corresponde a pontos de ramificação de onde derivam diversas linhas de produção.

Na Figura 6-2 destacam-se como informações importantes: a distribuição dos veículos durante um ciclo de operação (no caso o ciclo refere-se a um dia); a maior concentração de veículos nos terminal 1 e 7, o que pode gerar uma maior atenção dos departamentos de operação e manutenção para estes terminais; os tempos médios de intervalo entre viagens, onde os veículos estão disponíveis para pequenos reparos e os tempos médios de viagem; a quantidade de veículos requeridos para operação total e por linha; e a identificação dos terminais que podem informar a distância de cada terminal à garagem.

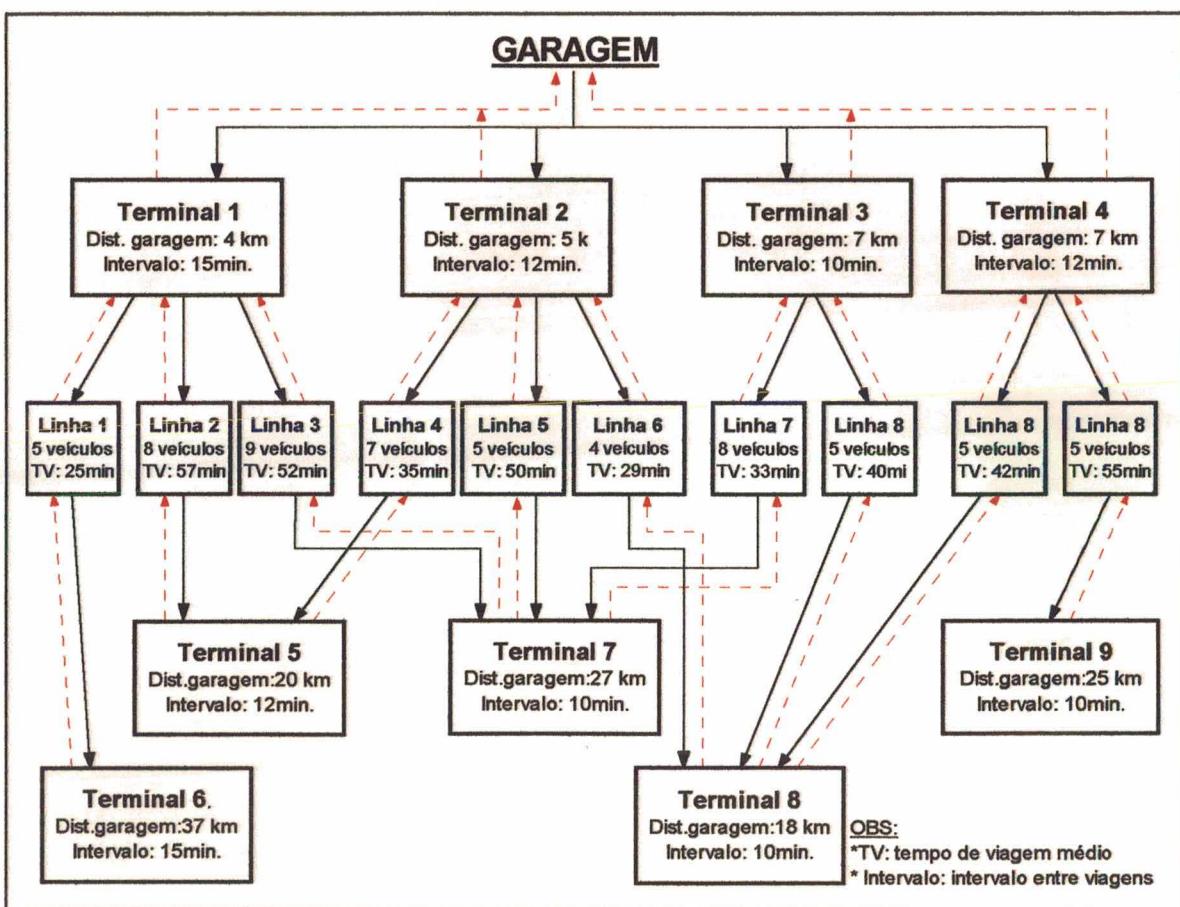


Figura 6-2: Fluxograma da distribuição operacional de uma frota de ônibus urbano de passageiros

A Figura 6-3 ilustra o ciclo de operação de um veículo de uma frota de ônibus coletivo urbano, de acordo com a padronização dos diagramas de fluxos funcionais proposto por BLANCHARD *et al.* (1995). Um ciclo operacional no caso de frotas de ônibus urbano equivale a um dia de operação. Verifica-se que o veículo alterna três estados: em operação, no estacionamento, em manutenção. No estacionamento significa que o veículo está disponível para operação.

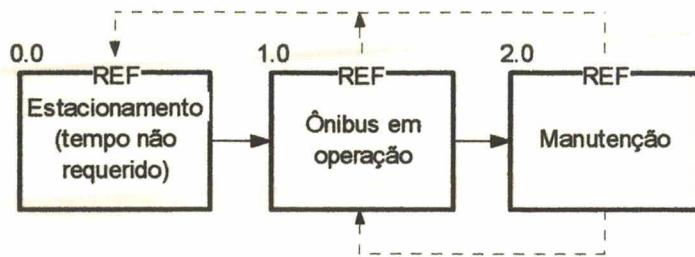


Figura 6-3: Diagrama de fluxos de operação dos veículos de uma frota de ônibus urbano - nível 1 (adaptado da Figura 4.6)

A Figura 6-4 ilustra o desdobramento da operação (REF 1.0). No início, o veículo pode encontrar-se em dois estados: de prontidão ou ativo. O estado de prontidão pode localizar-se na garagem ou no terminal “X”. Em atividade, no terminal “X”, ele inicia a primeira viagem até o terminal “Y”, cumprindo a viagem, retorna ao terminal “X” e neste *loop*, prossegue até cumprir sua programação, quando retorna à garagem. A figura indica também os momentos em que a manutenção deve atuar. Sempre quando qualquer falha aparecer durante as viagens ou após cumprir a programação do dia e retornar à garagem.

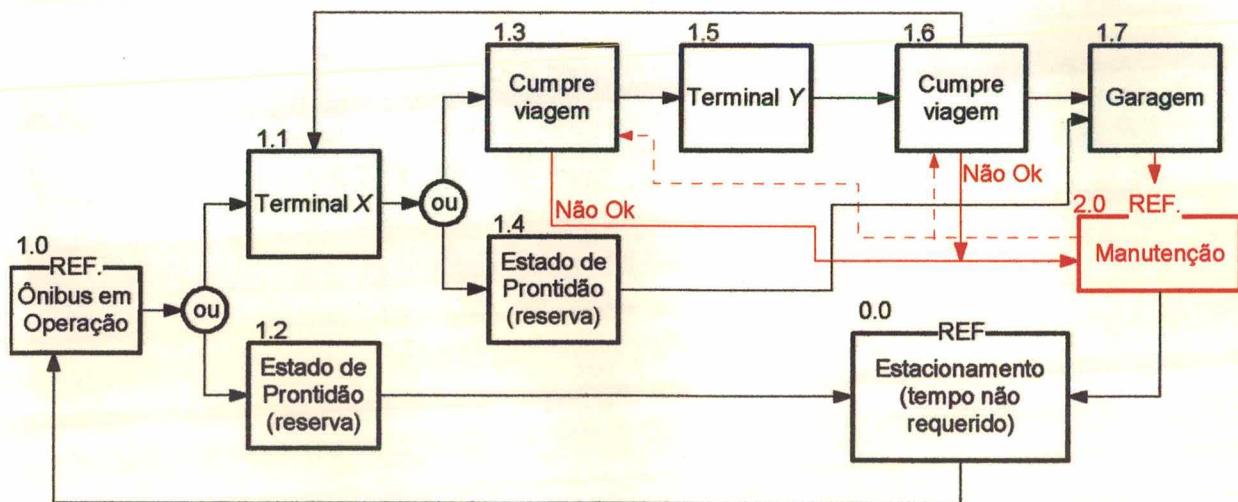


Figura 6-4: Diagrama de fluxos da operação dos veículos de uma frota de ônibus urbano – nível 2 (adaptado da Figura 4.6)

Como mencionado anteriormente, as funções de manutenção derivam das necessidades operacionais e da mantinabilidade dos veículos. Assim, a partir da função manutenção (REF 2.0) da Figura 6-4, deriva-se o diagrama de fluxo do sistema de manutenção (Figura 6-5).

Em específico, a Figura 6-5 ilustra as funções e fluxos do sistema de manutenção (REF. 2.0) de uma frota inglesa (KELLY, 1989). A frota em questão opera através de 20 garagens, em diferentes partes da cidade onde cada uma dá suporte de operação e manutenção em sua área. As garagens também são divididas em 03 grupos onde, em cada grupo, uma garagem central realiza as atividades de reforma e principais recondicionamentos. Pela análise operacional desta frota, foram identificadas como funções necessárias à manutenção: serviços (abastecimento, lavagem, limpeza, calibrações, inspeções), trabalhos de reparos e reforma, socorro mecânico, almoxarifado, recondicionamentos e compras (KELLY, 1989). Observa-se na figura que após a execução de socorro mecânico (2.4) o veículo retorna ao estado de operação (REF. 1.0). Observa-se também que após o veículo sofrer reparos, serviços ou reforma, fica disponível no estacionamento (REF. 0.0).

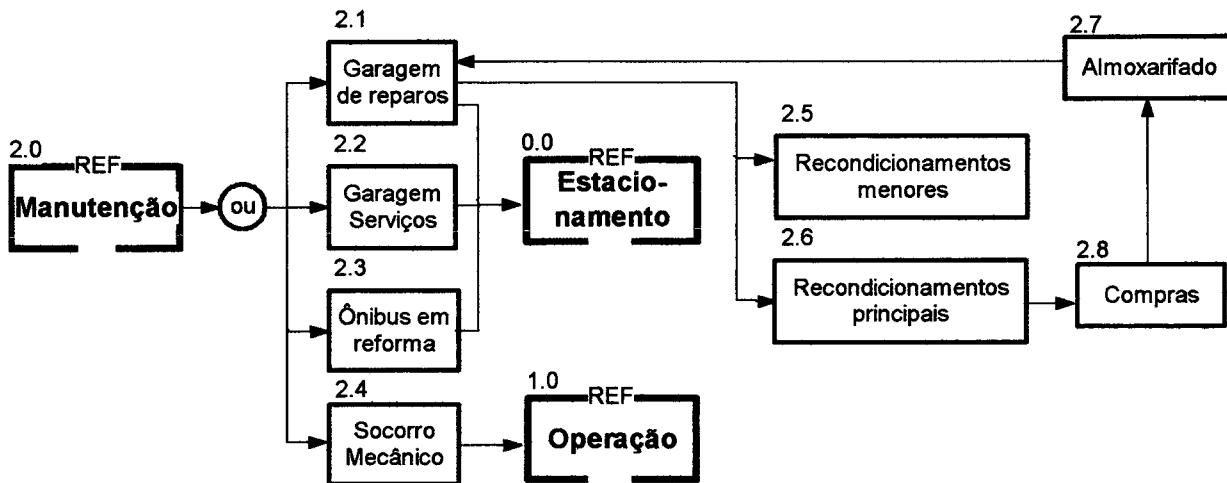


Figura 6-5: Sistema de manutenção de frota de ônibus urbano – nível 3 (adaptado da Figura 4.6 e Kelly, 1989)

6.4 Análise das alternativas de solução

Identificadas as funções que devem ser geridas pela manutenção da frota o próximo passo é analisar as alternativas para sua estruturação (Figura 6-1).

Na Figura 6-5 estão identificadas as funções necessárias ao sistema de manutenção de uma frota. Assim, a concepção de manutenção para este sistema deve ser formulada com base na solução de uma estrutura de manutenção global que otimize a execução destas funções, compondo assim soluções gerais para o sistema de manutenção.

O processo de decisão das alternativas deve recair tanto sobre os objetivos declarados pela organização em relação à manutenção e ao desempenho dos equipamentos como também

sobre as características situacionais da empresa (seção 2.7.1). Estas devem, por sua vez, estar bem definidas nas especificações – Capítulo 5.

6.4.1 Alternativas de solução para um sistema de manutenção

Porém, quais são as alternativas possíveis na formulação de concepções de manutenção? Para responder tal questão, deve-se estar claro que uma concepção de manutenção é uma solução genérica para o projeto do sistema de manutenção em foco. Assim, não deve se arcar em análises específicas como o plano de ação em cada componente do equipamento. Deve concentrar-se em compor uma estrutura que dimensione, delegue e direcione, em termos gerais, as políticas de reparo necessárias pela execução da manutenção, ajustadas à capacidade de investimento, da gestão dos recursos de manutenção e dos objetivos da empresa.

No projeto dos sistemas de engenharia, para composição da concepção de manutenção, BLANCHARD *et al.* (1995) sugerem seis variáveis a serem analisadas: níveis de manutenção, políticas de reparo, suporte logístico associado à manutenção, fatores de eficácia, fatores ambientais e delegação de responsabilidades para cada nível de manutenção. Estas variáveis estão, portanto, relacionadas à configuração de projeto dos sistemas de engenharia que serão mantidos.

Efetivamente, a composição de uma concepção de manutenção de equipamentos já em fase de uso também passa pela análise destas variáveis pois, ambos os enfoques objetivam vislumbrar como a configuração do projeto de um conjunto de equipamentos influencia a forma dele ser mantido. Contudo, as seguintes considerações devem ser feitas entre o enfoque da concepção de manutenção de um sistema de engenharia ainda sob projeto proposto por BLANCHARD *et al.* (1995) e o enfoque da concepção de manutenção de um sistema de engenharia já em operação proposta nesta dissertação:

- a) A metodologia de projeto proposta por BLANCHARD *et al.* (1995) diverge quanto à seqüência de etapas em relação à metodologia de projeto adotada como base nesta dissertação – NeDIP. A metodologia de projeto utilizada por BLANCHARD *et al.* (1995) propõe a elaboração das especificações como uma consequência da definição da concepção de projeto, incluindo nesta a concepção de manutenção. Na metodologia aplicada nesta dissertação a concepção é uma consequência das especificações. Assim, como resultado desta inversão, a seqüência de análise também sofre alterações: quando da definição das especificações (capítulo 05) a análise dos fatores de eficácia, ambientais e de suporte

logístico já foram considerados influenciando a condução das tarefas da fase conceitual do projeto.

- b) Obviamente as informações acerca de um equipamento já em operação são muito mais claras e objetivas que as informações de equipamento ainda em fase conceitual de projeto. Assim apesar das análises serem efetivamente as mesmas, um equipamento já em operação já possui a configuração de projeto estabelecida. Mais ainda, já possui características operacionais bem definidas. Isto consequentemente reduz o grau de liberdade das variantes de operações limitando o campo de alternativas para a concepção de manutenção do sistema de engenharia acabado. É o caso de um equipamento projetado para ser descartado quando da falha. Aqui haverá uma limitação de opções possíveis para a manutenção do mesmo, restando, tão somente, cumprir o que o projeto determina – remoção e troca do item.

Portanto, com a finalidade de elaborar concepções de manutenção no projeto de sistemas de manutenção, admitem-se serem alternativas de solução: níveis de manutenção, políticas de reparo e a delegação de responsabilidades para cada nível de manutenção. Os fatores de eficácia, os fatores ambientais e o suporte logístico associado já foram identificados no projeto informacional.

Outras alternativas para sistemas de manutenção estão citadas por RIIS *et al.* (1997) e ABRAMAN (1997). Essas relacionam-se não à configuração do projeto do sistema de engenharia a ser mantido, mas aos objetivos declarados e à característica situacional da empresa. São: a organização da estrutura de manutenção; a seleção das categorias básicas de manutenção; o grau de especialização da mão de obra; o tipo de sistema de gerenciamento; e o sistema de aquisição e tratamento dos dados.

Assim, podem ser consideradas variáveis relacionadas a concepções de manutenção de sistemas de manutenção de frota os fatores ilustrados na Figura 6-6. Observa-se que a escolha das alternativas recai sobre os requisitos operacionais da frota.

A seguir são apresentados definições e comentários sobre cada uma das variantes de manutenção acima.

6.4.1.1 Níveis de manutenção

Segundo BLANCHARD *et al.* (1995), níveis de manutenção são as divisões de tarefas para cada função identificada para a manutenção. Podem variar de um caso particular para outro sendo que os critérios que influenciam são: complexidade das tarefas, requisitos de qualificação

de pessoal, freqüência de ocorrência, necessidade de instalações especiais, fatores políticos, critérios econômicos e ambientais.



Figura 6-6: Variáveis de concepção de manutenção de sistemas de manutenção (adaptado de ABRAMAN, 1997; BLANCHARD *et al.*, 1995; RIIS *et al.*, 1997)

Não descartando a possibilidade de existirem outros níveis, BLANCHARD *et al.* (1995) exemplifica como níveis necessários a manutenção de um sistema de engenharia:

- ✓ **Manutenção organizacional:** realizada nos elementos primários dos equipamentos, no local de operação. Geralmente é realizada por pessoal envolvido com a operação e que tem pouco tempo disponível para a manutenção e troca de equipamentos. O pessoal designado para tal nível geralmente não repara o componente removido mas o encaminha para o nível intermediário. É o que comumente se denomina por manutenção de campo.
- ✓ **Manutenção intermediária:** realizado por instalação e organização especializada móvel, fixa ou semi-móvel. Nesta, é realizado o reparo do item removido no nível organizacional através da remoção e troca da maioria dos módulos, montagens ou peças. Pode ser programada uma manutenção preventiva. Requer uma maior qualificação do pessoal e melhores equipamentos, pois é responsável por uma manutenção mais detalhada. Objetiva prover a manutenção organizacional para facilitar o retorno do equipamento à condição de operação num curto tempo. As instalações fixas são geralmente utilizadas para dar suporte ao nível organizacional. Já as unidades móveis e semi-móveis geralmente localizam-se próximo aos locais de operação e podem ser utilizadas para atender, em caráter emergencial, mais de um local de operação.

- ✓ Manutenção autorizada / fabricante: O mais alto nível de manutenção. Fisicamente pode ser uma instalação de reparo especializada dando suporte a um grande número de equipamentos ou pode constituir-se das próprias instalações do fabricante. São fixas pois a mobilidade aqui não é problema. Requer equipamentos caros e complexos além de grande quantidade de sobressalentes. Um controle ambiental pode estar prontamente disponível, se requerido. Inclui serviços de reforma completa, reconstrução, calibração assim como a execução de outras ações mais complexas e de responsabilidade. As manutenções autorizadas, geralmente, dão suporte para os frotistas de uma grande área geográfica. O alto potencial de volume de serviços permite o uso de linhas de montagens o que habilita o uso de trabalhadores relativamente não qualificados para uma grande parte dos trabalhos. A alta qualificação concentra-se em áreas selecionadas onde exige-se alta precisão.

Assim, dentro do exemplo da Figura 6-5, a garagem de reparos dos veículos deve ser estruturada com os níveis de manutenção necessários para dar suporte à operação. Ou seja, a depender dos requisitos operacionais dos veículos e das diretrizes estratégicas organizacionais pode ser necessário estruturar manutenções de campo (nível organizacional), manutenções preventivas e seções especialista como seções de recuperação de motores, caixas de marcha, diferencial e bomba injetora (nível intermediário). Verifica-se também que para cada três garagens, uma possui estrutura para reforma dos veículos. Tal estrutura, que pode ser classificada como de nível autorizada, justifica-se se houver uma grande quantidade de veículos dispostos na frota e sobre sua política de renovação.

6.4.1.2 Políticas básicas de reparo

Segundo BLANCHARD *et al.* (1995), para cada nível de manutenção existem alternativas de política de reparo: desde o não reparo dos itens dos veículos até o completo reparo. A seleção da melhor política é muito dependente dos requisitos operacionais. Exemplificando, requisitos de alta disponibilidade operacional aumentam a preocupação com os veículos fora de operação. Assim, a opção de realização de reparos rápidos a nível organizacional favorece tal requisito. A nível intermediário, como é um nível para dar suporte à manutenção organizacional, necessário aos objetivos operacionais, alguns testes podem ser previstos para localização de falhas nos módulos ou montagens dos itens substituídos. A escolha das alternativas recai sobre a quantidade de serviços previsto a serem executados que, por sua vez, são função da quantidade de veículos disponíveis e da política de renovação da frota.

Outra forma de determinar uma política de reparo é limitar valores de reparos para cada nível de manutenção. Assim consertos acima dos limites estipulados são substituídos pela simples remoção e troca dos componentes avariados ou até mesmo sucata de todo o veículo (DOLCE, 1998). Contudo, tal abordagem de política de reparo deve estar embasada em dados históricos confiáveis.

Assim, a política de reparo estabelece os procedimentos gerais em relação aos componentes do veículo em relação a qual deve ser reparável e qual não, no respectivo nível de manutenção. Três alternativas se aplicam:

- ✓ *Itens não reparáveis*: o item é descartado quando a falha ocorre. O item é trocado como um módulo de baixo custo de troca e reposição, em geral. Esta política de reparo exige mínimos requisitos de suporte e as unidades sobressalentes, testes e equipamentos de suporte que se apliquem, precisam estar localizadas próxima ao local de reparo. Admite baixa qualificação de pessoal capaz para a simples remoção e troca já que os procedimentos de manutenção são, consideravelmente, simples. O objetivo desta política de reparo é compensar o custo de sobressalentes e descarte de unidade com os requisitos de suporte e reparo dos itens.
- ✓ *Equipamentos parcialmente reparáveis*: Um sistema parcialmente reparável pode assumir várias formas. Numa alternativa, a unidade pode ser removida e trocada quando a falha ocorre. A partir de então, a unidade é reparada através da remoção e troca de itens. Os módulos, por sua vez, são descartados quando em falha.
- ✓ *Sistemas completamente reparáveis*: requer maior necessidade de suporte logístico em termo de teste e equipamento de suporte, peças e sobressalentes, pessoal, treinamento, análise de dados técnicos e instalações.

6.4.1.3 Responsabilidade pela manutenção

Segundo BLANCHARD *et al.* (1995), na responsabilidade pela manutenção é definido quem deve ser o responsável pela realização das tarefas das funções identificadas na análise operacional. Como alternativas têm-se, por exemplo: responsabilidade do frotista (pessoal próprio, mão de obra terceirizada), do fabricante ou fornecedor do veículo (oficinas autorizadas ou instalações do fabricante), de um terceiro (oficinas especializadas) ou uma combinação destes.

A responsabilidade pela manutenção pode variar não somente de componente para componente mas também como um progresso do tempo de operação do veículo e da garantia do fabricante.

6.4.1.4 Categoria básica de manutenção

Segundo RIIS *et al.* (1997), categoria de manutenção refere-se ao tipo básico de manutenção realizada. Estas estão relacionadas às características da empresa e às tarefas de manutenção. As categorias de manutenção são:

- ✓ *Corretiva*: aplicado em situações onde haja tecnologia simples, redundâncias, grandes estoques de peças sobressalentes, baixa complexidade de produtos, produtos padronizados, de moderada a grande variedade de produtos e cujos objetivos declarados sejam redução do trabalho de manutenção, aumento da disponibilidade e capacidade de utilização constante. Refere-se às tarefas de inspeção visual, isolamento de falha, reparos de emergência, substituições, ajustes, limpeza;
- ✓ *Preventiva*: aplicado em situações onde haja tecnologia semi-automática, algumas redundâncias, níveis de estoque moderados, produtos especializados e cujos objetivos declarados sejam alta disponibilidade, alto nível de serviço, alta capacidade de utilização, aumento de produção e melhora no tempo de operação dos equipamentos. Refere-se às tarefas de inspeção periódica, reforma, substituições, calibrações, lubrificação;
- ✓ *Preditiva*: aplicado em situações onde haja tecnologia automatizada, alta mantinabilidade, alta redundância, grandes estoques de componentes e cujos objetivos declarados sejam alto tempo de operação dos equipamentos, baixa probabilidade de manutenção não programada, alta segurança e qualidade, nível de serviço muito alto. Refere-se às tarefas de monitoramento de vibração, monitoramento de parâmetro de processos, termografia, tribologia;
- ✓ *Preditiva com controladores*: aplicado em situações onde haja tecnologia avançada, alto número de redundâncias, mantinabilidade muito alta, processo contínuo, sistemas complexos, grande investimento de capital e cujos objetivos declarados sejam disponibilidade do equipamento muito alta, confiabilidade do processo muito alta, altos custos de manutenção e redução no número de falhas. Refere-se ao uso de controladores lógicos programáveis (PLCs) para monitorar parâmetros de processos próximo ao tempo real;
- ✓ *Inteligente*: uma categoria de manutenção essencialmente teórica onde ainda não há casos registrados de implantação até o presente tempo. Aplica-se a casos cujos objetivos declarados sejam confiabilidade muito alta, disponibilidade muito alta, qualidade e segurança muito alta, custo de manutenção muito alta e redução da dependência dos fabricantes. Uso de sistemas

especialistas e redes neurais com PLCs (medições em tempo real), detecção e correção, equipamentos de teste embutidos e melhoria da precisão.

6.4.1.5 Grau de especialização da mão de obra

Segundo RIIS *et al.* (1997), a ABRAMAN (1998) e PRADHAN (1996) o grau de especialização da mão de obra pode variar entre pessoal com conhecimentos gerais, pessoal especialista ou um misto. Em manutenção de frota, as especializações são, em termos gerais assim distribuídas (Tabela 6-1):

Tabela 6-1: Especialidade e qualificação envolvidas numa manutenção de frota

Especia-lidade	Qualificação	Descrição da capacitação
Mecânica	Mecânica geral	diagnóstico de falhas nos sistemas mecânicos veiculares e troca de peças. Habilidade de realizar simples trocas dos componentes complexos, não capacitando ao diagnóstico e reparo. Por componentes entende-se ao conjunto de peças que compõem um conjunto funcional e que são removidos integralmente, como caixa de marcha e diferencial, motor, radiador, caixa de direção, bomba hidráulica, ar condicionado, compressor e feixes de molas, radiadores. São capacitados à leitura de instrumentos de medição e ajustes de regulagens;
	Mecânico de componentes I	capacitado ao diagnóstico e reparo dos componentes mecânicos dos veículo que não exijam grande estrutura logística ou que envolvam grande responsabilidade na execução;
	Mecânico de componentes II	capacitados a reparos de componentes específicos que exijam equipamentos de teste ou reparo caros e de considerável responsabilidade como: reparo de bombas hidráulicas e caixas de direção, retificações de motores e cabeçotes e usinagem de peças, bombas injetoras, carburadores, injeção eletrônica, bicos injetores e outros;
	Torneiro Mecânico	capacidade de usinagem de peças em tornos mecânicos;
Borra-charia	Borracheiro	reparo de câmaras, montagem e desmontagem de pneus, calibração, diagnóstico de falha em pneus;
	Alinhador	Capacitado ao alinhamento e balanceamento dos veículos;
Eletricidad e	Eletricista de campo	diagnóstico e reparo de falhas nos circuito elétrico dos veículos, troca de componentes elétricos. Capacidade apenas de substituição dos componentes;
	Eletricista de componentes	diagnóstico e reparo de componentes elétricos (alteradores, arranques, bobinas, relés, motores de limpador de pára-brisas e outros);
Acabamento estético e conforto	Funilaria	Responsável pela troca e reparo de chapas e lataria do veículo e soldas sem grandes responsabilidades;
	Soldador	Capacitados a executar soldas de maior responsabilidade como as de chassis;
	Pintor	Pintura da carroceria interna e externa;
	Laminador	Responsável pela confecção e reparo de peças laminadas;
	Pintor letrista	pintor de letras;

6.4.1.6 Organização da estrutura

Segundo RIIS *et al.* (1997) os tipos de organização da estrutura de manutenção são:

- ✓ *Informal*, onde há falta de estrutura de manutenção e as tarefas são realizadas pelos funcionários da produção sob direção do gerente de produção.
- ✓ *Centralizada*, que envolve departamentos de manutenção ou grupos relativamente grandes que dão suporte à função principal da produção. Este tipo de organização, tipicamente, tem alta taxa de utilização de recursos, baixo tempo de resposta e grande e variado tipo de trabalho.
- ✓ *Descentralizada*, onde os grupos de manutenção são estrategicamente distribuídos nas instalações da produção. Este tipo de organização pode resultar em baixa taxa de utilização de recursos, respostas mais rápidas devido à proximidade dos técnicos aos equipamentos da produção o que também tende ao conceito de “meu equipamento” por parte dos grupos de manutenção.
- ✓ *Híbrida*, que tem sido aplicada com sucesso em diversas instalações produtivas onde é possível combinar áreas de manutenção centralizadas para reparos de grandes equipamentos e gerenciamento de estoques de sobressalentes críticos e pequenos grupos descentralizados localizados em áreas estratégicas para rápidas respostas aos problemas da produção.
- ✓ *Hierárquica*, que possui uma estrutura rígida *top-down* com níveis estratégicos, táticos e operacionais de processo de decisão e reparo das instalações.
- ✓ *Matriz*, que promove um cruzamento funcional do suporte e especialistas de manutenção e pode ser organizado ao redor de produtos, processos, mercados e consumidores.

6.4.1.7 Sistema de gerenciamento

Forma de gestão da estrutura de manutenção (seção 6.4.1.6): manual ou computadorizado.

6.4.1.8 Sistema de aquisição e tratamento de dados

Manual, automatizado (baseado em sensores) ou misto.

6.5 Síntese de concepções de manutenção

A última etapa para definição das concepções de manutenção (Figura 6-1) é a síntese das análises sobre as alternativas citadas na etapa anterior. Ou seja, o analista sintetiza soluções

gerais para o sistema de manutenção através da combinação das alternativas apresentadas na etapa anterior.

Como resultado desta síntese, várias configurações serão expostas como possibilidades de solução para o sistema de manutenção da frota. A tarefa então é destacar a melhor, ou as melhores soluções (no caso de não haver grande diferencial da melhor solução em relação a outras soluções).

Para organizar o processo de composição das alternativas, o processo de projeto de produto se arca de uma ferramenta que organiza matricialmente os princípios de solução, a matriz morfológica (BACK & FORCELLINI, 1997; PAHL & BEITZ, 1996). A adaptação desta ferramenta ao processo de planejamento de sistemas de manutenção é viável, reduzindo-se assim a possibilidade de não consideração de alguma alternativa de solução para o sistema de manutenção.

Realizada a composição das possíveis soluções, a próxima tarefa é destacar as melhores, que se definirão como as alternativas de concepção de manutenção para o projeto do sistema de manutenção sob estudo e que serão aprofundadas na fase seguinte, a preliminar.

Como meio de decisão para selecionar quais alternativas serão mais ajustadas às pretensões da empresa, análises comparativas devem ser realizadas sob critérios como vida programada dos veículos, custo de manutenção da frota, comprometimento à segurança e ao meio ambiente, desempenho operacional, disponibilidade requerida e outros que deverão estar definidos nas especificações do sistema de manutenção (projeto informacional).

Como ferramenta de auxílio à análise, um diagrama de decisão se encaixa bem. Neste tipo de diagrama, perguntas são formuladas e, a depender de respostas negativas ou positivas, o questionário direciona-se em direção à aprovação ou à rejeição (Figura 6-7). O questionamento deve variar para cada projeto de manutenção e deve, fundamentalmente, refletir as especificações determinadas na fase informacional, como também o “rank” de prioridades da empresa em relação à manutenção. Assim, o diagrama objetiva direcionar e normalizar os questionamentos, eliminando as concepções de manutenção que não satisfazem as especificações.

Contudo, uma parcela do conjunto de concepções de manutenção permanecerá e deverão ser confrontadas para seleção da melhor, ou melhores, sempre respeitando o ordenamento de prioridades estabelecidos nas especificações.

Evidentemente, ter a disposição dados históricos de manutenção da empresa ou de empresas similares é apropriado. A falta deles contudo não impossibilita a realização de análises

mais superficiais podendo, futuramente, quando os dados estiverem disponíveis, serem realizadas alterações paulatinas.

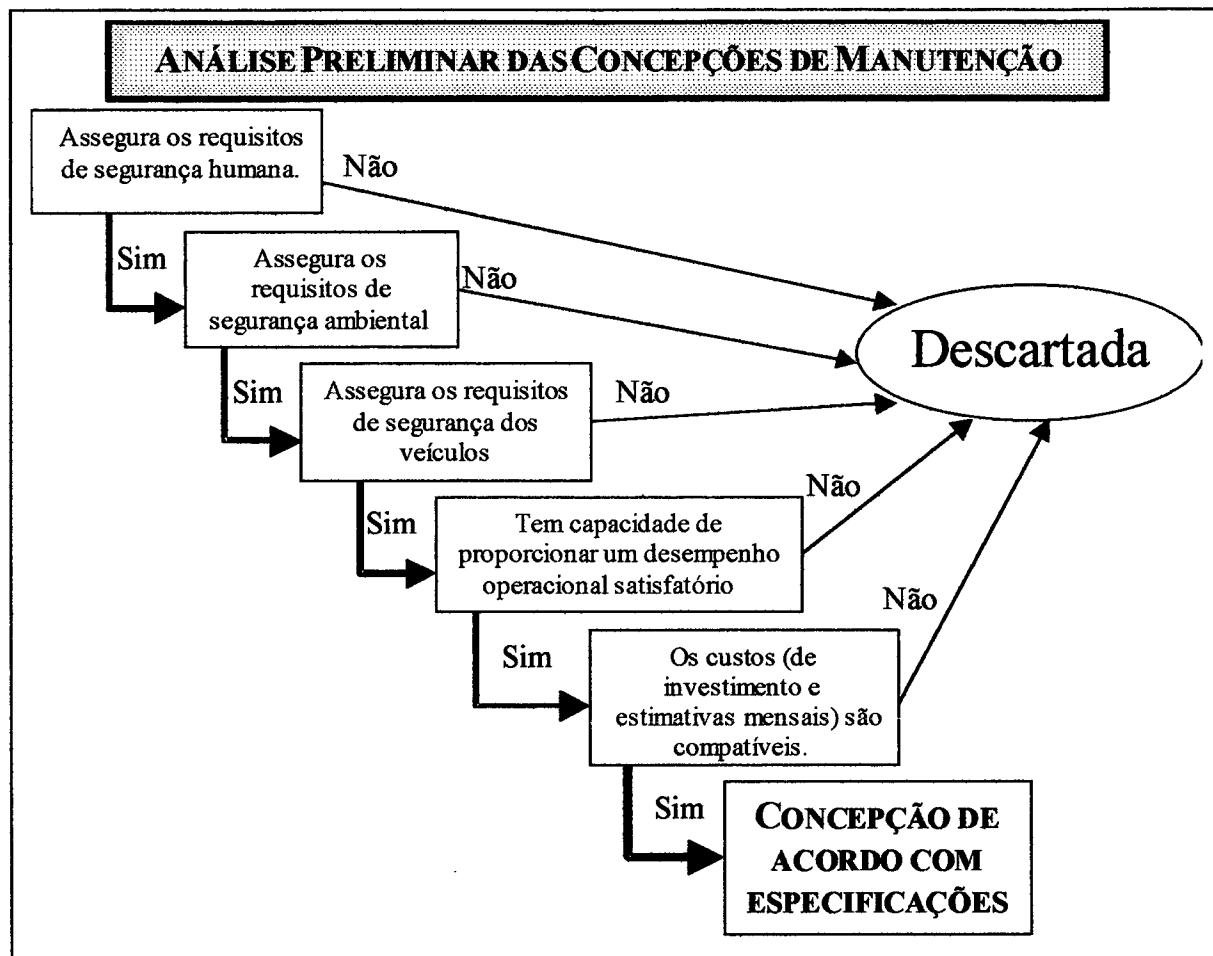


Figura 6-7: Modelo de diagrama de decisão para avaliação preliminar da concepção de manutenção

6.6 Comentários finais

Do exposto neste capítulo, o projeto conceitual, deve concluir pelas concepções de manutenção que serão desenvolvidas no projeto preliminar. As concepções de manutenção são alternativas de estrutura geral para o sistema de manutenção da frota que se mostram mais vantajosa para a empresa dentro do que foi especificado no projeto informacional. Ou seja, são alternativas de configuração geral para a manutenção da frota.

Para concluir pelas concepções de manutenção três etapas são indicadas (Figura 6-1).

Na primeira, é realizada uma análise operacional da frota que, juntamente com os requisitos operacionais pesquisados na fase informacional, servirá de base para estipular as funções necessárias à manutenção da frota.

Em seguida são analisadas as alternativas de manutenção que se aplicam ao sistema de manutenção sob análise. As variantes alternativas estão expostas nas seções 6.4.1.1 a 6.4.1.8.

Para conclusão das concepções de manutenção que serão desenvolvidas no projeto preliminar, é promovida a combinação de todas as variantes alternativas que se apliquem ao sistema de manutenção sob estudo. Deste universo de alternativas, primeiramente, são excluídas aquelas que não estão de acordo com as especificações. Para tal tarefa o uso de diagramas de decisão é útil.

Sobre as alternativas não excluídas, finalmente, são destacadas as melhores alternativas, ou seja, aquelas que promoverão melhor desempenho ao sistema de manutenção da frota dentro dos desejos e necessidades expostas nas especificações. No caso de haver uma destacada vantagem de algumas das alternativas, esta é isoladamente selecionada.

Em fim, as concepções de manutenção selecionadas irão ser desenvolvidas mais profundamente na fase seguinte, o projeto preliminar, consolidando a seleção da melhor configuração para o sistema de manutenção.

7 PROJETO PRELIMINAR

Quando o analista chega a este ponto do projeto, já tem em mente algumas alternativas para a estrutura geral do sistema de manutenção – concepções de manutenção.

Então, na fase preliminar ele desenvolve um detalhamento das concepções de manutenção escolhidas buscando aprofundar as conclusões para embasar, com análises mais específicas, o processo de decisão sobre qual concepção será seguramente a melhor. Visa responder, para cada alternativa de concepção, questões como:

- ✓ Quais as ferramentas necessárias?
- ✓ Qual a capacidade de peças sobressalentes?
- ✓ Qual o plano das ações (corretiva, preventiva, preditiva) sobre os modos de falhas dos veículos?
- ✓ Qual a necessidade de recursos humanos (quantidade, treinamento, qualificação)?
- ✓ Quais testes de monitoramento da condição dos veículos e equipamentos de suporte são recomendados?
- ✓ Como as informações devem ser trabalhadas; qual a estrutura necessária para o sistema de informação; que dados devem ser trabalhados?
- ✓ Que modelos matemáticos de previsão de desempenho futuros se aplicam?
- ✓ Que produtos nocivos ao homem ou ao meio ambiente, que precisam de manipulação especial, serão tratados pela manutenção?
- ✓ Qual o risco envolvido na operação e na execução das tarefas de manutenção?

Estes questionamentos se justificam pois, a eficácia na execução das tarefas de manutenção é função tanto da configuração do projeto dos veículos como das instalações, ferramentas, testes, planejamentos e qualificação do pessoal requeridos para realizá-las apropriadamente (BLANCHARD *et al.*, 1995). Ou seja, conjuntos diferentes de recursos promovem desempenhos diferentes na execução das tarefas de manutenção de um mesmo plano de ações. Assim, a execução de uma preventiva, por exemplo, terá desempenho diferente a depender dos recursos disponíveis para sua execução.

Para orientar estes questionamentos, a metodologia proposta nesta dissertação, baseada na metodologia de projeto de sistemas de engenharia proposta de BLANCHARD & FABRICKY (1990) (seção 4.5), indica cinco etapas (Figura 7-1). A seguir serão comentadas cada uma das etapas e seus respectivos objetivos.

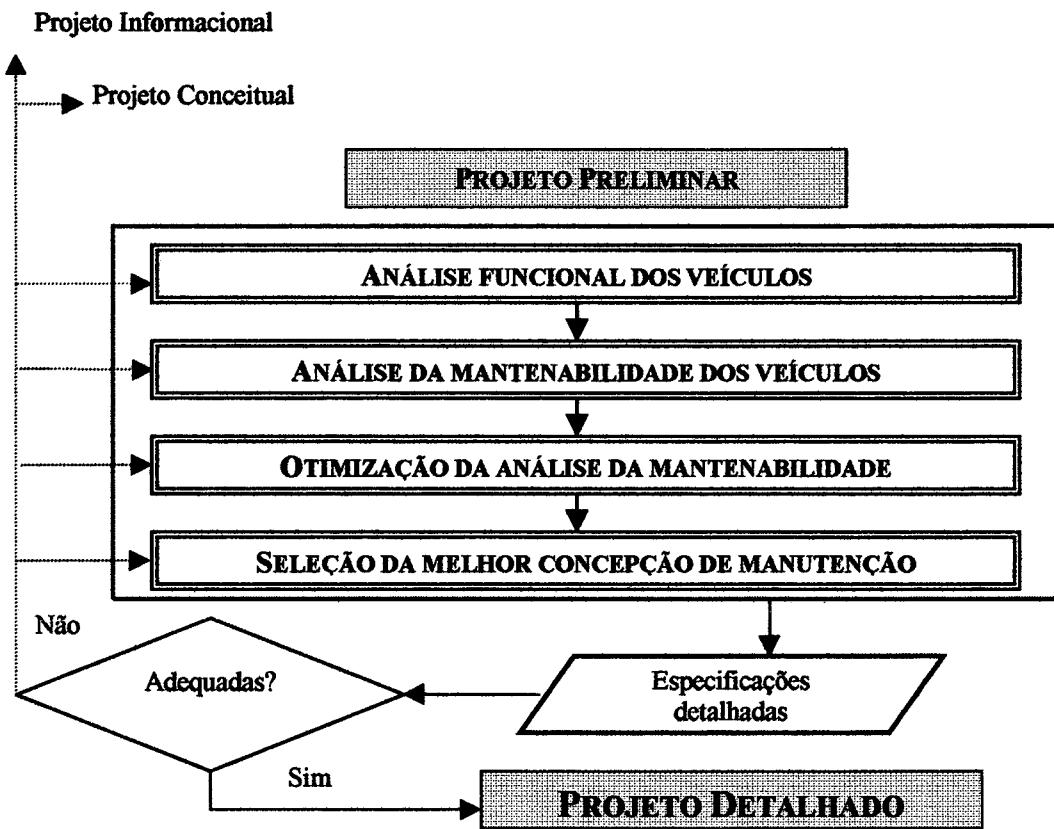


Figura 7-1: Sequência de etapas do projeto preliminar de um sistema de manutenção de frota automotiva (adaptado da Figura 4.7)

A fase conclui pela seleção da melhor concepção de manutenção para o sistema de manutenção, porém, agora, com descrições suficientemente detalhadas. Portanto, esta fase promove a progressão de soluções gerais – as alternativas de concepções de manutenção – para a definição detalhada da solução para a estrutura do sistema de manutenção da frota.

A solução definida será apresentada em termos de especificações detalhadas que servirão de base para as tarefas executadas no projeto detalhado. Contudo a solução total somente estará aprovada caso esteja ajustada às necessidades especificadas na fase informacional, requisito que deve ser bem confirmado. Assim uma possível iteratividade entre as fases informacional, conceitual e preliminar é esperada.

7.1 Análise funcional dos veículos

A primeira etapa, a análise funcional dos veículos, é uma etapa que é sugerida a mais em relação à proposta de BLANCAHARD E FABRICKY (1990). Se faz necessária devido ao tipo de análise a ser realizada *a posteriori*.

Esta análise funcional tem por objetivo estudar o funcionamento dos veículos, através da análise da interação de seus subsistemas, e de sua composição, através dos agrupamentos e esquemas de montagem de seus subsistemas. Assim, é uma etapa na qual o analista aprofunda seu conhecimento sobre o funcionamento dos veículos da frota, através do desdobramento em seus subsistemas.

A análise funcional facilita a percepção dos efeitos das falhas na operação dos veículos e, evidenciando o esquema de montagem, ajuda no estabelecimento de metas e objetivos mais específicos para cada subsistema.

Dois diagramas auxiliam a retratar a análise funcional dos veículos: a árvore de montagens e o diagrama de fluxos funcionais.

7.1.1 Árvore de montagens

A árvore de montagens objetiva retratar a composição dos veículos através de seus subsistemas e seus esquemas de montagem. É útil para a análise da manutenibilidade de cada subsistema, pois facilita a compreensão frente aos itens constituintes dos veículos e reduz a possibilidade de não consideração de algum item relevante.

Basicamente retrata a continuação da análise da composição da frota realizada no projeto informacional (Tabela 5.2), a qual ilustra as sub-frotas e os modelos de veículos. A partir da identificação dos modelos, inicia-se o desdobramento dos subsistemas dos veículos, através da identificação dos respectivos conjuntos chassis - carroceria (Figura 7-2).

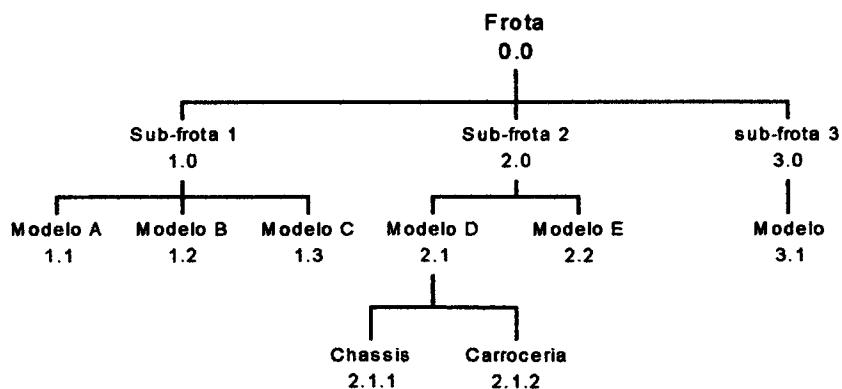


Figura 7-2: Análise da composição da frota (Tabela 5.2)

A Figura 7-3 ilustra uma árvore de montagem de um veículo, chassis marca Scania, modelo F-113. Nela visualiza-se composição da carroceria através de seus subsistemas (janelas, interior, exterior, dispositivos/acessórios) e do chassis (sistema elétrico, suspensão sistema motriz,...). A partir deste primeiro desdobramento, a árvore de montagem prossegue até atingir um nível que garanta subsídio à análise da mantinabilidade que, normalmente, é o nível das peças não reparáveis (que sofrem simples substituição). Ou seja, se uma empresa não realizada remanufaturamento de platôs de embreagem não interessa para ela estender análise sobre as peças que compõem o platô - carcaça embreagem, mola membrana, placa de pressão e molas de lâminas (Figura 7-3, chassis, nível 7).

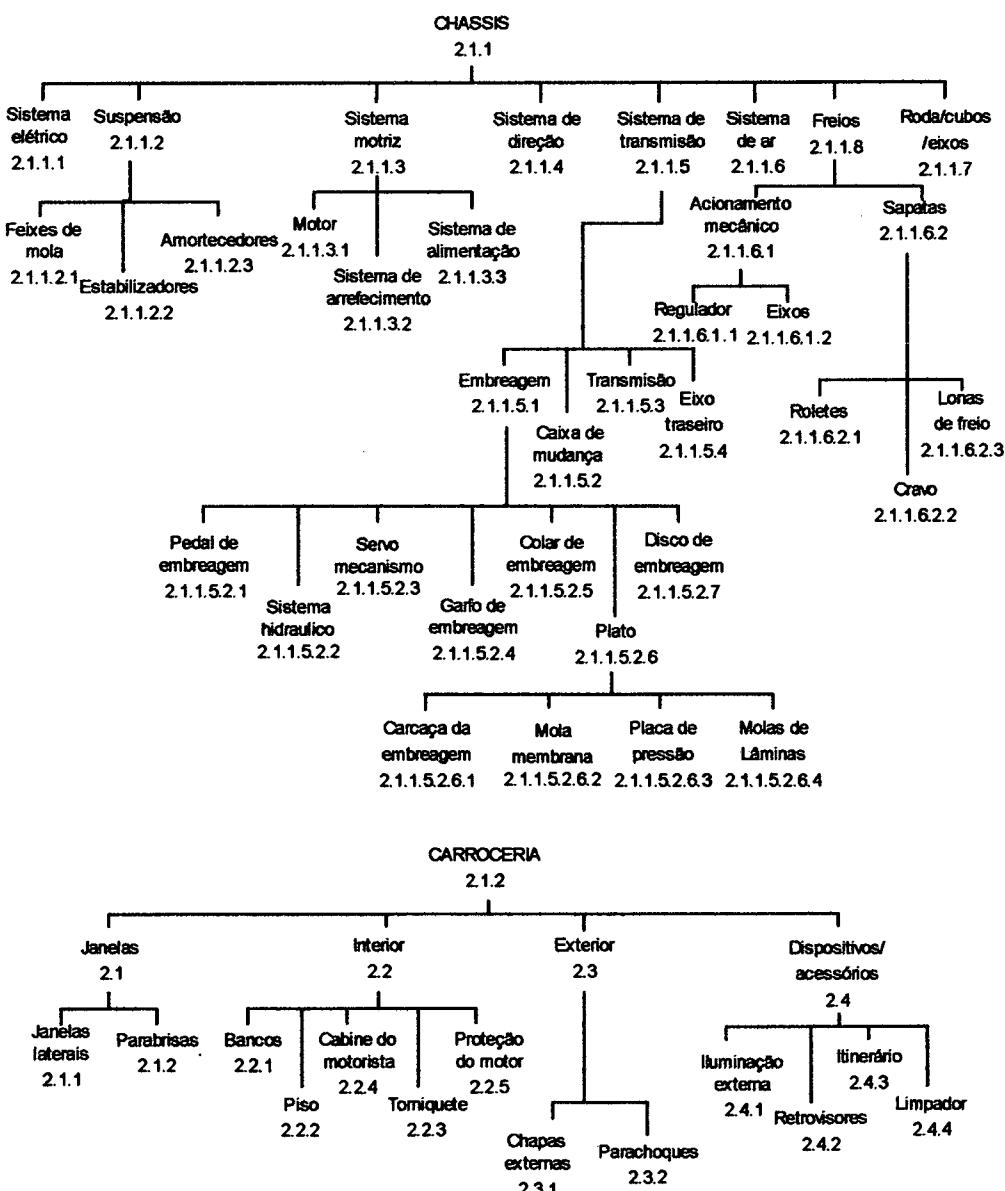


Figura 7-3: Árvore de montagem de um ônibus chassis Scania F-113 (adaptado de SCANIA, 1995)

7.1.2 Diagrama de fluxo funcional

O diagrama de fluxo funcional descreve o funcionamento do veículo através das funções e fluxos de seus subsistemas (fluxos de sinais informação, energia, material). Assim promove o entendimento dos relacionamentos, da interação, entre os subsistemas facilitando a compreensão dos efeitos de falhas de um em relação aos outros e no veículo.

A Figura 7-4 exemplifica um diagrama de fluxo de um ônibus, chassis Scania F-113.

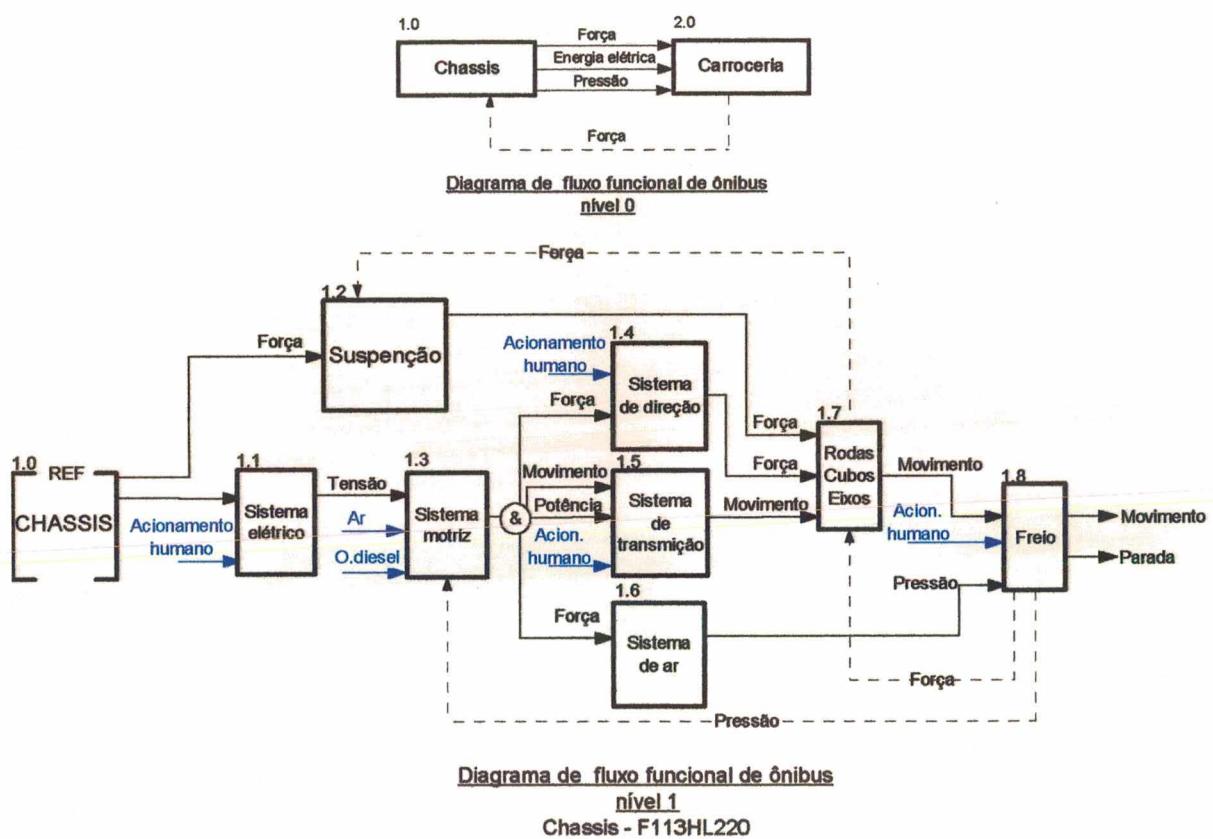


Figura 7-4: Diagramas de fluxo funcional de um ônibus, níveis 0 e 1(adaptado SCANIA, 1995)

No nível 0 o analista representa seu entendimento da interação entre chassis e carroceria do veículo – o chassis fornece energia elétrica e pressão (ar) e exerce força à carroceria, que por sua vez, por reação, exerce força no chassis. No nível 1 do chassis (REF. 1.0) fica registrado o entendimento da interação dos seus subsistemas. Assim, o sistema elétrico (1.1) através do acionamento humano gera uma tensão e, juntamente com ar e óleo diesel, aciona o sistema motriz (1.3). O sistema motriz fornece força ao sistema de direção (1.4) que juntamente com o acionamento humano exerce uma força a rodas/cubos/eixos (1.7). O sistema motriz também através de movimento e potência interage com o sistema de transmissão (1.5) que, com o acionamento humano transmite movimento para rodas/cubos/eixos (1.7). O freio (1.8) é acionado quando existe movimento, pressão e acionamento humano e gera um movimento

(redução de velocidade) ou parada. Este interage com rodas/cubos/eixos (1.7) através de uma reação da força.

Para completar as informações do diagrama de fluxo funcional, cada um dos sinais de força, movimento, pressão e outros que possam ocorrer podem ser identificados através de suas medidas máximas e mínimas. Por exemplo, a pressão que o sistema de ar (1.6) deve fornecer ao sistema de freio deve ficar entre 5.5 e 8.5 psi. Tal range deve basear-se nas especificações de projeto dos veículos, contudo pode diferenciar-se a depender de decisões técnicas da gestão de manutenção.

Da mesma forma que a árvore de montagem, o desdobramento funcional dos veículos deve estender-se até o nível de análise que assegure subsídio para a análise da mantinabilidade.

7.2 Análise da mantinabilidade

Na segunda etapa do projeto preliminar (Figura 7-1), sobre cada subsistema desdoblado são pesquisados os requisitos de mantinabilidade. Quais recursos a configuração de projeto dos subsistemas dos veículos necessita para efetuar a manutenção (recursos lógicos, logísticos, humanos e físicos – seção 2.6.3).

Deve-se observar que estes recursos deverão estar associados à respectiva concepção de manutenção sob análise. Para cada concepção de manutenção selecionada no projeto conceitual, resultará um conjunto de recursos associados. Ou seja, caso uma concepção de manutenção não incorpore a necessidade de nível intermediário de manutenção (seção 6.4.1.1), então os recursos identificados para manter os subsistemas neste nível não serão necessários. É o caso das seções de recuperação e o montagem de motores.

Portanto na análise da mantinabilidade são alocados os recursos e desempenhos necessários para a manutenção dos veículos de acordo com as concepções de manutenção sob análise.

Analogamente ao projeto de produto, esta etapa refere-se à alocação de requisitos do projeto preliminar (seção 4.5.1). A denominação análise da mantinabilidade foi dada em virtude de direcionar o levantamento dos recursos necessários à manutenção dos veículos (através da análise de seus subsistemas), que são consequência das características de mantinabilidade incorporadas no projeto dos veículos. Assim quando se faz a análise da mantinabilidade para estruturação de sistemas de manutenção, na realidade está-se pesquisando as características de mantinabilidade inerentes à configuração de projeto dos veículos.

Para conduzir a análise da manutenibilidade, quatro estruturas são pesquisadas (Figura 7-5): lógica, logística, física e humana. Cada uma das estruturas será comentada a seguir.

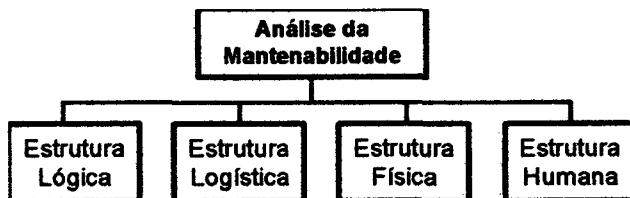


Figura 7-5: Análise da manutenibilidade (adaptado Figura 2.9)

7.2.1 Estrutura lógica

A composição da estrutura lógica da manutenção da frota é formada por três conjuntos de informações: análise de desempenho, avaliação do projeto do veículo quanto a manutenção e modelagem da gestão de manutenção (Figura 7-6).



Figura 7-6: Análise da manutenibilidade – composição da estrutura lógica da manutenção da frota

7.2.1.1 Análise de desempenho

O módulo de análise de desempenho visa identificar as informações que caracterizam a eficiência e a eficácia de desempenho dos subsistemas dos veículos. Para tal, dois módulos preenhem as necessidades de informações (Figura 7-7):

- ✓ informações de **desempenho passado** a partir de dados observados relacionados às ações de manutenção e operação – índice de desempenho. Geralmente, são resultado da composição de informações primárias coletadas do cotidiano da empresa (tempo de reparo, valor de peças, valor de mão de obra...). Por consequência, determinam que informações do cotidiano devem ser coletadas, informações estas que serão fundamentais à formação de um banco de dados de manutenção que seja eficiente e versátil.
- ✓ informações de expectativa de **desempenho futuro** a partir de dados observados ou estimados de falha, de tempos e de custo das ações de manutenção dos equipamentos. Geralmente a estimativa é realizada através de modelos matemáticos probabilísticos.

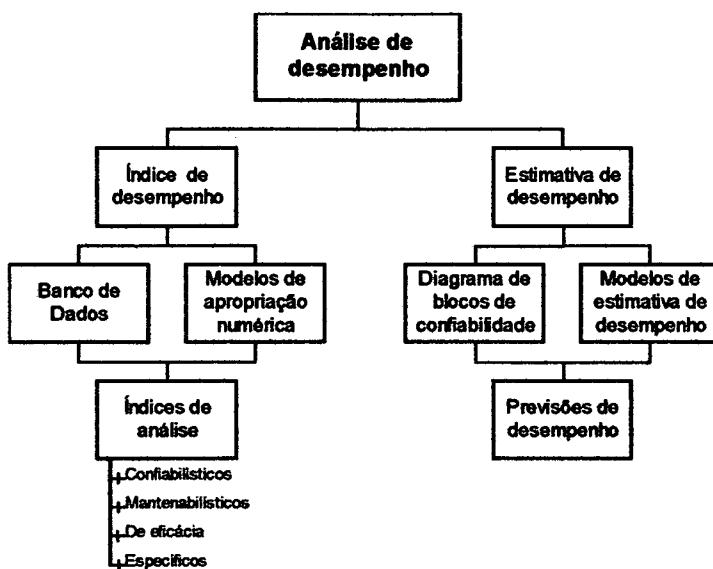


Figura 7-7: Análise da manutenabilidade - “Estrutura lógica / análise de desempenho” (adaptado de BLANCHARD *et al.*, 1995)

Os índices de desempenho configuram-se através de quatro fatores de análise: **fatores confiabilísticos**: índices relacionados com a durabilidade, confiabilidade e comportamento das falhas dos subsistemas (ver seção 3.3.1); **fatores de disponibilidade**: índices representativos da disponibilidade: A_i , A_a e A_o (ver seção 3.3.3); **fatores mantenabilísticos**: índices representativos da eficácia e freqüência das ações de manutenção. Os fatores de manutenibilidade podem ser divididos em: medidas de freqüência de manutenção (ver seção 3.3.2.2); medidas de tempo das ações de manutenção (ver seção 3.3.2.1); medidas de utilização e eficiência de mão de obra: medem a carga de utilização da mão de obra utilizada na manutenção (ver seção 3.3.2.4) e a eficácia e a taxa de utilização da mão de obra. Na Tabela 7-1 estão expostos dois índices que medem desempenho de mão de obra aplicáveis a frotas; medidas de custo de manutenção: medem os custos envolvidos na manutenção, como custo por reparo, custo de mão-de-obra, energia e gasto em suporte logístico, custo com ferramentas, testes, obras na estrutura predial da manutenção, investimentos em recursos humanos e custo total de manutenção por mês (ver seção 3.3.2.3). A Tabela 7-2 apresenta alguns fatores mantenabilísticos com seus modelos de apropriações numéricas aplicados a frotas; **fatores de eficácia**: retratam a performance do veículo em realizar as funções pretendidas. Estes índices medem o grau de integração da manutenção com os propósitos produtivos da empresa, já que relacionam-se aspectos técnicos a econômicos que afetam diretamente a manutenibilidade inerente aos veículos e ao gerenciamento da manutenção (ver seção 3.3.8). Alguns fatores de eficácia aplicados a frotas são: disponibilidade operacional por custo de manutenção total ($A_o \times \$$); confiabilidade por custo de

manutenção total ($R \times \$$); idade média dos veículos por custo de manutenção (incluindo os custos indiretos como a não produção, indenizações e outros); número de funcionários de manutenção por número de veículos; custo de mão de obra por veículo; quebras em operação por tempo de operação; quebra em operação por soma das quilometragens dos veículos; quebra em operação por número de veículos; número de serviços não programados por quilometragem total da frota; serviços de manutenção por quilometragem; e fatores e controles específicos: alguns componentes e ramos de atividade possuem características tão particulares e importantes que devem ser consideradas através da análise e acompanhamento de índices e controles específicos. Em manutenção de frota tem-se como exemplo: consumo de óleo lubrificante por motores, consumos de óleo diesel, controle específico de pneus, controle de componentes que podem “flutuar” de um veículo para outro (caixas de marcha, motores, caixas de direção...), índice de substituições e atrasos na programação da operação devido a manutenção por veículo.

Tabela 7-1: Índices de desempenho de mão de obra

PRODUTIVIDADE DE MDO	NU (Nível de utilização)	$\frac{\sum \text{HorasTrabalhadas} \times 100}{\text{HorasTotaisDisponíveis}}$	Retrata o nível de utilização das horas que os funcionários estão disponíveis em relação ao que efetivamente foi utilizado.
		$P = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Mct_i}{Mct_{\text{padrão}}} \right) / n; \quad \sum_{i=1}^n \left(\frac{Mpt_i}{Mpt_{\text{padrão}}} \right) / n$	

Tabela 7-2: Alguns exemplos de fatores mantenibilísticos com seus modelos de apropriação numérica

FATORES MANTENIBILÍSTICOS	MTBM	$\frac{\sum_{i=1}^n TEM_i}{n}$	TEM_i = quilometragem entre tarefas de manutenção. n = número de tarefas
	MTBR	$\frac{\sum_{i=1}^n TER_i}{n}$	TER_i = quilometragem entre substituição de itens
	\overline{Mct}	$\frac{\sum_{i=1}^n Mct_i}{n}$	\overline{Mct}_i = tempo de duração de cada corretiva.
	\overline{Mpt}	$\frac{\sum_{i=1}^n Mpt_i}{n}$	\overline{Mpt}_i = tempo de duração de cada preventiva (incluindo as operações de preditiva).
	MDT	$\overline{M} + TAT + TAA$	Ver seção 3.3.2.1

A estimativa de desempenho é composta de: **previsões de confiabilidade:** deve levar em consideração os relacionamentos funcionais (série ou paralelo) ilustrados através da aplicação dos *diagramas de bloco de confiabilidade* (ver seção 3.3.1); **previsões de disponibilidade:** como exemplo, a partir de ponderações ou expectativas de tempos médios entre manutenção - MTBM - e dos tempos dos equipamentos parados sob manutenção - MDT - pode-se obter a expectativa de disponibilidade operacional dos veículos; **previsões de mantinabilidade:** embasadas nas expectativas de tempo de execução de serviços nos componentes, como por exemplo estimativas de tempo com manutenções corretivas, estimativas de tempo com manutenção preventivas, estimativa de tempo de equipamento indisponível, sob manutenção, num determinado período. A Tabela 7-3 apresenta alguns exemplos de previsões mantenabilísticas aplicadas a frotas com seus modelos de apropriação numérica.

Tabela 7-3: Alguns exemplos de previsões mantenabilísticas aplicada a frotas com seus modelos de apropriação numérica

PREVISÕES DE MANTENIBILIDADE	\dot{M}_{ct}	$\left(\sum_{i=1}^n \overline{Mct}_i \times \lambda_i \right) Km$	\overline{Mct}_i = tempo de execução médio estimado de ação corretiva originada por cada modo de falha do componente; λ_i = taxa de falha estimada em relação a cada modo de falha do componente.
	\dot{M}_{pt}	$\left(\sum_{i=1}^n (fpt_i)(Mpt_i) \right) Km$	fpt_i ⇒ freqüência de cada preventiva aplicada ao componente Mpt_i ⇒ tempo estimado para execução de preventivas.
	\dot{MDT}	$\dot{Met} + \dot{M}_{pt} + TAA + TAL$	-----

7.2.1.2 Avaliação do projeto do veículo quanto a manutenção

O segundo módulo da estrutura lógica objetiva descrever as características de projeto dos veículos, não mensuráveis, relacionadas à manutenção, que influenciam o desempenho da manutenção, posicionando o analista de manutenção frente às dificuldades impostas pelo projeto dos veículos.

Tal descrição deve ser apresentadas na forma de sugestões a reprojeto, já que direciona ao projetista observações de aspectos a serem melhorados nos projetos futuros.

Os fatores a serem avaliados são (Figura 7-8): **fatores ambientais:** agressividade ao meio ambiente como regulamentações de emissão de poluentes (gases, líquidos, sólidos); **acessibilidade:** descreve dificuldades de acesso e visualização para inspeções e reparos;

intercambialidade: existência da possibilidade de melhora no tempo médio de troca do componente; **fatores humanos:** fatores relacionados à facilidade em manipular os componentes como peso, risco de acidente, estresse no manuseio causado pela dificuldade de instalação, excesso de precisão, má visibilidade e insalubridade; **reconhecimento e isolamento da falha:** facilidade de identificação da falha com minimização de dúvidas ou erros de interpretação dos sintomas; **fatores legais:** como os subsistemas relacionam-se a restrições legais.

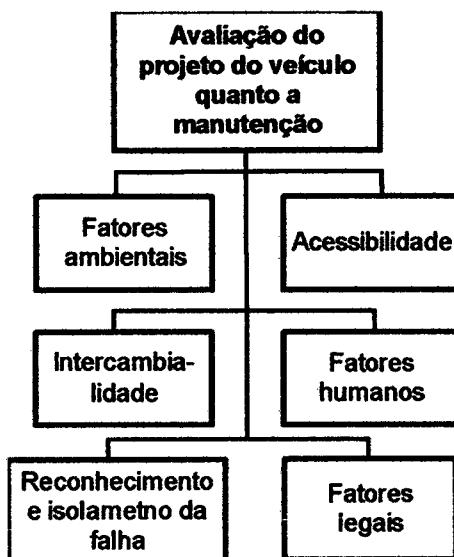


Figura 7-8: Análise da mantinabilidade - “Estrutura lógica / avaliação do projeto do veículo quanto a manutenção” (adaptado de BLANCHARD *et al.*, 1995)

7.2.1.3 Modelagem da gestão de manutenção

O último módulo da estrutura lógica é a modelagem da gestão de manutenção cujo objetivo é formar o plano de ações frente aos sub-sistemas dos veículos, ou seja, definir quais tarefas e freqüências serão aplicadas na manutenção dos subsistemas, juntamente com os procedimentos de execução (Figura 7-9).

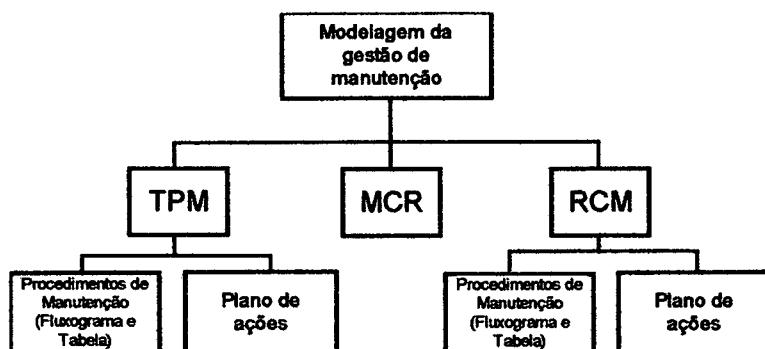


Figura 7-9: Analise da mantinabilidade – “Estrutura lógica / modelagem da gestão de manutenção”

Para elaboração dos planos e procedimentos de manutenção, duas abordagens podem ser utilizadas: a TPM (seção 2.3.2) e a MCC (seção 2.3.1). Como exposto na introdução, embora estas sistemáticas de gestão de manutenção tenham sido desenvolvidas e aplicadas independentemente, correntes mais atuais pregam a utilização em conjunto objetivando agregar o que há de melhor em cada uma.

A terceira opção ilustrada na Figura 7-9, a MCR (manutenção centrada no reparo) diz respeito a manutenção tradicional, na qual a gestão de manutenção não se arca de qualquer procedimento sistemático que norteie as decisões sobre o plano e procedimentos de execução das tarefas. As decisões são tomadas independentemente sobre cada tarefa, podendo até mesmo serem organizadas informalmente.

7.2.2 Estrutura logística

A análise da estrutura logística integrado visa identificar a estrutura de apoio necessária para execução com eficiência das tarefas de manutenção dos subsistemas. A estrutura de apoio é significativamente influenciada pelas diretrizes definidas em cada concepção de manutenção sob análise. A análise do suporte logístico integrado é composto de (Figura 7-10):



Figura 7-10: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura logística da manutenção da frota

- ✓ análise da necessidade de administração de materiais (almoxarifado e gestão de estoques) e suprimento (setor de compras, gestão de compras, incluindo a formação de banco de dados de fornecedores e prestadores de serviços de manutenção para cada subsistema);
- ✓ características de consumo de materiais: características de consumo de peças de reposição e materiais de consumo, ou seja, se os itens do subsistema são mantidos através de sobressalente, quais materiais de consumo são necessários e qual a taxa de consumo esperada. É salutar neste ponto prever um ranking dos maiores gastos de sobressalentes com preço das últimas compras, fornecedores, consumos médios por período e outras informações;
- ✓ necessidade de estruturas especiais para manuseio dos materiais de consumo e sobressalentes e de transporte de peças e pessoal;

7.2.3 Estrutura física

A análise da estrutura física objetiva identificar o suporte de ferramental, de testes e estruturas prediais para realização eficaz e segura das tarefas de manutenção. Para tal são realizadas análises de (Figura 7-11):

- ✓ ferramentas e equipamentos de teste: quais ferramentas e teste são necessários para monitoramento, verificação, avaliação, desmontagem, reparo e montagem dos subsistemas;
- ✓ equipamentos de segurança pessoal e ambiental: necessidade de equipamentos de segurança humana para execução das tarefas em cada item dos subsistemas como também os acessórios e estruturas de proteção ambiental relacionados a consequências das ações de manutenção;
- ✓ instalações prediais e especiais necessárias para manutenção dos subsistemas como valetas, escadas, rampas e outros.



Figura 7-11: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura física da manutenção da frota

7.2.4 Estrutura humana

A análise da estrutura humana objetiva identificar os requisitos humanos necessários para desempenhar eficazmente as tarefas de manutenção associadas aos subsistemas dos veículos. Consta de (Figura 7-12):

- ✓ programa de treinamento: programa de capacitação dos funcionários, através de cursos e treinamentos, necessários para manutenção dos subsistemas;
- ✓ características da mão de obra: perfil de qualificação e características profissionais desejadas, como: idade mínima, escolaridade, formação profissional, experiência profissional, classificação dentre outros;
- ✓ definição da equipe responsável pela manutenção. Esta está associado ao nível de manutenção que realizará reparos nos subsistemas.



Figura 7-12: Análise da mantinabilidade - composição da estrutura humana da manutenção da frota

7.3 Otimização da análise da mantinabilidade

Finda a segunda etapa, o analista possui, para cada concepção de manutenção, um conjunto de informações sobre os recursos necessários para manter cada subsistemas dos veículos. Contudo é preciso agora, a partir dos recursos identificados para a manutenção de cada subsistema, compor a solução para toda a frota, formalizando o conjunto de recursos e estruturas para todo o sistema de manutenção.

É preciso, então, pensar nas análises específicas de otimização, através de modelos empíricos e de modelos matemáticos, objetivando a busca da melhor solução para toda a frota.

Portanto, nesta fase são sintetizadas soluções totais para cada concepção de manutenção selecionada no projeto conceitual, através da combinação e otimização das necessidades de recursos e gestão identificados para cada subsistema. Ou seja, são otimizadas as estruturas física, humana, lógica e logística, concluindo o detalhamento das concepções selecionadas para desenvolvimento nesta fase do projeto.

Alguns exemplos de estudos de otimização aplicados à estrutura lógica são:

- ✓ compilar os dados a serem coletados no cotidiano, a estrutura de coleta (informatizada ou uso de formulários, fichas, cartões de controle ou um misto),
- ✓ o planejamento do tratamento de dados resultante das técnicas do monitoramento da condição empregados (manual, coletores de dados e softwares específicos, automático em linha)(ABRAMAN, 1997);
- ✓ análise da necessidade de programas computacionais, quer sejam programas próprios, externos adaptados, pacote externo, próprio e externos, planilhas eletrônicas e banco de dados assim como os de hardwares utilizados (pc's, rede, mainframes) (ABRAMAN, 1997);
- ✓ estrutura lógica de todos os bancos de dados dos elementos constituintes da estruturas da manutenção como ferramentas, testes, veículos, funcionários, cursos do programa de treinamento e outros;

- ✓ planejamento dos controles de serviços e consumo de materiais (ordens de execução de serviços, pert/cpm, histórico, estatística de falhas e defeitos, controle de custos, gerência de estoque de materiais e outros);
- ✓ estrutura do departamento de controle quer seja independente, agregado à gerência, informal (realizado pelos próprios mecânicos) (ABRAMAN, 1997);
- ✓ avaliação do programa de preventiva através da análise comparativa de custos de cada preventiva contra a análise de custos da corretiva originada pela ausência de preventiva (DOLCE, 1998);
- ✓ análise do impacto no custo de manutenção devido ao aumento da confiabilidade com preconização de substituição de componentes (AL-GARNI, 1996);
- ✓ determinar o cronograma da política de preventiva para troca de componentes baseado na teoria da confiabilidade (AL-GARNI *et al.*, 1997);
- ✓ avaliação entre manutenção própria, de oficinas de terceiro ou autorizadas para certos serviços (DOLCE, 1998);
- ✓ gerenciamento e seleção de pneus (DOLCE, 1998);
- ✓ determinação de critérios de reparo, troca ou descarte de veículos (DOLCE, 1998);
- ✓ determinar o suporte logístico para um período de tempo especificado (AL-GARNI *et al.*, 1997);
- ✓ otimização do intervalo de tempo entre preventivas a um custo ótimo, baseado em análises de distribuições de Weibull (HUANG *et al.*, 1995);
- ✓ estimativa da idade média (em quilômetros) no qual os veículos se tornam economicamente desvantajosos (BELL & MIODUSKI, 1976);
- ✓ determinação da economia com reformas da frota objetivando a extensão da vida útil economicamente vantajosa (BELL & MIODUSKI, 1976).

Alguns exemplos de estudos de otimização aplicados à estrutura humana são, como:

- ✓ dimensionamento do quadro de funcionários necessário para todo o sistema de manutenção (DOLCE, 1998);
- ✓ estimativa de horas extras devido a não contratação de mais funcionários (DOLCE, 1998);
- ✓ perfil da atividade de engenharia de manutenção (qual o perfil dos recursos humanos – engenheiros, técnicos especializados, outros) (ABRAMAN, 1997);
- ✓ determinação dos requisitos de qualificação por nível hierárquico: nível superior, técnico nível médio, 1º grau, MDO qualificada, MDO não qualificada), nível de especialização (conhecimento geral, especialistas, misto);

- ✓ regime de contratação de MDO: contratada, terceirizada ou mista; temporária, permanente ou serviços de terceiros;
- ✓ composição do programa de treinamento geral da empresa;
- ✓ definição do organograma de pessoal;
- ✓ definição da política de contratação;
- ✓ definição da política motivacional e de incentivo;
- ✓ definição da estrutura necessária à segurança do trabalho.

Alguns exemplos de estudos de otimização aplicados à estrutura logística são:

- ✓ cálculo estatístico da necessidade de sobressalentes (SHEIKH, 1990);
- ✓ avaliação da necessidade de sobressalentes e materiais de consumo (em valores monetários) num ano (DOLCE, 1998);
- ✓ definição dos recursos necessários ao abastecimento dos veículos (compra de combustíveis, controle de abastecimento, controle de qualidade, controle de estoque e outros);
- ✓ definição do suporte de administração de materiais (estrutura de almoxarifado, controle de fluxos e estoque de materiais);
- ✓ definição do suporte de suprimentos;
- ✓ definição do suporte à manutenção de instalações de telecomunicações;
- ✓ definição do suporte à gestão de instalações de tratamentos de efluentes;
- ✓ definição do suporte à manutenção das instalações prediais;
- ✓ definição do suporte à gestão de ferramentaria;
- ✓ definição dos recursos de transporte de materiais e pessoal;
- ✓ definição da necessidade e planejamento da atividade de reprojetos e pequenos projetos de melhorias, projeto de novas instalações;
- ✓ definição dos recursos para gestão dos requisitos de limpeza e serviços gerais.
- ✓ análise da necessidade de manutenção de equipamentos e instrumentos de teste e suporte (oficina de apoio à manutenção).

Alguns exemplos de estudos de otimização aplicados à estrutura física são:

- ✓ análise da necessidade de instalações de tratamentos de efluentes;
- ✓ análise das estruturas e recursos de preservação das condições ambientais de trabalho como: ventilação, filtros de ar, ar condicionado, iluminação, sistema de prevenção a incêndios e outros;
- ✓ dimensionamento do número de valas para manutenção de toda a frota (DOLCE, 1998);
- ✓ composição do ferramental para manutenção da frota;

- ✓ composição dos equipamentos de teste para manutenção da frota;
- ✓ definição das seções especialistas de manutenção (motor, caixa e diferencial, bomba injetora, borracharia e outras);
- ✓ definição dos requisitos de instalações prediais como galpão ou prédio próprio especial, ou utilização do mesmo galpão da produção, misto com algumas atividades em um galpão ou salas separadas que sejam específicas a uma atividade.

BLANCHARD *et al.* (1995) também cita algumas técnicas de avaliação da mantinabilidade para projeto de sistemas de engenharia que podem ser úteis para otimização de sistemas de manutenção, principalmente no que diz respeito a confirmar as expectativas ou necessidades de desempenho futuro do maquinário e quando há falta de dados suficientes para análises. Os modelos de análise que cita são:

- ✓ *alocação dos requisitos de confiabilidade*: útil ao sistema de manutenção no sentido de prever os componentes mais representativos na confiabilidade dos equipamentos como um todo. Nesta análise, utiliza-se o diagrama de blocos da confiabilidade, que ilustra o relacionamento série-paralelo da confiabilidade de cada subsistema em relação ao sistema maior. Após o modelo de confiabilidade estar montado os dados simulados podem ser substituídos por dados reais e a partir daí atualizados constantemente e assim servir como ferramenta de decisão para o planejamento contínuo das ações e recursos de manutenção;
- ✓ *análise do custo do ciclo de vida*: estimativa do custo total de cada modelo de veículo incluindo aí o custo de compra, uso, manutenção e descarte. Idem substituição de dados simulados por reais devem ser realizados, se possível;
- ✓ *técnicas de previsão da mantinabilidade*: envolve, em geral, a avaliação de fatores futuros da manutenção como fatores de tempo, de carga de trabalho, freqüência, e custo. Nas previsões são utilizados dados de sistema de engenharia, similares ou mesmo considerações baseadas em experiência passadas do projetista. Assim pode-se, por exemplo, estimar o tempo médio necessário para cada manutenção preventiva ou corretiva. O autor ainda cita a importância de dados de sistemas similares para execução das previsões e indica que, quando tratando com freqüências e tempos de manutenção em termos probabilísticos, ferramentas de simulação matemática como a simulação de Monte Carlo podem ser úteis. O objetivo das previsão é antecipar as ações necessárias à manutenção, identificar potenciais recursos requeridos e estimar os tempos necessários para execução das tarefas de manutenção.

Em alguns dos modelos de análise para otimização das estruturas do sistema de manutenção há intenso uso de medidas estocásticas. Assim, o domínio das técnicas matemáticas

necessário ao uso destas medidas pode ser útil, como: modelos de representação de distribuição amostrais (distribuições binomial, exponencial, Weibull e outras) e modelos de simulação (Markov e Monte Carlo).

Quanto à precisão das análises de otimização, esta será maior quanto mais dados observados estiverem à disposição. Contudo, não havendo dados próprios da empresa, dados de manutenções de empresas similares podem ser utilizados. Estes entretanto devem ser substituídos por observados na própria empresa à medida que fiquem à disposição do analista de manutenção.

Observa-se também que muitos dos modelos de otimização podem compor o módulo de “estimativa de desempenho” da análise da mantinabilidade.

7.4 Seleção da melhor concepção de manutenção

Concluídas as análises de otimização, estarão concluídas as sínteses detalhadas de cada concepção de manutenção selecionada na fase conceitual (capítulo 6).

A tarefa agora é definir a melhor alternativa. Neste sentido, análises comparativas entre as sínteses são executadas. Como critérios, são utilizadas as diretrizes impostas nas especificações do sistema de manutenção (projeto informacional – capítulo 5).

Os resultados entretanto, podem não satisfazer completamente as expectativas de desempenho requerido nas especificações do sistema de manutenção. Ou seja, o conjunto de recursos de planejamento decidido podem não atingir algumas metas e objetivos traçados. Neste caso há duas alternativas:

- ✓ rever o planejamento das ações;
- ✓ rever a configuração de projeto dos equipamentos (através da aquisição de outros modelos de veículos ou mesmo do reprojeto).

Mesmo assim é possível, esgotando todas as alternativas, constatar a impossibilidade de alcançar as metas e objetivos estabelecidos. Neste caso, estas devem ser revisadas pois conclui-se pela impossibilidade em cumpri-las. Efetivamente, isto traz consequências ao planejamento estratégico da produção da empresa que também devem ser repensados. Estas reavaliações devem prosseguir iterativamente com as fases informacional e conceitual do projeto até a concordância dos resultados com os objetivos e metas almejados.

Completando a síntese da solução os veículos deverão ser registrados, agrupados e catalogados juntamente com os equipamentos das funções auxiliares à produção (seção 6.3) relevantes ao gerenciamento da manutenção.

Em se selecionando a melhor concepção de manutenção, esta é sintetizada em forma de especificações detalhadas do sistema de manutenção da frota capaz de orientar as tarefas no projeto detalhado.

7.5 Comentários finais

O objetivo do projeto preliminar no planejamento e estruturação de sistemas de manutenção é refinar o conjunto de concepções de manutenção selecionadas como potenciais para serem a melhor configuração de manutenção para a frota. Assim, esta fase se inicia com um conjunto de concepções de manutenção que são soluções gerais para o problema de manutenção da frota. Através de 4 etapas (Figura 7-1), estas soluções gerais são detalhadas e sintetizadas. De posse destas essa informações mais detalhadas pode-se selecionar qual a melhor concepção para o sistema de manutenção da frota.

O resultado das análises desta fase é apresentado na forma de uma lista de especificações detalhadas do sistema de manutenção da frota na qual ficam definidos itens específicos como o número de funcionários necessários e as respectivas formações, o programa de treinamento, a estrutura necessária em espaço físico, logístico e ferramental, os dados que devem ser registrados e as métricas referenciais específicas a serem atingidas.

Finda esta fase o analista terá toda a estrutura para a manutenção planejada, restando desenvolver os projetos para cada um dos subsistemas lógico, logístico, humano e físico, o que é feito no projeto detalhado. Ou seja, estabelecido o que deve ser feito, o projeto detalhado progride com a execução das conclusões obtidas até este pronto do projeto.

7.5.1 Projeto detalhado

No projeto detalhado de um sistema de manutenção têm-se prevista a execução das seguintes tarefas:

- ✓ desenvolver os softwares;
- ✓ projeto das instalações prediais;
- ✓ projeto da central de controle e tratamentos de informações;
- ✓ confecção dos procedimentos técnicos agrupando-os em manuais técnicos e administrativos,
- ✓ confecção dos organogramas, planilhas e outros formulários relativos ao controle dos serviços e de fluxo materiais;
- ✓ plano de compra dos equipamentos de teste, de suporte, ferramental e outros;
- ✓ planejamento da contratação e dos planos de treinamentos dos funcionários;

Para incorporação do que foi analisado e concluído até este ponto do projeto deve ser traçado o plano de ação descrevendo as fases de implantação. A incorporação do plano deve ser progressiva e seguir um cronograma dentro das prioridades definidas na fase preliminar.

Como o desenvolvimento das análises do projeto detalhado não é foco desta dissertação, o desenvolvimento desta fase fica como sugestão para desenvolvimento em trabalhos futuros.

8 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um planejamento e estruturação de manutenção de uma frota de ônibus urbano de Florianópolis. Devido à opção do trabalho de priorizar o desenvolvimento teórico da metodologia e à restrição de acesso aos dados em virtude das deficiências quanto aos registros disponíveis da empresa contactada, as análise concentraram foco no projeto informacional do sistema de manutenção.

A partir das conclusões desta fase, pode-se identificar quais informações são mais importantes para caracterizar o desempenho de manutenção condizente com as expectativas gerais da empresa, e que servirá de base à formação do banco de dados da empresa.

Portanto, este estudo de caso concentra-se apenas à execução do projeto informacional.

8.1 Projeto informacional

8.1.1 Estudo preparatório, determinação dos usuários e identificação das suas necessidades

Seguindo os passos descritos no projeto informacional, primeiramente foi realizado um estudo preparatório. Em seguida, foram identificados os usuários do sistema de manutenção. Este são:

- ✓ Os usuários diretos do sistema de manutenção da frota são: diretores da empresa, gerente de manutenção, mecânicos, almoxarifes, motoristas, encarregados da operação, encarregados da manutenção;
- ✓ Os usuários indiretos do sistema de manutenção são: passageiros, vizinhos da garagem, meio ambiente, prefeitura.

A etapa seguinte é a identificação das necessidades de cada usuário identificado na etapa anterior. Para tal foram utilizados como ferramentas: questionários (gerente de manutenção e passageiros); posicionamento (diretor de operações, mecânicos, almoxarifes, motoristas, encarregados da operação, encarregados da manutenção, vizinhos da garagem, meio ambiente e prefeitura) e observações. As tabelas 5.1 e 5.3 serviram de orientação para formular os

questionamentos, posicionamentos e observações. Os questionários empregados estão expostos no Anexo II. Deve-se observar, que o questionário direcionado para o diretor de operações embora conste no Anexo II não foi aplicado.

O resultado destas três tarefas iniciais da análise do sistema de manutenção está descrito abaixo.

8.1.1.1 Características do ramo de atividade

- a) Características do mercado no qual a empresa está inserida:
 - ✓ O sistema de transporte de Florianópolis é composto de 06 empresas, que servem a cerca de 350.000 habitantes;
 - ✓ O ramo é bastante frágil quanto a decisões políticas, que podem, de um momento para outro, dificultar ou mesmo inviabilizar a operação de uma empresa;
 - ✓ Por outro lado, as pressões políticas fortalecem a comunidade em relação às exigências de qualidade, que as exerce através do legislativo e executivo municipal;
 - ✓ A população possui boa instrução, possuindo consciência da função pública desempenhada pelos ônibus. Consequentemente exige um considerável nível de qualidade na prestação dos serviços;
 - ✓ As empresas remuneram-se unicamente através da cobrança de tarifa aos usuários;
 - ✓ A composição do valor da tarifa é realizada através de uma planilha de custos. Nesta, os custos operacionais são compilados e relacionados com a expectativa média de passageiros transportados – passagens pagas. Nos custos operacionais estão relacionados também os custos relativos à manutenção onde alguns índices de manutenção possuem atenção destacada como: custo de pneus, combustível e peças e acessórios.
 - ✓ Se a tarifa não estiver bem estipulada, inviabiliza a operação das empresas;
 - ✓ Em termos nacionais, a estabilização econômica verificada nos últimos anos dificultou o reajuste de tarifas, fator muito utilizado pelas empresas para promover o equilíbrio entre receitas e despesas e, assim, manterem seus níveis de lucratividade. Além disso, as exigências das comunidades têm迫使 as empresas a manterem níveis de qualidade nos serviços com tarifas, relativas, menores. Assim, para manter a empresa competitiva, o empresariado tem mudado o foco, preocupando-se mais com a competência técnica em realizar sua tarefa – transportar passageiros – a custos operacionais cada vez menores e com níveis de qualidade, pelo menos, estáveis.

- b) Como a economia pode afetar os objetivos da empresa: a economia local afeta o sistema de transporte na medida que, estando menos aquecida, menos pessoas circulam no comércio e consequentemente menos pessoas andam de ônibus. Como a remuneração da empresa baseia-se na média de passagens pagas, se a empresa transportar menos passageiros que a média prevista, terá prejuízo. Contudo, as variações provocadas pela economia até o momento, não caracterizaram significativa influência no faturamento da empresa.
- c) Grau de inferência de organismos públicos:
- ✓ a atividade do transporte coletivo urbano é gerida através de concessões do poder executivo municipal a empresas particulares. As concessões são materializadas através de ordens de serviços autorizando a operação dos veículos em horários determinados – programação das viagens;
 - ✓ o nível de qualidade na prestação do serviço é estabelecidos diretamente pela prefeitura, através de fiscalização contínua;
- d) Dependência da empresa em relação a outras empresas: o ramo de atividade da empresa não condiciona seu desempenho ao desempenho de outra empresa, apenas às restrições e normas do organismo público responsável.
- e) Legislações e normas que se relacionam com a manutenção: o CONTRAN (1997), as regulamentações da concessão da prefeitura e as regulamentações ambientais da cidade. Uma das exigências do órgão municipal é quanto ao estado técnico-visual dos veículos. Tal questão é exercida através de inspeções periódicas sobre os veículos. Deve-se observar que a freqüência das inspeções aumenta com o envelhecimento do veículo.
- f) Como a manutenção pode afetar o meio ambiente: as principais consequências ambientais da operação são a emissão de gases e fuligem, resultante da queima do combustível, e o ruído. Outro item que relaciona manutenção ao meio ambiente é o tratamento das águas da garagem – separação do óleo resultante da lavagem de peças, trocas de óleos, vazamentos e abastecimento – e a exigência de revegetação da garagem. O órgão estadual responsável (FATMA) faz um intensivo trabalho de fiscalização, com exceção ao controle da emissão de ruído.
- Observa-se a ausência, até o momento, de reclamações de vizinhos à garagem.
- g) Normas restritivas ambientais: as normas restritivas são impostas pela FATMA e dizem respeito à emissão de gases, controle das águas da garagem e revegetação.
- h) Efeitos, devido à deficiência de manutenção, percebidos pelos clientes da empresa:

- ✓ Acidentes que podem provocar danos materiais, físicos ou mesmo fatais. Embora acidentes com vítimas fatais no interior dos ônibus sejam raros, existe uma grande preocupação com este fato;
 - ✓ Pontualidade do transporte: falhas acarretam atrasos operacionais que são, na grande maioria das vezes, impossíveis de serem evitados;
 - ✓ Limpeza interna, que suja as roupas e objetos pessoais dos passageiros;
 - ✓ Excesso de ruído no interior da cabine provocado por mau isolamento do motor, vidros sem a devida fixação, bancos e balaustrades folgados, que irrita e provoca danos à saúde;
 - ✓ Farpas e parafusos expostos que provocam danos físicos e materiais aos passageiros;
- i) Importância da atividade da frota: principal;
 - j) Importância do produto ou serviço fornecido à comunidade: é de caráter essencial. A falta de pontualidade pode provocar sérias consequências aos usuários como, atrasos no trabalho ou outros compromissos. A não operação do sistema afeta totalmente a vida e a economia local. Um mau funcionamento do sistema de transporte afeta também a gestão política da cidade.
 - k) Competitividade da concorrência: a distribuição das linhas não favorece a competição entre as empresas; cada empresa detém monopólio na exploração de determinadas linhas que servem a determinados bairros da cidade. No caso da empresa pesquisada, esta opera em 19 linhas que servem a uma determinada região da cidade de Florianópolis não servida por outra empresa.

8.1.1.2 Características da organização

A empresa está em fase de estruturação pois sofreu recente fusão e mudança acionária – cerca de 18 meses. Nesta estruturação, uma nova garagem está sendo construída ao mesmo tempo que está sendo promovida a renovação da frota. Tem por meta ser uma empresa de referência para a cidade de Florianópolis, Santa Catarina e posteriormente do Brasil.

Administrativamente é organizada em 04 departamentos principais:

- ✓ Manutenção: responsável pela manutenção da frota e instalações prediais além do gerenciamento dos recursos humanos da manutenção (treinamento, seleção para contratação e política motivacional), informática relativa à manutenção, abastecimento, armazenamento e compra de combustível, controle de pessoal da manutenção, gestão ambiental, limpeza da garagem e dos veículos, administração de materiais (suprimento e almoxarifado), equipes de

emergência, emissão de laudos técnicos, pequenos projetos sobre veículos e equipamentos das instalações prediais;

- ✓ Operação: responsável pela organização e gerenciamento das rotinas operacionais da frota associadas à programação das ordens de serviços e às diretrizes gerenciais da empresa e diretrizes normativas da prefeitura;
- ✓ Administração/financeiro: responsável pelas diretrizes gerenciais e administração financeira da empresa. Informática gerida através de um consultor e um digitador;
- ✓ Departamento de pessoal: administração de pessoal (contratação de funcionários, jurídico, folha de pagamento, departamento médico e outras atividades correlatas).

Como pontos importantes observa-se:

- a) A não existência de um sistema computacional que integre todos os setores da empresa. O controle de dados é realizada através de PC's independentes e com o uso tanto de *softwares* dedicados como de *softwares* de uso geral (planilhas eletrônicas, editores de texto,...). Estes são aplicados ao gerenciamento de cada setor ou tarefa isolada como, folha de pagamento, controle de combustível, controle de pneus, almoxarifado, contas a pagar, fluxo de caixa dentre outros;
- b) pessoal de manutenção com importante comprometimento com os objetivos da empresa, embora haja uma dificuldade, inicial, na implantação de “novidades” principalmente em relação aos funcionários antigos. Em termos gerais há unidade, sem grupos ou tendências políticas no departamento de manutenção;
- c) A gerência de manutenção é exercida por engenheiro mecânico – recém formado – cuja experiência vem sendo adquirida junto ao cotidiano da empresa;
- d) A diretoria é composta pelo diretor de operações e o diretor administrativo financeiro que não interferem na manutenção. O gerente tem por orientação comunicar os passos dados na manutenção em casos críticos. Desta forma, verifica-se um único fluxo de comando, não existindo duplicidade no fluxo de decisão das ações de manutenção.
- e) Controles, procedimentos e fluxos de informações da manutenção são atualmente caracterizados pela informalidade. Atualmente, os dados estão sendo compilados em formulários e planilhas eletrônicas, de forma que percebe-se a carência de um sistema computacional dedicado que organize e compile os dados de desempenho da manutenção. Esforços neste sentido têm sido empregados;
- f) Perfil de gastos com manutenção:

- ✓ O perfil de custo diretos com manutenção é: 50% óleo diesel, cerca de 35% em peças e acessórios; 7% em pneus; 5% com MDO e 3% com outros;
 - ✓ em relação aos custos indiretos como, renovação de frota, indenizações de acidentes de trânsito e multas, não são computados. Tal fato é justificado sobre uma expectativa de baixos custos indiretos;
 - ✓ não há dados que totalizem os custos diretos e indiretos;
 - ✓ o custo operacional total não foi fornecido, portanto não se pode estimar a parcela relativa dos custos de manutenção sobre este;
 - ✓ não há meta orçamentária para manutenção;
 - ✓ não há previsão orçamentárias para estruturar o sistema de manutenção;
- g) Requisitos de qualificação e habilidade profissionais:
- ✓ a manutenção da frota requer funcionários com qualificações diversificadas: de serventes, ajudantes a mecânicos experientes e supervisores;
 - ✓ como política de recursos humanos não há maiores procedimentos de contratação, políticas de formação e treinamento, plano de carreira, incentivos ou planos de desempenho. Tal fato até mesmo é devido ao estágio de estruturação da empresa;
 - ✓ desejo de padronização na execução dos serviços.

8.1.1.3 Características dos veículos

- a) Os modelos de carroceria e chassis da frota estão expostos nas Tabelas 8-1 e 8-2.

Tabela 8-1: Modelos de carroceria da frota

CARROCERIA	QUANTIDADE	%
Marcopolo TORINO	23	25%
Bussar URBANUS	57	60%
Marcopolo SENIOR	10	10%
Neobus MEGA	5	5%
TOTAL	95	

- b) Complexidade dos veículos: as especialidades envolvidas na manutenção dos veículos são: eletricista automotivo, mecânico diesel, mecânico de motores, borracheiro, mecânicos de feixe de molas, montador de caixa de marcha e diferencial, ajustador de bomba e bicos injetores e motores diesel, reparador de válvulas de ar, funileiros, pintores automotivos, laminadores. Os mecanismos, em termos gerais, não envolvem grande precisão (à exceção dos componentes motor, caixa de marcha, diferencial e caixa de direção). Os conhecimentos necessários resumem-se a noções gerais de metrologia e mecânica diesel. Nos veículos há

pouco ou nenhum controle eletrônicos que exija maior capacitação do eletricista. Contudo deve ser observado que é a área técnica que mais tem sofrido avanços.

Tabela 8-2: Modelos de chassis da frota

CHASSIS	QUANTIDADE	%	
VW-8.140 CO	10	11%	43%
VW-16.180	11	12%	
VW 16.210	20	21%	
FORD B 1618	6	6%	16%
SCANIA F-113 HL	7	7%	
MATRA CMO 1618	2	2%	
MB OF-1315	22	23%	41%
MB OF-1318	11	12%	
MB OF-1115	55	5%	
MB OF-1114	1	1%	
TOTAL	95		

- c) Níveis de manutenção necessários para realizar a manutenção dos veículos:
 - ✓ 1º nível: organizacional: serviços de campo – corretivas originadas a partir de ordens de serviços dos motoristas ou de inspeções diárias realizadas quando do recolhimento dos veículos à garagem, limpeza interna e lavagem externa;
 - ✓ 2º nível: preventiva: serviços de preventivas e preditiva como: troca de óleos e lubrificação; substituição de componentes baseado na quilometragem de operação ou no moniramento da condição; regulagens; reapertos; retoques de pintura e funilaria;
 - ✓ 3º nível: intermediário: reparo e montagem dos componentes substituídos nos níveis anteriores: motor; bomba e bicos injetores; tornearia; borracharia; componentes elétricos (arranques, alternadores,...); feixes de mola; tacógrafos; reguladores de freios; válvulas pneumáticas;
 - ✓ 4º nível: autorizadas / fabricante: reparo de componentes que exijam grandes volumes de recursos ou de alta responsabilidade como: caixa de direção e bomba hidráulica; turbinas; retífica de cabeçote e motores; retífica de peças em geral; reforma de veículos; recauchutagem; platô e disco de embreagem.
- d) Expectativa de carga de trabalho de manutenção: a expectativa de carga de trabalho é de 400 ordens de serviço, em média, por dia com picos de 500;
- e) Efeitos da falta de manutenção organizada sobre os veículos:
 - ✓ Um veículo possui diversos modos de falhas que o podem retirá-lo de uma condição operacional segura. Assim a falta de uma manutenção organizada origina a ocorrência

frequente de falhas diversas, reduzindo consideravelmente a confiabilidade e a disponibilidade operacional da frota;

- ✓ A interrupção na operação não provoca perda significativa de receita por passageiros transportados pois, devido à exclusividade na exploração das linhas e, mais que isto, na exploração de determinados bairros, o passageiro não possui outra alternativa em pegar um ônibus de outra empresa. Tem que esperar outro ônibus da mesma empresa vir e substituir o veículo quebrado;
 - ✓ A quebra do veículo em operação afeta a produtividade operacional da empresa através do custo de manutenção pois requer o deslocamento de equipes de manutenção até o local da quebra gerando consumo de recursos de transporte e baixa taxa de utilização da mão de obra gerando a necessidade de mais pessoas no quadro da manutenção;
 - ✓ Afeta o estado de espírito dos empregados, índice que é difícil de medir, mas bem percebido pois, quando a frota está operando perfeitamente, as pessoas podem trabalhar as horas normais e dedicar tempo para projeto de longo prazo. Mas, se a frota é problemática, o moral tanto dos motoristas como dos mantenedores, gerentes e diretores, pode ficar comprometido, prevalecendo um sentimento de crise que reduz o tempo de planejamento – “apagar o fogo”;
 - ✓ Falhas afetam a segurança humana, dos veículos, instalações e do meio ambiente, principalmente através do excesso de emissão de gases e ruído. Este fator inclusive, pode tonar insalubre o local onde são realizadas as tarefas de manutenção.
- f) A verificação da condição do veículo é informal e registrado pelo motorista quando do início da operação;

8.1.1.4 Características operacionais dos veículos

A composição e distribuição da frota está evidenciada na Tabela 8-3. Sobre ela foram analisados os itens a seguir.

- a) Missão dos veículos: cumprir as viagens programadas do dia com pontualidade. Neste sentido, uma falha, geralmente ocasiona atrasos;
- b) Distribuição dos veículos e pessoal de operação e manutenção;
- ✓ O pessoal de manutenção fica concentrado na garagem. Não há equipes fixadas em outras localidades. Apenas deslocamentos de socorro.
- ✓ A operação da frota se concentra em uma região da cidade de Florianópolis;

Tabela 8-3: Composição da frota

Sub-frotas	Fabricante/modelo	Quantidade	Demanda exigida	Disponibilidade requerida
Convencional	Executivo	Volks 8.140	10	08
		VW-16.180	11	
		VW 16.210	20	
		FORD B 1618	06	
		SCANIA F-113 HL	07	
		MATRA CMO 1618	02	
		MB OF-1315	22	
		MB OF-1318	11	
		MB OF-1115	5	
		MB OF-1114	01	
		Sub total	85	75
		Total de ônibus	95	88,24%

- ✓ Todas as linhas convergem para um único terminal de centro, fator que ajuda à substituição de veículos em falha: durante o dia os veículos escalados para operação ficam à disposição no terminal de centro, juntamente com alguns reservas. No caso de falha de algum ônibus, este é, de imediato, substituído por um reserva. O veículo é então deslocado até a garagem para reparos. Assim reduz-se a probabilidade de não cumprimento de alguma viagem programada.
- c) Há necessidade de estrutura de transporte para fluxo de equipamentos e equipes principalmente para socorros mecânicos no local de operação e compra de materiais;
- d) Para trechos asfaltados e urbanos, os fabricantes classificam a severidade como média. Contudo em quase todas as linhas há trechos de pista sem calçamento que geram pontos de maior severidade. Em termos gerais os veículos não são exigidos ao excesso de peso;
- e) Observando a disponibilidade requerida pela operação ao longo de um dia normal, verifica-se que o melhor momento para realizar a manutenção é no turno noturno, após o recolhimento dos veículos à garagem. Contudo à tarde, há um momento entre os picos de operação (entre 14:00h e 15:00h) que viabiliza o planejamento de algumas tarefas de rápida execução.
- f) Não há qualquer índice estipulado pela prefeitura que avalie o desempenho operacional de cada empresa do sistema de Florianópolis. Para caracterizar determinados desempenhos operacionais da frota, podem ser utilizados como índices específicos:
- ✓ Porcentagem de viagens realizadas no horário em relação ao total programado num mês;
- ✓ Número de reclamações por passageiros transportado;

- ✓ Número de multas relacionadas ao plano de inspeções técnico visuais por veículo;
 - ✓ Custo total (direto mais indiretos) por quilômetro percorrido pela frota;
 - ✓ Disponibilidade operacional (Ao);
 - ✓ Taxa de falhas em operação de toda a frota;
 - ✓ Metas orçamentárias
 - ✓ Consumo de óleo diesel por quilômetro percorrido;
 - ✓ Atrasos e substituições de programação.
- g) Segundo restrição da prefeitura, um veículo não articulado pode operar por até 10 anos e os articulados até 15 anos. Não há exigência quanto idade média da frota;
- h) A empresa não dispõe de dados de tempo médio de atendimento de emergência a falhas em operação. Contudo ficou destacada uma das localidades como crítica ao atendimento devido, principalmente, à distância da garagem (cerca de 01 hora para restabelecimento dos veículos à operação);

8.1.2 Necessidades identificadas – síntese das três primeiras etapas

Por conclusão do estudo preparatório e das análises e pesquisas junto aos usuários do sistema de manutenção, foram identificadas como necessidades por manutenção da frota:

1. agradar a comunidade da região em que serve em relação ao serviço prestado;
2. harmonia entre manutenção e operação (harmonia nas tarefas de manutenção);
3. transportar mais passageiros;
4. reduzir os custos operacionais;
5. melhorar a competência operacional;
6. satisfazer o órgão de gestão de transporte da prefeitura cumprindo as diretrizes operacionais estipuladas (minimizar ou mesmo não receber multas ou advertências da prefeitura);
7. adequar-se às normas do CONTRAN – não receber multas de trânsito devido a falhas de manutenção;
8. respeitar as normas e leis ambientais relacionadas ao transporte público de passageiros (emitir menos gases poluentes e ruídos, não poluir os córregos, lençol freático próximos à empresa e não despejar óleos nos esgotos);
9. manter os veículos de acordo com as exigências das inspeções técnico-visuais da prefeitura;
10. minimizar ou mesmo não receber multas ambientais;
11. preservar a condição de segurança da operação dos veículos;
12. pontualidade;

13. veículos limpos interna e externamente;
14. preservar a integridade física e material dos passageiros no interior do veículo;
15. preservar o patrimônio predial da empresa;
16. manter a empresa limpa;
17. abastecer todos os veículos todos os dias;
18. manter controle sobre o pessoal da manutenção;
19. controlar a administração dos materiais da empresa;
20. manter o pessoal da manutenção atualizado, motivado e unido;
21. gerar e gerenciar as informações, dados de desempenho da operação e manutenção dos veículos que embasem todos os processos de decisão da manutenção. Sistematizar os procedimentos e fluxos de informação;
22. manter uma equipe de emergência de prontidão para atendimento rápido aos veículos em falha durante a operação ou acidentados;
23. restabelecimento a operação, o mais rápido possível, dos veículos em falhas;
24. fornecer perfil de desempenho de manutenção para diretoria e acionistas;
25. controlar desempenho de consumo de recursos de manutenção previstos na planilha de composição de tarifa como: óleo diesel, pneus, recursos humanos, peças e acessórios e outros;
26. gastar menos que o estipulado na planilha de composição de tarifa;
27. monitorar os custos diretos e indiretos de manutenção;
28. preservar a segurança dos funcionários (acidentes de trabalho);
29. reduzir ou eliminar a insalubridade do ambiente de trabalho de manutenção (baixo ruído nas tarefas de manutenção, temperatura agradável, contenção de partículas e gases, iluminação das instalações de manutenção...);
30. estimar metas orçamentária para manutenção;
31. gerenciar recursos humanos de manutenção (contratação, treinamento, política motivacional, plano de carreira...);
32. estruturar uma manutenção que proporcione melhor equilíbrio entre investimento, desempenho operacional e retorno de investimento;
33. avaliar quais modelos de chassis e carroceria melhor se aplicam às suas exigências operacionais – melhores características de mantinabilidade para a condição operacional de Florianópolis;

34. reduzir a quantidade de manutenções corretivas planejadas através de ordens de serviços emitidas por motoristas;
35. reduzir ou eliminar as corretivas de emergência (evitar substituições e atrasos na saída dos veículos e falhas em operação);
36. promover um procedimento para validar a condição dos veículos quando da saída;
37. cumprir programação de viagens da prefeitura;
38. atender mais eficientemente os veículos em falha nas localidade identificada como críticas ao atendimento de emergência;
39. evitar a falta de peças sobressalentes;
40. reduzir o tempo de atendimento de emergência;
41. confiabilidade dos dados observados coletados;
42. estocar poucos sobressalentes e materiais de consumo;
43. promover a economia de energia, água e materiais de consumo;
44. fácil operação do veículos (embreagem leve, direção não muito pesada; pouco calor e ruído transmitido para motorista pelo motor e freios eficientes);
45. manter os veículos com custo operacional vantajoso para o período de vida estipulado pela prefeitura (10 anos não-articulados e 15 anos articulados);

8.1.3 Conversão das necessidades em requisitos de usuários

A Tabela 8-4 apresenta as necessidades convertidas em requisitos de usuário ao tempo classifica-os em estratégicos da organização e operacionais.

Tabela 8-4: Requisitos dos usuários para o Sistemas de Manutenção

Requisitos Operacionais	Requisitos Estratégicos da Organização
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cumprir programação de viagens ✓ Pontualidade ✓ Evitar multas de trânsito por deficiência de manutenção ✓ Manter motores e sistema de injeção regulados ✓ Preservar limpeza interna dos veículos ✓ Preservar imagem externa dos veículos ✓ Segurança ✓ Evitar manutenções de emergência ✓ Socorro instantâneo a falhas em operação ✓ Consumir poucos recursos de manutenção ✓ Emitir menos ruído possível ✓ Embreagem leve ✓ Direção regulada ✓ Freio eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reduzir custos operacionais ✓ Transportar mais passageiros por quilometro ✓ Gastar menos do que o previsto na planilha tarifária ✓ Gerar relatórios de desempenho confiáveis para diretores, gerentes, supervisores; ✓ Preservar limpeza interna da empresa ✓ Produtividade de MDO ✓ Ambiente de trabalho motivado e harmonioso ✓ Estoques mínimos ✓ Evitar falta de peças quando da requisição ✓ Evitar multas ambientais ✓ Preservar meio ambiente ✓ Controlar custos de manutenção ✓ Prevenir doenças ocupacionais e acidentes de trabalho ✓ Manutenção como vantagem competitiva

Tabela 8-4: Requisitos dos usuários para o Sistemas de Manutenção

Requisitos Operacionais	Requisitos Estratégicos da Organização
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conforto do motorista ✓ Conforto do cobrador ✓ Reduzir tempo de veículos em manutenção 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Promover integração entre departamentos ✓ Garantir lucratividades de cada veículos por toda sua vida útil ✓ Reduzir insalubridade na garagem (ruídos, poeiras, gases, calor, frio, stress,...)

8.1.4 Listar requisitos de manutenção

Como exposto no capítulo 05, os requisitos de manutenção de um sistema de manutenção são compostos pelas medidas de mantinabilidade dos veículos que sofrerão manutenção. Estes são os parâmetros técnicos de desempenho operacional/manutenção dos veículos e do suporte logístico associado que caracterizam o desempenho do sistema de manutenção na busca da satisfação dos requisitos dos usuários (seção 5.1.5).

8.1.5 Relação entre requisitos de usuários e requisitos de manutenção

Para parametrizar quais requisitos de manutenção são mais importantes em satisfazer as necessidades por manutenção da frota, foi utilizado o QFD. A “casa da qualidade”, com os relacionamentos entre requisitos de usuários e de manutenção (O quês x comois - matriz) e entre requisitos de manutenção (comois x comois – telhado da matriz), está exposta na Figura 8-1.

O ordenamento resultante do QFD está exposto na Tabela 8-5.

Tabela 8-5: Síntese dos requisitos do sistema de manutenção da frota

POSIÇÃO	REQUISITO	PONTUAÇÃO
1º	(-) custo direto de manutenção	9077,14
2º	(+) confiabilidade da frota	8071,38
3º	(+) disponibilidade da frota	7968,12
4º	(+) eficácia da manutenção	7643,49
5º	(-) utilização de MDO	7443,97
6º	(-) custo indireto de manutenção	6057,18
7º	(-) freqüência de manutenção	5794,03
8º	(+) dependabilidade da frota	5758,76
9º	(-) tempos de manutenção	4928,89
10º	(+) considerações humanas	4889,82
11º	(-) suporte logístico	4263,97
12º	(-) fatores econômicos	1112,06

Observa-se que o fator mais relevante para satisfazer as necessidades organizacionais é a redução dos custos de manutenção. Porém deve manter um importante equilíbrio com a eficiência operacional da frota (confiabilidade e disponibilidade). Este equilíbrio pode ser

entendido como o fator de eficácia representativo da manutenção e os fatores relacionados à utilização de MDO como fundamentais para o sucesso deste equilíbrio.

Entretanto, como a redução dos custos ficou bem destacado como o fator mais relevante, toda tomada de decisão que o afete deve ser muito bem ponderada frente aos reais ganhos que podem gerar através de desempenho técnico e de segurança.

8.1.6 Elaboração das especificações

A lista de especificações será formada pelos requisitos de manutenção que se revelaram, na matriz do QFD, como relevantes para a satisfação das necessidades. Para descrever totalmente a especificações faltam ainda definir os índices de desempenho, as metas a serem alcançadas para satisfação dos requisitos e o período de análise das metas. A Tabela 8-6 conclui as especificações em relação aos requisitos mais relevantes.

Tabela 8-6: Especificações do Sistemas de Manutenção					
Importância	Requisito	OBJETIVO	Índice de avaliação	META	Período
1	Custo direto manutenção	-	Custo por quilômetro (\$/km)	0,223851438	s ⁱ
2	Confiabilidade	+	Taxa de falha (λ) ⁱⁱ	0,769230e-6	s
3	Disponibilidade	+	Disponibilidade operacional (Ao)	80% - execut. 88,24% - conv.	s
4	Eficácia da manutenção	+	Confiabilidade média dos veículos por custo total de manutenção para 5000km de operação desde a última preventiva (C ₅₀₀₀)	95%	s
5	Utilização de MDO	-	Produtividade de MDO (taxa de utilização das horas contratadas para execução das tarefas de manutenção)	80%	s

As metas entretanto, à exceção da disponibilidade da frota, não puderam ser estimadas com exatidão pela falta de dados disponibilizados que viabilizassem as análises. Para estimá-las, para cada uma das metas algumas sugestões ficam aqui registradas:

- ✓ Custo direto de manutenção: consideração do valor estipulado na planilha tarifária; uso de dados passados da própria empresa; e/ou utilização de dados de empresas similares.
- ✓ Confiabilidade: uso de dados passados da própria empresa ponderando uma confiabilidade vantajosa a um custo de manutenção também vantajoso; e/ou utilização de dados de empresas similares.

ⁱ s => semestre

ⁱⁱ A taxa de falha deve ser estimada pelo total de falhas que geram manutenções de emergência por quilômetros totais percorridos por toda a frota.

- ✓ Eficácia da manutenção: dividir a quantidade de horas utilizadas para realização de todas as ordens de serviços pela quantidade de horas contratadas num período. Utilizar estimativas da empresa através de estudos amostrais ou de empresas similares.

Para complementar as especificações é importante registrar:

- ✓ Funções principais: manutenção dos veículos e da estrutura necessária para mantê-los; o abastecimento diário da totalidade dos veículos que irão operar.
- ✓ Funções secundárias sob responsabilidade da manutenção: o tratamento de efluentes para evitar o escoamento de óleo para a rede de esgoto da cidade; a manutenção predial e o acompanhamento de obras e projeto de engenharia civil, mecânica ou elétrica devido a não necessidade de um departamento exclusivo para tal; a compra de materiais relacionados à manutenção, a administração dos materiais e a administração de pessoal e recursos humanos de acordo com as diretrizes gerais da empresa - cada departamento gerencia seus recursos.
- ✓ O objetivo principal da empresa, pelo que foi constatado durante o processo de elaboração das especificações é: manter uma confiabilidade da frota de forma que não comprometa a lucratividade da empresa.

8.2 Considerações finais

Neste capítulo foi realizado uma aplicação da metodologia numa empresa de ônibus urbano de passageiros. Tal aplicação, entretanto, ficou comprometida pois, além da prioridade de elaboração da metodologia, dentre as empresas consultadas, apenas uma teve interesse de disponibilizar uns poucos dados para análise. Estes fatos associados ao pouco tempo disponíveis restringiram o estudo de caso à fase **informacional**. Mesmo assim, pode-se considerar o tratamento das informações de necessidades e estabelecimento dos requisitos para a especificação, como completo dentro do que esta estabelecido dentro da proposição da metodologia para esta fase. O único ponto comprometido foi o estabelecimento das metas dos objetivos, aspecto comentado na seção 8.1.6.

Num primeiro momento foram identificadas as necessidades juntamente com os usuários do sistema de manutenção. Para compor a lista de necessidades dos usuários, foi utilizada a lista de questões expostas nas Tabelas 5.1 e 5.3. Estas questões foram compiladas a partir de uma adaptação do levantamento das necessidades de usuários para projeto de produtos e de uma síntese das justificativas que motivaram elaboração dos trabalhos técnicos das diversas referências bibliográfica consultadas nesta dissertação. Assim se o trabalho técnico abordava

questões sobre gestão de manutenção, as informações que justificaram esta discussão eram identificadas como: busca de produtividade, redução de custos, vantagem competitiva...

Em seguida estas necessidades foram traduzidas em termos mais técnicos, porém sem a obrigação de referenciar termos quantitativos – os requisitos dos usuários. Os requisitos de usuário expressam, então, tecnicamente as necessidades da empresa por manutenção (Tabela 8-4). Por outro lado, a manutenção da empresa deve apresentar um desempenho de manutenção e operação dos veículos buscando satisfazê-los – requisitos de manutenção. Os requisitos de manutenção foram expressos em termos dos fatores de mantinabilidade dos veículos.

Da associação de cada requisitos de manutenção entre si e com os requisitos de usuários (através do QFD), foram concluídos como fatores mais importantes para as necessidades particulares da empresa sob análise, em ordem de importância: custo direto de manutenção, confiabilidade da frota, disponibilidade da frota, eficácia da manutenção e utilização da MDO (Tabela 8-6).

No uso do QFD, alguns pontos são importantes destacar:

- ✓ É uma ferramenta muito sensível às respostas, do valor do consumidor (V_c), dos relacionamentos e do telhado da casa. Qualquer pequena flutuação nas conclusões de algum dos valores pode alterar substancialmente a sequência do ordenamento em importância. Assim, muito mais que respeitar cegamente o ranking formado pelo QFD, é compreender o porquê dos resultados. Desta forma é mais salutar analisar o grau de importância por zonas de pontuação: em (1º) redução de custos diretos; (2º) aumento da confiabilidade e da disponibilidade; (3º) aumento da eficácia da manutenção e redução da utilização da MDO; (4º) redução dos custos indiretos; (5º) redução da freqüência de manutenção e aumento da dependabilidade; (6º) redução dos tempos de manutenção e aumento da considerações humanas; (7º) redução do suporte logístico; e (8º) redução dos fatores econômicos. Objetivando minimizar esta sensibilidade, é indicado a aplicação do QFD em grupo, reduzindo, sobremaneira, a influência de posicionamentos particulares sobre cada cruzamento (questionamento);
- ✓ O QFD é uma ferramenta que gera uma considerável carga de trabalho e deve ser elaborado em conjunto com pessoas experientes no ramo de atividade da frota;
- ✓ É capaz de organizar e registrar todos os questionamentos feitos que motivaram relevar certos requisitos sobre outros. Assim, na aplicação do QFD, ficaram registrados os porquês dos custos diretos de manutenção serem mais relevantes que a confiabilidade da frota na empresa de transporte urbano;

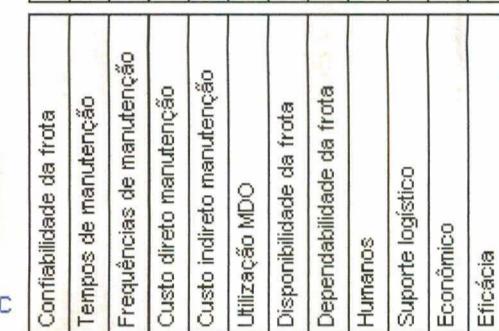
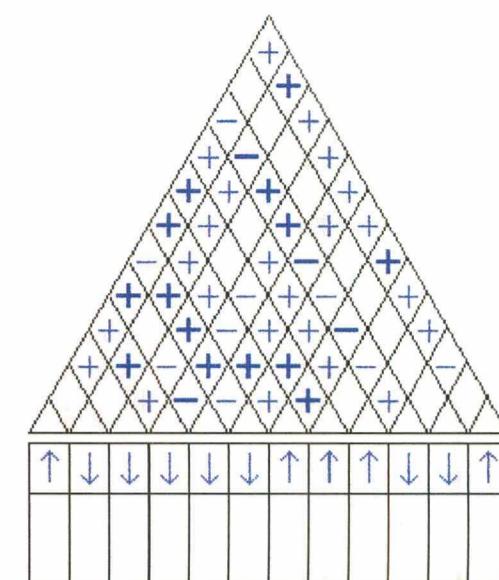
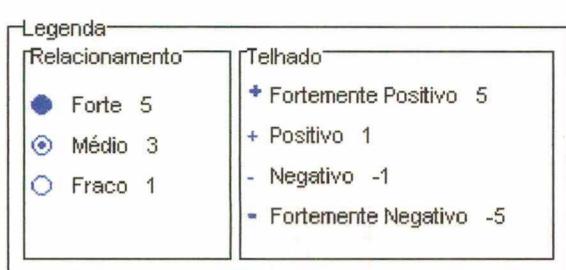
- ✓ O telhado do QFD promove uma importante análise dos pontos discordantes do projeto. Ou seja, reequilibra a importância dos requisitos considerando os pontos discordantes. É o caso do requisito de minimizar suporte logístico: este requisito foi posicionado inicialmente como o quarto mais importante. Contudo, vai de encontro com os propósitos de muitos outros requisitos importantes como requisitos humanos, disponibilidade, dependabilidade, confiabilidade, tempos de manutenção e utilização de MDO. Ao promover o relacionamento com os outros requisitos (telhado), fica evidenciado que a redução do suporte não traz tanta satisfação que contrabalance os seus efeitos colaterais, caindo assim para o 11º; outro exemplo é em relação aos custos indiretos: embora estejam classificados inicialmente como um dos mais importantes (3º), com a ponderação em relação aos outros requisitos, cai para uma zona intermediária (6º). Tal fato justifica-se pois as consequências das falhas em operação, no caso da empresa sob análise, não geram custos indiretos tão elevados. Desta forma não são tão importantes em relação à satisfação quanto a disponibilidade, dependabilidade e eficácia;
- ✓ Pela aplicação do QFD, pode-se enganosamente concluir que o fato da manutenção da frota ser eficaz (4º) não é tanto importante. Contudo, por uma análise do resultado geral do QFD, observa-se que, seguindo o custo direto, posicionado como o mais importante, imediatamente vêm dois índices de desempenho operacional da frota (confiabilidade e disponibilidade). Assim para que a manutenção proporcione importante satisfação dos desejos organizacionais, deve proporcionar um perfeito equilíbrio entre contenção de gastos e desempenho de confiabilidade e disponibilidade. Este equilíbrio pode ser encarado como a eficácia requerida à manutenção.
- ✓ Deve ficar observado que a aplicação do QFD objetivou primordialmente identificar a capacidade de utilização desta ferramenta em manutenções. Desta forma, para agilizar o processo, algumas regras básicas não foram seguidas durante a execução e devem ficar aqui bem registradas como: (1) os requisitos de usuários foram identificados pelo analista e não houve uma consulta final aos representantes da empresa; (2) o valor do consumidor (V_c) referenciado a cada requisito de usuário foi determinado mediante a experiência do analista e não houve consulta com a empresa; (3) os questionamentos – cruzamentos do telhado e da matriz - não foram promovidos através de trabalhos em grupo e assim as opiniões individuais do analista não foram amenizadas; (4) como os cruzamentos do telhado e da matriz não foram promovidos em grupo, não houve participação de representante da empresa na ponderações dos questionamentos.

Sobre os resultados da casa da qualidade e das especificações, embora os outros sete requisitos de manutenção não constem diretamente das especificações, indiretamente estão todos sendo considerados devido ao relacionamento promovido no telhado da Casa da Qualidade. Ou seja, o fato do suporte logístico não constar diretamente nas especificações, não implica que seja um fator sem qualquer importância. Implica, por sua vez, que a redução dele não traz tantas vantagens, e não deve ser base para a modelagem da estrutura da manutenção. Porém está considerado nas especificações através dos relacionamentos a influência que o suporte logístico exerce sobre o sucesso de cada requisito parametrizado nas especificações. Portanto, para satisfazer as necessidades por manutenção identificadas, é mais importante atingir as metas que buscar reduzir veementemente o suporte logístico.

Por fim, o resultado obtido nas especificações da manutenção da empresa de transporte urbano de Florianópolis reflete a política de gestão do transporte coletivo urbano, na qual a viabilidade e competitividade da empresa não estão primordialmente focadas na competência técnica em prestar o serviço, mas principalmente na capacidade da empresa de preservar as receitas financeiras advindas das passagens pagas. Isto decorre pois a satisfação do consumidor não está claramente exposta influenciando, de forma secundária, as decisões estratégicas da organização. Em contrapartida, as questões políticas se sobressaem e consequentemente requerem volumosos esforços para serem mantidas. Estes direcionamento de esforços acabam por desvirtuar o caráter técnico do transporte de passageiros.

Assim quando o resultado da casa da qualidade ordenou primeiramente os custos de manutenção, referendou a expectativa de que, a principal preocupação, é reduzir despesas. Como o poder do consumidor fica minimizado frente à organização do sistema de transporte de Florianópolis, seu grau de satisfação não provoca reflexos imediatos sobre os resultados das empresas. Assim, a competência técnica, referendada a seguir (confiabilidade e disponibilidade) refletem a gestão interna sob as quais as empresas se vêm forçadas a praticar devido à gestão pública: para sobreviverem devem proporcionar desempenho técnico contudo, primeiramente, salvaguardando os custos de operação.

00:00:00



Ques

Requisitos Operacionais	Cumprir programação de viagens	10	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Pontualidade	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Evitar multas de trânsito por deficiência de manutenção	5	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Manter motores e sistema de injeção regulados	8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Preservar limpeza interna dos veículos	5	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Preservar imagem externa dos veículos	8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Segurança	10	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Evitar manutenções de emergência	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Emitir menos ruído possível	5	<input type="radio"/>							
	Reducir tempo de veículos em manutenção	8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Socorro instantâneo a falhas em operação	5	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>				
	Consumir poucos recursos de manutenção	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Freios eficientes	10	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Embreagem leve	8	<input type="radio"/>							
	Direção regulada	10	<input type="radio"/>							
	Conforto do motorista	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Conforto do Cobrador	4	<input type="radio"/>							
Requisitos Estratégicos da Organização	Transportar mais passageiros por quilômetro	10	<input type="radio"/>							
	Gastar menos que previsto na planilha tarifária	10	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Gerar relatórios de desempenho	9	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
	Preservar limpeza interna da empresa	7	<input type="radio"/>							
	Produtividade de MDO	9	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Ambiente de trabalho motivado e harmonioso	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Estoques mínimos	8	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Evitar falta de peças	8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Evitar multas ambientais	6	<input type="radio"/>							
	Preservar meio ambiente	5	<input type="radio"/>							
	Controlar custos de manutenção	9	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Manutenção como vantagem competitiva	10	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Promover integração entre departamentos	8	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>						
	Garantir lucratividade dos veículos pela vida útil	7	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Reducir insalubridade na garagem	6	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
	Reducir custos operacionais	10	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Importância do Requisito

Importância do Requisito (com telhado)

2	8701.38	2	431
9	4928.89	11	152
7	5794.03	6	223
1	9077.14	1	541
6	6057.18	3	339
5	7443.97	6	282
3	7968.12	7	253
8	5058.76	9	185
10	4889.82	10	182
11	4263.97	4	315
12	1112.06	12	95
5	7643.49	4	289

Figura 8-1: Casa da qualidade

9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

9.1 Conclusões

A manutenção é uma atividade complexa. Em seu gerenciamento, muitas e diversificadas variantes devem ser administradas no anseio de atingir patamares de eficiência como, características físicas e psicológicas, projeto dos equipamentos, engenharia, análises e administração de recursos financeiros, características da atividade produtiva desempenhada e do ramo de negócio. Contudo a maior variante é a decisão organizacional da empresa. Sobre esta é que se fundamentam as condições iniciais propícias para encarar a atividade como fundamental para o ciclo operacional e assim sustentar um modelo de gestão proativa que direcione decisões rumo à caracterização de uma vantagem competitiva em manutenção frente à concorrência.

Sendo uma atividade com muitas variáveis, as decisões não podem ser tomadas isoladamente e nem devem limitar-se sobre o tipo de ação (corretiva ou preventiva) a empregar, qual melhor freqüência da tarefa a praticar, qual melhor técnica de preditiva e/ou melhor método para trabalhar as informações. Deve considerar a conjuntura sistêmica das estruturas humana, física, logística e lógica objetivando dimensioná-las em prol de uma pretensão de gestão de manutenção global.

Em manutenção de frota automotiva, estas variantes ficam ainda mais evidentes. Fatores como tamanho, responsabilidade da tarefa desempenhada e complexidade da frota, características de mercado e nível de concorrência variam muito de um ramo de atividade para outro, ou até mesmo entre regiões. Assim, consideráveis variações existirão entre os sistemas de manutenção de uma frota de ônibus urbano para rodoviário; de frotas de caminhões para frotas de tratores; de caminhões leves para pesados; de veículos oficiais para civis; de veículos empregados em colheitas para veículos de estrada; e assim por diante.

Neste sentido, para que a manutenção esteja de acordo com a decisão organizacional, os questionamentos devem ser muito bem conduzidos, propósito principal da metodologia apresentada.

Para elaboração da metodologia, o primeiro passo foi conhecer a metodologia de projeto de produtos objetivando adaptá-la para projeto de sistemas de manutenção. Tal fase obteve um sucesso satisfatório pois, praticamente, a mesma seqüência de fases e etapas da metodologia empregada no NeDIP para projeto de produtos mostrou-se muito bem ajustada ao projeto de sistemas de manutenção.

Em seguida, à medida que os questionamentos do processo de adaptação da metodologia de projeto progrediam, algumas dificuldades foram surgindo muito referentes à terminologia dos conceitos de manutenção, pois:

- ✓ a quase totalidade dos trabalhos sobre manutenção restringem-se apenas à modelagem das ações, tratamento dos dados e técnicas de preditiva, não sendo encontrado material técnico que apresentasse o conceito e a composição de sistemas de manutenção, descrevendo e organizando todos os elementos que o compõem como: conjunto de ferramentas, conjunto de testes, pessoas, instalações e outros (Figura 2.5);
- ✓ não foi encontrado material técnico que expusesse claramente as necessidades primordiais que justificam os investimentos em manutenção pelas organizações. Ou seja, as empresas não objetivam primordialmente confiabilidade dos equipamentos, mas sim os resultados que advêm deste desempenho como: lucro, segurança, continuidade produtiva, qualidade e outros.
- ✓ Não foi encontrado material técnico que expusesse diretamente as opções de estruturas das manutenção para embasar a formação de concepções de manutenção.

Para superar estas barreiras, duas alternativas foram usadas:

- ✓ identificação dos itens acima citados em cada referência bibliografia pesquisada, compondo assim um importante conjunto de informações que embasou o trabalho;
- ✓ a utilização dos conceitos e análises de mantinabilidade o que forçou o estudo da matéria.

Portanto, para formação de uma metodologia que conduzisse ao planejamento de um sistema de manutenção de frota, três conhecimentos tiveram que ser dominados: metodologia de projetos de produtos, manutenção e mantinabilidade.

A maior dificuldade entretanto adveio quando da implementação: a falta de interação entre Universidade e a comunidade usuária do conhecimento – as empresas de transporte coletivo. Tal fato inviabilizou a aplicação completa da metodologia tanto pela falta de tempo

disponível, a partir da finalização do escopo da metodologia e da confirmação da aplicação, quanto pela qualidade e quantidade dos dados disponibilizados. Desta forma, o estudo de caso limitou-se à fase informacional.

A aplicação parcial entretanto não inviabiliza a garantia de utilidade da metodologia e o cumprimento de seus objetivos, pois a seqüência de análises empregada efetivamente conduz a uma eficiente organização e construção do conhecimento em planejamentos e estruturações de sistemas de manutenção.

Os resultados da adaptação da metodologia de projeto (fase informacional) ao projeto informacional de sistemas de manutenção se mostraram satisfatórios. A adaptação das definições e das terminologias de projeto - necessidades, requisitos de usuários, requisitos de projeto e especificações, aplicadas na seqüência de análises proposta (Figuras 4.2 e 5.1), mostraram-se adequadas.

De todas as adaptações, a definição de requisitos de projeto para sistemas de engenharia foi a que mereceu maior atenção, pois deveriam refletir tendências técnicas relativas à manutenção, assunto não muito bem exposto nas diversas bibliografias consultadas. Neste caso, a solução de considerar os fatores de mantinabilidade como as orientações técnicas do sistema de manutenção, mostrou-se, através da aplicação, ser uma opção satisfatória.

Tal opção, orientou adequadamente os resultados, pois agrupou diversas possíveis variáveis específicas dentro de conceitos generalistas, direcionando para um modo de pensar global que resultou numa importante visão do que deve ser feitos para melhorar o departamento de manutenção. É o caso de consumo de combustível. Este por si só poderia ser um referencial técnico muito representativo para a manutenção de uma frota. Contudo, não expressa a noção de globalidade necessária nesta fase de desenvolvimento. Assim ao se objetivar reduzir custos diretos e estando o custo de combustível englobando neste conjunto, determina-se uma orientação técnica geral que abrange todas as variáveis específicas relacionadas a custos e assim, consumo de combustível está considerado. Da mesma forma, quando o analista pensa em reduzir os tempos de manutenção, está-se referindo, em termos gerais, às variáveis específicas que contribuem para isto, ou seja, na redução dos tempos de corretivas, preventivas, LDT, ADT e outros.

Assim a definição de requisitos de manutenção, agrupando as variáveis específicas, mostrou-se eficaz em evitar a dispersão das análises em fatores muito específicos com poucos reflexos conjunturais.

Por fim, os resultados que podem ser alcançados com a metodologia mediante a seqüência de análises empregada, podem certificar o cumprimento do objetivo principal: propor uma forma racional e sistematizada para o planejamento de sistemas de manutenção de frota automotiva que estejam integradas aos anseios globais da organização.

Este fato dá ao trabalho uma relevante importância, na medida em que estabelece uma ferramenta sistemática para a inserção do setor de manutenção no paradigma da qualidade e da produtividade.

Para uma melhor aplicação da metodologia dentro do contexto da empresa, mediante o tipo de análise empregada, verifica-se que alguns passos destacam-se como importantes (mas não fundamentais):

- ✓ definitivamente o primeiro passo para instaurar um processo de modernização da função manutenção em qualquer empresa frotista é a mudança cultural. A manutenção deve ser vista como uma função executiva e ser tratada em nível de direção. Deve ser reconhecida como parte do ciclo operacional da empresa, eliminando a atitude de “eles” e “nós” entre manutenção e operação. Neste sentido, a estabilização da economia pode proporcionar a força motivadora para essa mudança cultural, pois a conscientização do valor das “coisas” pela população tem dificultado reajustes de qualquer produto, inclusive o da tarifa, o que afeta a manutenção dos níveis de lucratividade baseado neste fator. Assim, a estabilização pode forçar o empresariado a “olhar para o interior de suas empresas” buscando soluções de lucratividade sobre sua competência técnica em realizar a função pretendida. Maior eficiência a um custo operacional menor.
- ✓ O estabelecimento de uma base de dados sólida de desempenho de manutenção e operação dos veículos possibilita um maior embasamento, fortalecendo as decisões tomadas durante a aplicação da metodologia, desde a determinação das especificações – metas e objetivos - até a seleção e escolha de cada elemento constituinte nas estruturas do sistema de manutenção. Assim, o processo de planejamento e estruturação fica mais ágil e eficiente pela redução dos prejuízos de precisão das decisões originadas pela falta de informações. Este fato pode ser contornado pelo uso de sistemas de manutenção de empresas similares. Contudo, entre os frotistas, essa troca de informações fica mais no campo teórico.

Deve-se finalmente destacar que, pelo objetivo acadêmico do trabalho em cobrir todas as análises necessárias para estruturar um sistema de manutenção e por ser uma primeira proposta nesta linha de atuação, a metodologia é factível a melhorias: as ferramentas e análises precisam

ser mais detalhadamente desenvolvidas, principalmente, em relação ao projeto conceitual, bem carente de ferramentas de apoio ao processo de decisão e formação do conhecimento.

Sobre os objetivos propostos no capítulo 1 (seção 1.7.2), conclui-se que a metodologia estruturada neste trabalho permite:

- a) promover a integração das metas e objetivos de manutenção da frota às estratégias corporativas já que norteia as decisões com base nas especificações, que são a expressão das necessidades organizacionais. Este fato pôde ser verificado no estudo de caso.
- b) Indicar quais os métodos e técnicas de manutenção que se aplicam e quais não se aplicam a uma determinada organização e sua frota na medida que se define uma concepção de manutenção como a ideal para a empresa e se identificam com os recursos necessário ao dimensionamento das estruturas baseado nela.
- c) Gerar métodos de análise das características de mantinabilidade dos veículos que refletem na política de renovação da frota, mediante a estruturação do subsistema lógico a partir das características de mantinabilidade dos veículos (seção 7.2).
- d) A capacidade de considerar os fatores envolvidos na atual situação da empresa frotista, através da metodologia aplicada no projeto informacional. Aliás, este é uma das primordiais diretrizes para se determinar os objetivos e metas que deverão ser atingidas pelo sistema de manutenção e assim nortear as decisões ao longo das fases subsequentes da metodologia, fato constatado no estudo de caso.
- e) Servir de parâmetro para iniciar as discussões sobre uma metodologia visando o projeto para a mantinabilidade de produtos industriais, pois, durante as discussões, foram apresentados todos as análises relacionadas à mantinabilidade dos sistemas de engenharia e, principalmente, em relação às preocupações, objetivos, em fim, o estado da arte da função manutenção.

Entretanto, dois objetivos destacados não podem ser completamente confirmados, pois:

- a) Não há garantia da rapidez no planejamento e estruturação de sistemas de manutenção, fato decorrente da execução parcial do estudo de caso. Contudo pode-se assegurar a profundidade das análises principalmente por que a manutenção foi tratada como um sistema, suscetível a análises muito mais profundas do que uma limitada modelagem de ações.
- b) A metodologia proposta não possibilita, em si, a avaliação do desempenho dos veículos quanto aos índices de mantinabilidade e confiabilidade. Contudo tem sucesso em proporcionar, de forma criteriosa, um meio para estruturar tal avaliação na medida que utiliza os

conceitos e medidas de manutenibilidade para gerar a estrutura de informações da manutenção.

9.2 Sugestões para trabalhos futuros

Baseado nos estudos e discussões realizados durante a elaboração desta metodologia, como sugestões para trabalhos futuros ficam aqui registrados:

- a) aplicação desta metodologia em planejamentos e estruturações de sistemas de manutenção em frotas diversas e de forma integral, não somente sobre o projeto informacional, como por exemplo, frotas de tratores, caminhões, ambulâncias, corpo de bombeiros, caminhões tanques de produtos perigosos, de usinas de cana de açúcar e outras;
- b) aplicação desta metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de outros ramos produtivos, tornando-a generalista;
- c) desenvolver e aplicar modelos matemáticos de previsão de desempenho operacional e de manutenção como: estimativas de intervalos ótimos de manutenções preventivas baseadas em distribuições probabilísticas (Weibull, exponencial, log-nomial,...); modelos de previsão de necessidade de sobressalentes; modelos para otimização da renovação de frota a um custo ótimo; modelos de previsão de tempo necessários para realizar determinadas tarefas ao longo da vida útil dos veículos, como previsão de tempo necessário para realização de corretivas nos próximos 12 meses de operação dos veículos.
- d) aplicação de métodos de preditiva em manutenção de frotas;
- e) TPM aplicada a manutenção de frotas;
- f) MCC aplicada a manutenção de frotas;
- g) aprofundar o uso do QFD para sistemas de manutenção;
- h) melhor desenvolvimento de ferramentas de decisão, análise e organização das informações ajustadas à metodologia proposta;
- i) desenvolvimento de um sistema especialista que promova a execução automatizada da metodologia;
- j) analisar as contribuições que programas de PSM (Gerenciamento de Segurança de Processos) e PRA (*Probability Risk Assessment*) ao planejamento e estruturação de sistemas de manutenção e ao projeto para manutenibilidade;
- k) fazer uma integração da metodologia da manutenibilidade à metodologia de projeto de produtos praticada no NeDIP;

- i) elaboração de um banco de dados de peças e componentes associados a veículos, que permita a manipulação eficiente das informações relativas à gestão da mantinabilidade, confiabilidade e disponibilidade;
- m) desenvolver softwares de gestão de manutenção de frotas utilizando os conceitos de mantinabilidade e confiabilidade;
- n) desenvolver o conceito de dependabilidade de sistemas mecânicos: definição, métodos de cálculo e aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAMAN; Associação Brasileira de Manutenção; A Situação da Manutenção no Brasil – Documento Nacional; RJ; 1997;
2. ABNT; Associação Brasileira de Normas Técnicas; NBR 5462: Confiabilidade – Terminologia. Rio de Janeiro, 1994;
3. AL-GARNI, Ahmed Z.; Comparison of aircraft tire replacement policy at Saudi aviation facility to the international standard; Journal of Quality in Maintenance Engineering; 1996;
4. AL-GARNI, Ahmed Z. / SAHIN, Ahmed Z. / AL-FARAYEDHI, Abdulghani A.; A reliability study of Fokker F-27 airplane brakes; Reliability Engineering and System Safety, Elsevier Science; 1997
5. ANG, Alfredo H-S./ TANG, Wilson, H.; Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Vol. I – Basic Principles; John Wiley & Sons, 1975;
6. BACK, N.; Metodologia de Projeto de Produtos Industriais; Guanabara DOIS, 1983;
7. BACK, N. / FORCELLINE, F.A.; Projeto de Produtos; Apostila de Aulas; UFSC/NeDIP; 1997;
8. BELL, R. / MIODUSKI, R.; Extension of Live of U.S. Army Trucks; Annual Reliability and Maintainability Symposium; IEEE; 1976;
9. BENJAMIN, J. R. / CORNELL, C. Allin; Probability, Statistic, and Decision for Civil Engineers; MacGraw- Hill Book Company; 1970;
10. BILLINTON R. / ALLAN, R.N. - Reliability Evaluation of Engineering Systems: concepts and techniques. New York: Plenum Press, 1983;
11. BLANCHARD B.S. / FABRICKY, W.J.; Systems Engineering and Analysis; Prentice-Hall, 1990;
12. BLANCHARD, B. S. / VERMA, D./ PETERSON,E. L.; Maintainability, A Key to Effective Serviceability and Maintenance Management; John Wiley & Sons; New, 1995;
13. BRUNNER, J. Franz - Fiat-Auto; Reliability Approach for Vehicle Safety Components; Quality and Reliability Engineering International, vol. 5, 1989;

14. BUENO, Francisco da S.; Dicionário Escolar do Professor, Ministérios da Educação e Cultura, 1962, Brasília.
15. CAMPOS, Fernando. C. / BELHOT, Renato V.; Um Sistema Baseado em Conhecimento para a Gerência Integrada de Manutenção de Frotas de Veículos; 199X;
16. CHIAVENATO, IDALBERTO; Teria Geral da Administração; 4^a edição, McGraw Hill; São Paulo; 1993;
17. CLOUGH, RAY W. / PENZIEN, J.; Dynamics of Structures, McGraw-Hill – Kogakusha; 1975;
18. DIAS, Acires; Metodologia para Análise da Confiabilidade em Freios Pneumáticos Automotivos; Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas/SP; 1996;
19. DINSMORE, Paul Campbell; Gerência de Programas e Projetos, Folder de Palestras, Top Eventos, 1997;
20. DOLCE, John; Analytical Fleet Maintenance Management; SAE, 2º ed.; USA; 1998;
21. EUREKA, W.E. / Ryan, N.E.; QFD, Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade; Quality Mark Editora, RJ, 1992, Tradução;
22. FERREIRA, Cristiano, V.; Estimativa de Custos de Produtos na Fase de Projeto Conceitual – Uma Metodologia para Seleção da Estrutura Funcional e da Alternativa de Solução; Dissertação de mestrado, UFSC, 1997;
23. FERREIRA, Marcelo Gitirana G.; Utilização de Modelos para a Representação de Produtos no Projeto Conceitual, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1997.
24. FINLEY, Howard F.; Presidente da Howard Finley Group, Houston, USA; Hydrocarbon Processing, Dezembro/92;
25. FLEMING, Paulo V. / FRANÇA, Sandro R.R.O.; Considerações Sobre a implementação Conjunta de TPM e MCC na Indústria de Processos; ABRAMAN; 1997;
26. FONSECA, A.J.H.; Desenvolvimento de uma sistemática para a obtenção das especificações de projeto de produtos industriais, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1996;
27. FRANÇA, Sandro R.R.O.; Aplicação Conjunta da Metodologia de TPM e MCC na Indústria de Processos; Dissertação de Mestrado; Universidade Federal da Bahia, 1999;
28. MATOS, Frederico; LUZ, Luiz Cláudio R.; VANDRESEN, M.; SOUZA, Priscila P.P.; FIALKOWSKI, Ricardo José, Trabalho apresentado na cadeira Projeto Conceitual – Mestrado Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina; 1997;

29. GERAGHTY, T.; Obtendo Efetividade do Custo de Manutenção através da Integração das Técnicas de Monitoramento de Condição, RCM e TPM; Maintenance Magazine; Inglaterra; 1996; Tradução Kleber de Toledo Siqueira;
30. GRANDEL, J. / BERG, F.A.; Technical Defects in Passenger and Commercial Vehicles - Results of Examination of Vehicles Involved in Accidents Compared with Results of Periodic, Technical Monitoring of Vehicles; DEKRA; XXIII FISITA Congress, 1990;
31. HSIEH, P.I / LU, M.W.; Reliability Estimation and Failure Prediction of Vehicles Systems and Components; Chrysler Corp., 1990;
32. HUANG, J. / MILLER, C.R./ OKOGBAA, O.G.; Optimal Preventive – Replacement Intervals for the Weibull Live Distribution: Solution & Application; Annual Reliability and Maintanability Symposium; IEEE; 1995;
33. HUBKA, V. / EDER, E.; Theory of Technical Systems, Springer Verlag, 1988
34. KELLY, Anthony; Maintenance Planning and Control; Butterworths, 1989;
35. LUPENSINO, Juan J.; Projeto de um Ônibus Urbano; Exame de Qualificação de Doutorado; Departamento de Eng. Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina; 1998;
36. MARIBONDO, J.F. / BACK, N. / FORCELLINE, F.A.; Uma Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de Unidades de Processamento de Resíduos Sólidos Domiciliares; COBEM, 1998;
37. McANDREW, I / O'SULLIVAN, J; FMEAs, A Manager's Handbook; TQM Practitioner Series; Stanley Thornes, 1994;
38. MONCHY, F., A função manutenção; Ebras/Dubran; São Paulo, 1989;
39. MOSS, Marvin A.; Design for minimal Maintenance Expense – The Practical Application of Reliability and Maintainability; Marcel Dekker, Inc.; New York, 1985;
40. MOUBRAY, John; Reliability Centered Maintenance; 2^a ed.; Industrial Press Inc.; N.Y.; 1997;
41. O'CONNOR, Patrick D.T.; Practical Reliability Engineering, 2^a ed.; John Wiley & Sons Ltd., 1985;
42. PAHL, G / BEITZ, W.; Engineering Design: A systematic Approach; Springer Verlag, 1996;
43. PRADHAN, S.; New Maintenance Methods: Are They for You?; Process Plant Reliability Conference, Amsterdam, 1996
44. PRADHAN, S (Tradução: Rafael Tram); Estratégias de Manutenção para Uma Maior Disponibilidade; Hydrocarbon Processing; Janeiro 1994;

45. QUEIROZ, Abelardo A. de; Sistemas de Manufatura e Automação Industrial; Apostila de Aula; UFSC, 1997
46. REYS, Marcos A.; Determinação de Critérios para Escolha de Metodologias de Manutenção; Dissertação de Mestrado; UNICAMP; 1995;
47. RIIS, J.O./ LUXHOJ, J.T./ THORSTEINSSON, U; A Situational Maintenance; International Journal of Quality & Reliability Manager, vol. 4, 1997;
48. SCANIA; Manuais de Serviço – ônibus; 1995;
49. SHEIKH, Anwar K.; A Statistical Method of Calculating The Spare Part Requirement; Symposium of Maintenance Planning and Operation; King Saudi University, Riyadh, março/90, pp. 204-222.
50. SINGH, C.; KANKAM, M.D.; Failure Data Analysis for Transit Vehicles; Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, 1979
51. SMITH, Anthony M.; Reliability-centered maintenance; McGraw Hill; 1993;
52. SOUSA, Adriano G. de; Estudo e Análise dos métodos de avaliação da montabilidade de produtos industriais no processo de projeto; Dissertação de mestrado, UFSC, Florianópolis, 1998.
53. SUTTON, I.S.; Fluor Daniel Inc., Houston, Texas, Hydrocarbon Processing, jan/95;

Anexo I: Sumário das técnicas de monitoramento da condição

Tipo	Método	on-line ou off-line	Comentários	Habilidade do Operador	Custo do Equipamento
Visual	Olho humano	on	Cobre um grande número de métodos anunciados. Somente inspeção de superfície.	4	5 (zero)
	Sonda ótica Sonda ótica com vídeo	off off	Pode ser usada para inspeções internas de motores aéreos, turbinas a vapor, vasos químicos, etc.	3	4
Temperatura	Termômetro (Lápis e fita térmica). Termopares	on	Principalmente temperaturas de superfície com grande escala de variação.	3	2
	Medição infravermelho	on	Uso de infravermelho para monitorar temperatura de superfície de equipamentos. Cobre uma grande faixa de temperatura mas em área limitada.	3	5
	Scanner infravermelho	on	Como acima, mas pode cobrir uma área maior. Pode formar fotos da temperatura superficial e pode ser calibrada para dar medidas quantitativas.	2	3
	Bujão magnético, filtros	on	Analise de fragmentos coletados por bujão ou filtros em um sistema de limpeza de óleo. Principalmente fragmentos de 100-1000 microns.	2	5
	Ferrografia		Instrumento para separar fragmentos ferrosos por tamanho para possibilitar exame de microscópio. Fragmentos não ferrosos também são separados. Instrumento de leitura direta também disponível. Grande faixa de tamanhos de fragmento analisado. 3-100 microns.	2	1
	Espectroscopia		Analise espectroscópica de amostras de óleo para determinar elementos presentes. Analise para pequenos fragmentos 0-10 microns. Serviço contratado geralmente disponível.	2	2 porém contrato de serviço disponível
Vibração	Sinal total	on	Monitoramento de sinal de vibração por rotatividade ou máquina oscilante como número médio. Problemas em uma freqüência poderia ser mascarado por completo.	3	4
	Análise de freqüência	on	Registro de sinais vibratórios de grandes alcances de freqüências (marca) e monitoramento. Pode indicar desbalanceamento e problemas em rolamento de rolos.	1	2
	Monitoramento de pulso elétrico (SPM) Energia de pulso elétrico e Kurtosis	on	Todas as três técnicas usam sinais de alta freqüência para monitoramento de elementos de rolamento de rolos. Considerável experiência formada no uso de métodos SPM. SPM pode também ser usado para detecção de vazamentos.	3	3
	Líquidos penetrante	on e off	Detecta o surgimento de trincas na superfície de rolamentos.	3	5
	Partículas magnéticas	on e off	Detecta trincas na/perto da superfície de materiais ferrosos.	3	5

	Resistência elétrica	on e off	Detecta trincas na superfície e pode ser usado para estimar profundidade de trincas.	3	4
	Corrente parasita	on e off	Detecta trincas próximo a superfície. Também usado para inclusão e dureza, etc.	1	3 & 4
	Ultra-som	on e off	Detecta trincas em qualquer lugar no componente. Sensibilidade direcionável, portanto geralmente procura prolongada. Usado para comprovação de outras técnicas.	1	3
	Radiografia	off	Detecta trincas em qualquer lugar do componente. Acesso por ambos os lados do componente. Risco radioativo.	1	2
Monitoramento de corrosão	Cartão de perda de peso	off	Cartões pesados quando a planta está desligada.	4	5
	Rugosímetro	on	Elementos elétricos e poteniômetros. Detecta menos que 1mm de dano de corrosão.	3	4
	Resistência de polarização	on	Somente indica corrosão. Não exato com estimativa de grau.	3	3
	Orifício indicador de pulso	on	Indica as quantidades apresentáveis de corrosão ocorrida.		

Habilidade
 1 considerável
 2 habilidade necessária
 3 alguma habilidade
 4 pouca habilidade

Custo
 1 £10000
 2 £2000-10000
 3 £500- 2000
 4 £50- 500
 5 £50

Anexo II: Questionário aos usuários de um sistema de manutenção de frota de ônibus coletivo urbano

Tabela A: Questionário para Diretor de Operações

Características do ramo de atividade

1. Caracterize o mercado no qual a empresa está inserida?
2. Como a economia pode afetar os objetivos da empresa?
3. Qual o grau de interferência de organismos e gestões públicas? Como pode o sistema de manutenção auxiliar neste ponto?
4. Qual a dependência da empresas em relação a outras empresas?
5. Como o meio ambiente pode ser afetado pela manutenção?
6. Quais legislações, inclusive ambientais, que relacionam-se com a manutenção?
7. Quais os efeitos da deficiência de manutenção são percebidos pelos passageiros?
8. Caracterize a competitividade da concorrência?
9. Como a manutenção pode ajudar a empresa a aumentar sua participação no mercado?

Características da empresa

10. Qual o nível de preocupação com a satisfação dos clientes?
11. Quais as funções principais da manutenção?
12. Quais as funções secundárias da manutenção?
13. Faturamento médio mensal?
14. Perfil de gastos com manutenção?
15. Quais as qualificações profissionais exigidas na atividade de manutenção? (formação, habilidades, política de RH,...)
16. Que fatores culturais podem influenciar o desempenho da manutenção? (nível de exigências da comunidade, informalidades nos fluxos de decisão e comando...)
17. Como a motivação e comprometimento dos funcionários afeta a manutenção? Como se estabelece atualmente?
18. Qual a integração entre departamentos da empresa?
19. Organograma hierárquico da empresa?
20. Qualificação das lideranças formais?
21. Quais as lideranças informais da empresa?
22. Qual a posição que a empresa pretende ocupar entre as concorrentes? Pode a manutenção ajudar?
23. Quais as metas e planos globais da empresa?
24. Existe previsão orçamentária para gerir a manutenção? Quanto?
25. Quanto a empresa dispõe para estruturar o sistema de manutenção?
26. A imagem interna e externa da empresa é importante? No que a manutenção influencia?

Características dos veículos

27. Quais os níveis de manutenção necessários?
28. Quais as especialidades envolvidas na manutenção da frota?
29. Qual a expectativa de carga de trabalho da manutenção?
30. Quais os efeitos da falta de manutenção?
31. Qual a relação da manutenção com a segurança humana, dos veículos, instalações e ambiental?
32. Quais são os itens de maior preocupação com manutenção? Por que?

Características operacionais dos veículos

33. Quais parâmetros que medem o desempenho operacional?
34. Quais as metas de operação da frota?
35. Qual a expectativa de vida operacional dos veículos – política de renovação?
36. Fatores restritivos para atendimentos de emergência?

Desejos do Diretor de Operações

37. Qual sua expectativa com a manutenção?
38. Como você pode ser afetado pelo mau desempenho da manutenção?
39. Como a manutenção pode ajudar e agilizar seu trabalho?

Tabela B: Questionários para Gerente de Manutenção

Características do ramo de atividade

1. Qual o grau de inferência de organismos e gestões públicas? Como pode o sistema de manutenção auxiliar neste ponto?
2. Qual a dependência da empresas em relação a outras empresas?
3. Como o meio ambiente pode ser afetado pela manutenção?
4. Quais legislações, inclusive ambientais, que relacionam-se com a manutenção?
5. Quais os efeitos da deficiência de manutenção são percebidos pelos passageiros?
6. Caracterize a competitividade da concorrência?
7. Como a manutenção pode ajudar a empresa a aumentar sua participação no mercado?

Características da empresa

8. Qual o nível de preocupação com a satisfação dos clientes?
9. Quais as funções principais da manutenção?
10. Quais as funções secundárias da manutenção?
11. Perfil de gastos com manutenção?
12. Quais as qualificações profissionais exigidas na atividade de manutenção? (formação, habilidades, política de RH,...)
13. Que fatores culturais podem influenciar o desempenho da manutenção? (nível de exigências da comunidade, informalidades nos fluxos de decisão e comando...)
14. Como a motivação e comprometimento dos funcionários afeta a manutenção? Como se estabelece atualmente?
15. Qual a integração entre departamentos da empresa?
16. Organograma hierárquico da manutenção?
17. Qualificação das lideranças formais da manutenção?
18. Quais as lideranças informais da manutenção?
19. Quais as metas e planos globais da empresa?
20. Como a manutenção pode ajudar as metas e planos globais da empresa?
21. Existe previsão orçamentária para gerir a manutenção? Quanto?
22. Quanto a empresa dispõe para estruturar o sistema de manutenção?
23. No que a manutenção pode ajudar na imagem interna e externa da empresa?

Características dos veículos

24. Quais os níveis de manutenção necessários?
25. Quais as especialidades envolvidas na manutenção da frota?
26. Qual a expectativa de carga de trabalho da manutenção?
27. Quais os efeitos da falta de manutenção?
28. Qual a relação da manutenção com a segurança humana, dos veículos, instalações e ambiental?
29. Quais são os itens de maior preocupação com manutenção? Por que?
30. Como verificar se o veículos está apto a operar?

Características operacionais dos veículos

31. Quais parâmetros que medem o desempenho operacional?
32. Quais as metas de operação da frota?
33. Qual a expectativa de vida operacional dos veículos – política de renovação?
34. Qual o tempo médio de atendimento de emergência de uma falha durante a operação? Quais os fatores restritivos?
35. Qual o custo por falha em operação?

Desejos do Gerente de Manutenção

33. Qual sua expectativa com a manutenção?
34. Como você pode ser afetado pelo mau desempenho da manutenção?
35. Como a manutenção pode ajudar e agilizar seu trabalho?
36. A padronização na execução de serviços é fundamental?

Tabela C: Questionário para passageiros

Características do ramo de atividade

1. Quais os efeitos da deficiência de manutenção são percebidos pelos passageiros?
2. Caracterize a competitividade da concorrência?

Desejos dos passageiros

3. Qual sua expectativa com a manutenção?
4. Como você pode ser afetado pelo mau desempenho da manutenção?