JOEL SOARES DOS ANJOS

**COMPARATIVO DE CONFIABILIDADE DE UMA PLATAFORMA
SUB-COMPACTA NO MERCADO LATINO AMERICANO E AFRICANO**

São Paulo

2007

JOEL SOARES DOS ANJOS

**COMPARATIVO DE CONFIABILIDADE DE UMA PLATAFORMA
SUB-COMPACTA NO MERCADO LATINO AMERICANO E AFRICANO**

Trabalho de conclusão apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Automotiva
(Mestrado Profissionalizante)

Área de Concentração:
Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Francisco M.
de Souza

São Paulo
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Anjos, Joel Soares dos

Comparativo de confiabilidade de uma plataforma sub-compacta no mercado latino americano e africano / J.S. dos Anjos. -- São Paulo, 2007.

259 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Indústria automobilística (Confiabilidade) – América Latina; África 2. Garantia da qualidade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Adriana e a minha filha Lana que com amor me apoiaram.

Dedico também a minha mãe Vanderlina que não poupou esforços para que hoje eu pudesse alcançar mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Ao autor da vida Jesus Cristo.

Ao Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza, pelo profissionalismo e incentivo.

Ao amigo Eng^o. Francisco N. Satkunas, pelo apoio e direcionamento.

Finalmente a todos os parceiros do Brasil e de diversos países que contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com a globalização, a competitividade no mercado automotivo tem aumentado cada dia mais, e os produtos automotivos (veículos e componentes) estão sendo freqüentemente desenvolvidos em um determinado país todavia para construção, uso e aplicação em outros países. As condições de aplicação como altitude, condições climáticas, topografia, percepção dos clientes e outras variáveis podem ser diferentes de um mercado para outro e influenciar na confiabilidade dos produtos.

Se as condições de aplicação não são consideradas na fase de desenvolvimento do veículo, pode ser que o produto não venha atender a função à qual ele foi projetado durante a sua vida útil, e pode-se também experimentar um nível de falhas excessivo e/ou modos de falhas específicos de determinados mercados, bem como arruinar a imagem da marca. Portanto é necessário predizer a confiabilidade dos produtos que são exportados e a partir dos dados de confiabilidade usá-los em projetos futuros, fazendo com que sejam projetados veículos para atendimento ao mercado global, ou então no mínimo atender aos requisitos ou demanda de qualidade de cada país importador.

Portanto o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo para descrever o comportamento de um produto exportado e predizer a sua confiabilidade no campo. O modelo considera a utilização dos dados de falhas de campo no período de garantia, considerando também a existência de veículos que não apresentaram falhas ao final deste período. De posse da estimativa de confiabilidade para o veículo e seus respectivos subsistemas em cada país, propõe-se um modelo para análise de detecção de diferenças entre confiabilidades e a partir do qual se possa concluir as razões pelas quais há diferenças e usar estes dados para uso em projetos futuros.

ABSTRACT

Since the globalization, the automotive competition is growing every other day, and automotive products (vehicles and components) are often developed in one country though it's made, used and applied in other markets. The operating conditions such as height, climate, topography, customer perception and other variables are often different from one market to another and could influence on the products reliability.

If the market operating conditions are not considered in the vehicle development phase, the product may not fully perform its intended function over useful life period, and also may experience an excessive level of field complaints and/or failure modes specific to those markets and also damage the image of the brand. Therefore it is necessary to predict the export products reliability and based on the reliability data to use as lessons learned for future projects in order to fulfill the global market requirements or at least fulfill the requirements of quality from each country that imports the vehicles.

Therefore the main objective of this study is to develop a model to describe the export product behavior and predict its reliability in the field. The model considers the use of warranty claims and also uses the data regarding the vehicles which did not have any claim under the warranty period. Based on the estimative of reliability for the exported vehicle and also their subsystems, its proposed a model to analyze and detect differences between reliability and so to use such data on future projects.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE TABELAS 11

LISTA DE FIGURAS 17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 18

LISTA DE SÍMBOLOS 19

1 INTRODUÇÃO 21

1.1 Considerações Iniciais..... 21

1.2 Objetivo do Trabalho 27

1.3 Escopo do Trabalho 28

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 29

2.1 Garantia e confiabilidade..... 29

2.2 Clima 35

2.2.1 Radiação solar 36

2.2.2 Poluição..... 38

2.2.3 Temperatura 39

2.2.4 Flutuações de temperatura e outras mudanças bruscas dos fatores climáticos
..... 42

2.2.5 Umidade do ar, neblina e orvalho 42

2.2.6 Combinação dos fatores climáticos básicos 45

2.3 Topografia 45

2.4 Combustível 47

2.4.1 Octanagem 56

2.4.2 Aromaticos 60

2.4.3 Olefinas 60

2.4.4 Benzeno 61

2.4.5 Enxofre 61

2.4.6 Goma lavada 63

2.4.7 Metanol e Etanol 63

2.4.8 MTBE - Methyl Tertiary-Butyl Ether	64
2.4.9 Manganês	64
2.5 Validação e ensaios de durabilidade dos veículos	65
2.5.1 Mercado nacional versus exportação	73
3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE.....	76
3.1 Levantamento e tratamento dos dados de campo	77
3.2 A confiabilidade	79
3.3 Confiabilidade dos subsistemas	87
3.4 Comparação da confiabilidade do veículo nos diversos países	88
3.5 Detecção de diferenças entre confiabilidades	89
3.5.1 Comparação da confiabilidade através do método gráfico	90
3.5.2 Comparação da confiabilidade através do teste de hipóteses	92
3.6 Causas potenciais das diferenças entre confiabilidades	94
4 APLICAÇÃO PLATAFORMA SUB-COMPACTA.....	95
4.1 Primeiro estudo – Plataforma sub-compacta Brasil.....	98
4.1.1 Brasil – Subsistema Carroceria	100
4.1.2 Brasil – Subsistema Chassi	101
4.1.3 Brasil – Subsistema Elétrica e ar condicionado	103
4.1.4 Brasil – Subsistema Motor	104
4.1.5 Brasil – Subsistema Transmissão	106
4.2 Segundo estudo – Plataforma sub-compacta Argentina	107
4.2.1 Argentina – Subsistema Carroceria	109
4.2.2 Argentina – Subsistema Chassi	111
4.2.3 Argentina – Subsistema Elétrica e ar condicionado	112
4.2.4 Argentina – Subsistema Motor	114
4.2.5 Argentina – Subsistema Transmissão	115
4.3 Terceiro estudo – Plataforma sub-compacta México	117
4.3.1 México – Subsistema Carroceria	119
4.3.2 México – Subsistema Chassi	120
4.3.3 México – Subsistema Elétrica e ar condicionado	122
4.3.4 México – Subsistema Motor	123
4.3.5 México – Subsistema Transmissão	125
4.4 Quarto estudo – Plataforma sub-compacta África do Sul	126
4.4.1 África do Sul – Subsistema Carroceria	128

4.4.2 África do Sul – Subsistema Chassi	130
4.4.3 África do Sul – Subsistema Elétrica e ar condicionado	131
4.4.4 África do Sul – Subsistema Motor	133
4.4.5 África do Sul – Subsistema Transmissão	134
4.5 Quinto estudo – Plataforma sub-compacta Chile	136
4.5.1 Chile – Subsistema Carroceria	138
4.5.2 Chile – Subsistema Chassi	140
4.5.3 Chile – Subsistema Elétrica e ar condicionado	141
4.5.4 Chile – Subsistema Motor	143
4.5.5 Chile – Subsistema Transmissão	144
4.6 Segundo estudo – Plataforma sub-compacta Colômbia	146
4.6.1 Colômbia – Subsistema Carroceria	148
4.6.2 Colômbia – Subsistema Chassi	149
4.6.3 Colômbia – Subsistema Elétrica e ar condicionado	151
4.6.4 Colômbia – Subsistema Motor	152
4.6.5 Colômbia – Subsistema Transmissão	154
5 COMPARAÇÃO DAS CONFIABILIDADES	156
5.1 Comparativo Brasil e Argentina	156
5.1.1 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Carroceria	158
5.1.2 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Chassi	160
5.1.3 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Elétrica e ar condicionado ..	161
5.1.4 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Motor	163
5.1.5 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Transmissão	165
5.2 Comparativo Brasil e México	167
5.2.1 Comparativo Brasil e México – Subsistema Carroceria	169
5.2.2 Comparativo Brasil e México – Subsistema Chassi	171
5.2.3 Comparativo Brasil e México – Subsistema Elétrica e ar condicionado	173
5.2.4 Comparativo Brasil e México – Subsistema Motor	175
5.2.5 Comparativo Brasil e México – Subsistema Transmissão	177
5.3 Comparativo Brasil e África do Sul	179
5.3.1 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Carroceria	181
5.3.2 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Chassi	183
5.3.3 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Elétrica e AC	185
5.3.4 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Motor	187

5.3.5 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Transmissão	189
5.4 Comparativo Brasil e Chile	191
5.4.1 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Carroceria	193
5.4.2 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Chassi	195
5.4.3 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Elétrica e ar condicionado	197
5.4.4 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Motor	199
5.4.5 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Transmissão	201
5.5 Comparativo Brasil e Colômbia	202
5.5.1 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Carroceria	204
5.5.2 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Chassi	206
5.5.3 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Elétrica e ar condicionado ..	208
5.5.4 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Motor	210
5.5.5 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Transmissão	211
5.6 Diferenças entre mercados	212
5.6.1 Elétrica e ar condicionado	213
5.6.2 Chassi	221
5.6.3 Carroceria	235
5.6.4 Motor	237
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	239
6.1 Conclusões	239
6.2 Recomendações para trabalhos futuros	243
ANEXO A – Análise de combustível	245
ANEXO B – Distribuição F	246
ANEXO C – Lista de falhas do Brasil	247
ANEXO D – Lista de falhas da Argentina	248
ANEXO E – Lista de falhas do México	249
ANEXO F – Lista de falhas da África do Sul	250
ANEXO G – Lista de falhas do Chile.....	251
ANEXO H – Lista de falhas da Colômbia.....	252
REFERÊNCIAS.....	253

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 20 maiores países versus produção de veículos.....	21
Tabela 2 – Volume de produção de veículos global por região.....	22
Tabela 3 – Veículos produzidos no Brasil	23
Tabela 4 – Cenário de fábricas de automóveis no Mercosul.....	23
Tabela 5 – Veículos produzidos no Brasil destinados a exportação	24
Tabela 6 – Custo de garantia de empresas norte americanas	33
Tabela 7 – Características das influências da umidade do ar nos aspectos internos dos materiais e as condições de trabalho dos equipamentos	43
Tabela 8 – Limites de emissões em veículos e comerciais Leves	50
Tabela 9 – Limites de emissões em veículos pesados e comerciais a diesel com peso total máx. >2000kg	51
Tabela 10 – Princípios do desenvolvimento de produto enxuto	67
Tabela 11 – Classificação J.D. Power de plataformas pesquisadas	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume de unidades produzidas para o mercado exportação e para o mercado interno	24
Figura 2 – Exportações em porcentagem do volume de unidades exportadas por país de destino – 2004	25
Figura 3 – Exportações em valores de porcentagem do valor total arrecadado por país de destino – 2004	26
Figura 4 – Efeitos da má confiabilidade nos lucros de uma empresa	31
Figura 5 – Tempo de detecção de falhas versus custo de garantia	34
Figura 6 – Diagrama de influências climáticas básicas e dos fenômenos atmosféricos nas propriedades dos materiais e na confiabilidade das máquinas	36
Figura 7 – Áreas e fontes de poluição	38
Figura 8 – Efeito da temperatura de operação e a taxa de falhas.....	40
Figura 9 – Temperatura superficial em um disco de freio ventilado	41
Figura 10 – Exemplos de aplicações em mercados distintos	46
Figura 11 – Emissões de um motor a gasolina em função da razão ar/comb.....	49
Figura 12 – Figura esquemática da batida de pino de motor	52
Figura 13 – Modos de falhas em motores e bombas de combustível	53
Figura 14 – Cilindro do motor danificado devido ao uso de combustível com baixa octanagem	58
Figura 15 – Efeitos da formação de goma nos bicos injetores	61
Figura 16 – Evolução do teor de enxofre na gasolina	62
Figura 17 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel	63
Figura 18 – Sistema integrado de qualidade (1), confiabilidade (2), durabilidade (3) e manutenibilidade (4)	68
Figura 19 – Esquema complexo de análise dos fatores que influenciam a qualidade do produto durante as fases de projeto, manufatura e uso	69
Figura 20 – Tipos corrente de testes de meio ambiente com simulação separada de diferentes influencias	70
Figura 21 – Exemplo de testes acelerados de confiabilidade úteis como combinação simultânea de diferentes tipos de testes de laboratório	70
Figura 22 – Foto do trânsito na Cidade do México.....	74

Figura 23 – Foto de transporte tipo lotação na cidade de Vadodara – Índia	75
Figura 24 – Fluxograma de metodologia de avaliação da confiabilidade	77
Figura 25 – Curva da banheira.....	80
Figura 26 – Características da curva da banheira.....	80
Figura 27 – Distribuição de weibull com variação da constante de forma β	82
Figura 28 – Valores de β	83
Figura 29 – Dados censurados a direita.....	85
Figura 30 – Dados censurados a esquerda	86
Figura 31 – Distribuição de quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia	87
Figura 32 – Função de Confiabilidade $R(t)$	88
Figura 33 – Fluxograma de comparação da confiabilidade.....	90
Figura 34 – Gráfico de Weibull com os intervalos de confiança.....	91
Figura 35 – Gráfico de Weibull com confiabilidades consideradas diferentes.....	91
Figura 36 – Gráfico de Weibull com limites de confiança se interceptando	92
Figura 37 – Distribuição de falhas por subsistema – Brasil	98
Figura 38 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Brasil.....	99
Figura 39 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil.....	99
Figura 40 – Distribuição de quilometragem Brasil - Carroceria	100
Figura 41 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Carroceria.....	101
Figura 42 – Distribuição de quilometragem Brasil - Chassi.....	102
Figura 43 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Chassi	102
Figura 44 – Distribuição de quilometragem Brasil – Elétrica e ar condicionado ...	103
Figura 45 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Elétrica e AC	104
Figura 46 – Distribuição de quilometragem Brasil – Motor.....	105
Figura 47 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Motor	105
Figura 48 – Distribuição de quilometragem Brasil – Transmissão	106
Figura 49 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Transmissão.....	107
Figura 50 – Distribuição de falhas por subsistema – Argentina	108
Figura 51 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Argentina	108
Figura 52 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina	109
Figura 53 – Distribuição de quilometragem Argentina – Carroceria	110
Figura 54 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Carroceria	110
Figura 55 – Distribuição de quilometragem Argentina - Chassi	111

Figura 56 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Chassi	112
Figura 57 – Distribuição de quilometragem Argentina – Elétrica e AC	113
Figura 58 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Elétrica e AC	113
Figura 59 – Distribuição de quilometragem Argentina – Motor	114
Figura 60 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Motor	115
Figura 61 – Distribuição de quilometragem Argentina – Transmissão	116
Figura 62 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Transmissão	116
Figura 63 – Distribuição de falhas por subsistema – México	117
Figura 64 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta México	118
Figura 65 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta México	118
Figura 66 – Distribuição de quilometragem México – Carroceria	119
Figura 67 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Carroceria	120
Figura 68 – Distribuição de quilometragem México - Chassi	121
Figura 69 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Chassi	121
Figura 70 – Distribuição de quilometragem México – Elétrica e AC	122
Figura 71 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Elétrica e AC	123
Figura 72 – Distribuição de quilometragem México – Motor	124
Figura 73 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Motor	124
Figura 74 – Distribuição de quilometragem México – Transmissão	125
Figura 75 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Transmissão	126
Figura 76 – Distribuição de falhas por subsistema – África do Sul.....	127
Figura 77 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta África do Sul	127
Figura 78 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul .	128
Figura 79 – Distribuição de quilometragem África do Sul – Carroceria	129
Figura 80 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Carroceria	129
Figura 81 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Chassi.....	130
Figura 82 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Chassi	131
Figura 83 – Distribuição de quilometragem África do Sul – Elétrica e AC	132
Figura 84 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Elétrica e AC ...	132
Figura 85 – Distribuição de quilometragem África do Sul – Motor.....	133
Figura 86 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Motor	134
Figura 87 – Distribuição de quilometragem África do Sul – Transmissão	135
Figura 88 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Transmissão	135

Figura 89 – Distribuição de falhas por subsistema – Chile.....	136
Figura 90 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Chile	137
Figura 91 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile	138
Figura 92 – Distribuição de quilometragem Chile – Carroceria	139
Figura 93 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Carroceria	139
Figura 94 – Distribuição de quilometragem Chile - Chassi.....	140
Figura 95 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Chassi	141
Figura 96 – Distribuição de quilometragem Chile – Elétrica e AC	142
Figura 97 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Elétrica e AC	142
Figura 98 – Distribuição de quilometragem Chile – Motor.....	143
Figura 99 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Motor	144
Figura 100 – Distribuição de quilometragem Chile – Transmissão	145
Figura 101 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Transmissão.....	145
Figura 102 – Distribuição de falhas por subsistema – Colômbia.....	146
Figura 103 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Colômbia	147
Figura 104 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia	147
Figura 105 – Distribuição de quilometragem Colômbia – Carroceria	148
Figura 106 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Carroceria	149
Figura 107 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Chassi.....	150
Figura 108 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Chassi	150
Figura 109 – Distribuição de quilometragem Colômbia – Elétrica e AC	151
Figura 110 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Elétrica e AC	152
Figura 111 – Distribuição de quilometragem Colômbia – Motor.....	153
Figura 112 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Motor	153
Figura 113 – Distribuição de quilometragem Colômbia – Transmissão	154
Figura 114 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Transmissão.....	155
Figura 115 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e Argentina	156
Figura 116 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Carroceria	158
Figura 117 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Chassi	160
Figura 118 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Elétrica e AC	162
Figura 119 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Motor	164
Figura 120 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Transmissão	166
Figura 121 – Comparativo plataforma sub-compacta Brasil e México	168
Figura 122 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Carroceria	170

Figura 123 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Chassi	172
Figura 124 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Elétrica e AC	174
Figura 125 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Motor	176
Figura 126 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Transmissão	178
Figura 127 – Comparativo plataforma sub-compacta Brasil e África do Sul	180
Figura 128 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Carroceria	182
Figura 129 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Chassi	184
Figura 130 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Elétrica e AC	186
Figura 131 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Motor	188
Figura 132 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Transmissão	190
Figura 133 – Comparativo plataforma sub-compacta Brasil e Chile	192
Figura 134 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Carroceria.....	194
Figura 135 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Chassi	196
Figura 136 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Elétrica e AC	198
Figura 137 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Motor	200
Figura 138 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Transmissão	202
Figura 139 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e Colômbia	203
Figura 140 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Carroceria	205
Figura 141 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Chassi	207
Figura 142 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Elétrica e AC	209
Figura 143 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Motor	211
Figura 144 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Transmissão	212
Figura 145 – Comparativo entre as porcentagens de falhas dos subsistemas	213
Figura 146 – Estrutura do alto falante	214
Figura 147 – Testes com limpador de parabrisa	215
Figura 148 – Simulação virtual do limpador de parabrisa	216
Figura 149 – Simulação mecânica do limpador de parabrisa	217
Figura 150 – Distribuição de stress na direção Y	218
Figura 151 – Vista de topo do limpador de parabrisa	219
Figura 152 – Sistema de direçãoEPS	222
Figura 153 – Caixa de direção	223
Figura 154 – Classificação de ruído de freios baseado na amplitude de frequência e fonte de excitação	225
Figura 155 – Configurações de chanfro e canal de pastilha de freio	226

Figura 156 – Geometria da pastilha de freio	227
Figura 157 – Filtro de combustível	228
Figura 158 – Contaminante do combustível	229
Figura 159 – Sistema de filtragem	230
Figura 160 – Novo sistema de filtragem	231
Figura 161 – Volante	232
Figura 162 – Mangueira de borracha	233
Figura 163 – Estrutura do banco Bentley	236
Figura 164 – Válvula termostática	240

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BR	Borracha butílica
CEP	Controle Estatístico de Processo
CKD	<i>Completely Knock Down</i>
CMOS	<i>Complementary Metal-Oxide-Semiconductor</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPDM	Etileno-Propileno Dieno
EPS	<i>Electrical Power Steering</i>
EVA	Poli (etileno-co-acetato de vinila)
IAD	Índice Antidetonante
IPTV	<i>Incidents Per Thousands Vehicles</i>
JDPOWER	<i>J.D. Power and Associates</i> – Empresa de pesquisa de mercado
MON	<i>Motor Octane Number</i>
MTBE	<i>Methyl Tertiary-Butyl Ether</i>
NBR	Borracha Acrilonitrila Butadieno
NVH	<i>Noise, Vibration and Harshness</i>
OBD	<i>On Board Diagnosis</i>
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i>
PPM	Partes Por Milhão
PVC	Poli (cloreto de vinila)
QAS	<i>Quality Audit Survey</i>
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade
RON	<i>Research Octane Number</i>
VIN	<i>Vehicle Identification Number</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

$f(t)$	Função densidade de probabilidade de falha
$R(t)$	Função de confiabilidade
β	Constante de forma
η	Constante de escala – Define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abscissas (eixo x)
t	Tempo
t_0	Constante de localização – Define a posição em que a função densidade de probabilidade tem origem
$\lambda(t)$	Taxa de falhas
n	Tamanho da amostra
r	Ponto onde é interrompido os testes (truncado)
H_0	Hipótese de Null
H_1	Hipótese alternativa
θ_1	Média da amostra 1
θ_2	Média da amostra 2
S_1	Conjunto de amostras 1
S_2	Conjunto de amostras 2
x_{1j}	Valor individual de tempo da amostra 1
x_{2j}	Valor individual de tempo da amostra 2
x_{1r1}	Valor individual de tempo onde o teste foi interrompido na amostra 1
x_{1r2}	Valor individual de tempo onde o teste foi interrompido na amostra 2
F_c	Fator crítico do teste
N	Força normal
F	Força de atrito
μ	Coeficiente de atrito
T_a	Temperatura ambiente
θ_{j-a}	Resistência térmica entre a junção e o ar ambiente
O_3	Ozônio
P	Consumo de energia
CO	Monóxido de carbono

CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₃ OH	Metanol
CH ₄	Metano
C _x H _y	Vapores de hidrocarbonetos
HC	Hidrocarbonetos
H ₂ O	Àgua
H ₂ S	Ácido sulfídrico
MP	Material particulado
NMHC	Hidrocarbonetos não metano
NO _x	Óxido de nitrogênio
S	Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Com a globalização, a concorrência no mercado automobilístico tem aumentado mundialmente, sendo que as montadoras de automóveis deparam com uma grande dificuldade em definir os locais (países) onde instalarão novas plantas para produção de automóveis. Segundo Benko (2006), os investimentos em plantas de montagem de veículos leves têm ocorrido nos seguintes mercados:

- Mercado Asiático (exemplo: China, Índia e Tailândia);
- Mercados próximos a suas matrizes (exemplo: Volkswagen e Fiat);
- Mercados sólidos e/ou maduros (exemplo: Toyota, Honda e Hyundai);
- Mercados como o Brasil, Rússia e Irã.

Baseado em estimativas destes novos investimentos, o mercado automobilístico mundial mostra uma tendência de crescimento da produção de veículos conforme mostra a tabela 1 dos 20 maiores países produtores de veículos.

Tabela 1 – 20 maiores países versus produção de veículos

20 países	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1. Estados Unidos	11.568.482	11.307.715	11.730.287	11.814.622	12.281.729	12.664.157
2. Japão	10.106.987	9.971.536	10.151.770	10.360.780	10.242.059	10.081.242
3. Alemanha	5.215.313	5.149.038	5.057.495	5.247.944	5.386.078	5.364.045
4. China	4.368.802	5.165.295	5.707.932	6.285.798	6.514.429	6.765.323
5. Coreia do Sul	3.529.507	3.568.270	3.614.682	3.731.602	3.525.528	3.414.353
6. França	3.504.861	3.345.977	3.217.610	3.538.789	3.714.946	3.679.912
7. Espanha	2.647.929	2.578.231	2.551.262	2.440.439	2.551.445	2.577.814
8. Canada	2.613.543	2.494.655	2.559.079	2.686.515	2.426.554	2.520.527
9. Brasil	2.198.567	2.252.538	2.245.261	2.299.430	2.347.372	2.437.553
10. Reino Unido	1.776.195	1.752.780	1.915.988	1.766.092	1.776.280	1.763.882
11. México	1.586.410	1.883.196	1.903.321	1.971.572	2.058.704	2.108.367
12. Índia	1.287.035	1.388.031	1.478.825	1.608.322	1.750.255	1.938.588
13. Rússia	1.200.533	1.281.687	1.375.760	1.429.836	1.448.451	1.503.928
14. Tailândia	1.048.077	1.148.568	1.264.649	1.384.642	1.416.370	1.460.140
15. Itália	1.000.509	1.180.499	1.289.281	1.345.298	1.286.842	1.279.554
16. Bélgica	894.484	930.252	955.809	996.663	1.006.400	999.727
17. Irã	887.993	973.081	1.131.726	1.235.674	1.254.023	1.266.631
18. Turquia	828.799	856.471	818.171	869.068	978.842	1.007.673
19. Polônia	615.874	602.596	595.559	659.285	830.836	834.128
20. República Checa	577.339	740.790	729.811	751.590	935.204	1.036.278
Total	57.457.239	58.571.206	60.294.278	62.423.961	63.732.347	64.703.822

Fonte: Benko (18/Abril/2006)

Nota-se que entre os 20 maiores países produtores de veículos no período considerado na tabela 1, a China se destaca como o maior potencial de crescimento global, com 54,9% de crescimento, e isto também impacta no crescimento da região asiática conforme mostra a tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Volume de produção de veículos global por região

Região	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Aumento unidades
1. Asia	22.491.243	23.468.879	24.553.660	25.770.872	25.879.436	26.110.307	3.619.064
2. União Européia	17.592.036	17.766.217	18.084.224	18.816.610	19.502.918	19.560.952	1.968.916
3. America do norte	15.768.435	15.685.566	16.192.687	16.472.709	16.766.987	17.293.051	1.524.616
4. America do sul	2.773.768	2.835.020	2.850.340	2.914.120	2.983.661	3.120.523	346.755
5. Leste da Europa	2.563.122	2.690.831	2.786.859	2.925.647	3.066.172	3.140.130	577.008
6. Oriente médio e Africa	1.464.948	1.596.373	1.826.070	1.962.594	1.998.111	2.023.327	558.379

Fonte: Benko (18/Abril/2006)

Um outro aspecto não só do mercado automobilístico mundial, mas da indústria em geral é que as empresas, apesar dos altos riscos decorrentes da possibilidade de instabilidade econômica e/ou variação do dólar, passam a apostar nos países com potenciais de redução de custos de produção, em relação aos custos das atuais plantas, ou seja, os chamados países emergentes como a China e Índia.

Segundo Benko (2006), em um primeiro passo as empresas buscavam comprar produtos menos complexos e de baixa tecnologia no mercado Chinês. Porém, atualmente, as empresas têm comprado produtos de alta tecnologia ou mais complexos e até mesmo estabelecendo unidades de negócio (plantas de fabricação) na China, sendo que um dos atrativos, e talvez o maior deles, é o baixo custo de produção.

Já o Brasil tem o potencial de se estabelecer como um pólo de produção de veículos para a América latina e o mundo, pode-se observar na tabela 3, os volumes de unidades produzidas no Brasil desde 1995 até 2006, sendo que houve uma variação (aumento e posterior redução) na quantidade de unidades produzidas de 1995 a 1999 e crescimento a partir de 1999 até 2006, todavia segundo Bursa (2006), com a valorização do dólar a produção de veículos no Brasil destinados a exportação teve uma tendência de crescimento até 2005, ou seja, durante os meses de janeiro a outubro de 2005 as exportações cresceram 29,3% quando comparadas com o mesmo período em 2004, porém com a valorização do real as exportações

reduziram em 2006 e aumentaram as vendas no mercado doméstico, esta tendência pode ser observada na figura 1, ou seja, crescimento do volume de unidades produzidas no mercado interno e uma pequena redução nas exportações em 2006. Segundo Bursa (2006), um acordo no setor automotivo entre Brasil e Argentina, isenta de tarifas de exportação ambos países a partir de 01 de janeiro de 2006, sendo que o Brasil pode exportar cerca de US\$2,60 milhões de dólares em veículos e componentes automotivos para a Argentina contra cerca de US\$ 1 milhão de dólares de importação do Brasil de produtos da Argentina.

Tabela 3 – Veículos produzidos no Brasil

Ano	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Total
1995	1.297.467	239.399	70.495	21.647	1.629.008
1996	1.458.576	279.697	48.712	17.343	1.804.328
1997	1.677.858	306.545	63.744	21.556	2.069.703
1998	1.254.016	247.044	63.773	21.458	1.586.291
1999	1.109.509	176.994	55.277	14.934	1.356.714
2000	1.361.721	235.161	71.686	22.672	1.691.240
2001	1.501.586	214.936	77.431	23.163	1.817.116
2002	1.520.285	179.861	68.558	22.826	1.791.530
2003	1.505.139	216.702	78.960	26.990	1.827.791
2004	1.862.780	318.351	107.338	28.758	2.317.227
2005	2.009.494	365.648	117.892	35.266	2.528.300
2006	2.092.029	379.195	106.001	33.809	2.611.034

Fonte: ANFAVEA (31/Jan/07)

Segundo Murad (2006), a realidade deste cenário de crescimento e de que o mercosul se estabelece como uma região produtora e exportadora de veículos pode ser observada conforme dados da tabela 4, onde se indica a evolução no número de plantas fabris montadoras de automóveis instaladas nesta região entre os anos de 1996 e 2005.

Tabela 4 – Cenário de fábricas de automóveis no Mercosul

1996	2005	Variação
12 Montadoras	19 Montadoras	+7
26 Plantas	41 Plantas	+15
7 Plantas Powertrain	16 Plantas Powertrain	+9

Fonte: Murad (2006)

Levando-se em consideração que o Brasil faz parte do grupo de países considerado países emergentes tem-se o seguinte volume de produção de veículos destinados a exportação conforme tabela 5.

Tabela 5 – Veículos produzidos no Brasil destinados a exportação

Ano	Automóveis	Comerciais leves	Caminhões	Ônibus	Total
1995	189.721	58.489	8.700	6.134	263.044
1996	211.565	70.951	8.545	5.212	296.273
1997	305.647	91.712	12.438	7.075	416.872
1998	291.788	87.743	14.550	6.163	400.244
1999	204.024	57.789	8.498	4.488	274.799
2000	283.449	72.529	9.293	6.028	371.299
2001	321.490	55.700	6.762	6.902	390.854
2002	369.925	42.250	5.475	6.765	424.415
2003	440.957	72.883	12.820	9.320	535.980
2004	603.052	117.138	25.650	12.947	758.787
2005	684.259	155.577	38.300	18.943	897.079
2006	635.851	152.782	38.188	15.991	842.812

Fonte: ANFAVEA (31/Jan/07)

Figura 1 – Volume de unidades produzidas para o mercado exportação e para o mercado interno

(Fonte: ANFAVEA, 31/Jan/07)

Nota-se que as exportações em dez anos aumentaram expressivamente e este crescimento das exportações demanda um significativo esforço para aumento da qualidade do produto desde o projeto até o serviço de pós vendas, pois cada veículo exportado pode significar novos negócios para a base exportadora se este veículo atender a necessidade dos clientes exportação, bem como pode gerar custo de garantia em consequência de problemas de qualidade¹. Com a concorrência, cada empresa procura ser mais agressiva e inovadora não somente nos lançamentos, mas também na solução de problemas relacionados com a insatisfação dos clientes que ora pode ser gerado através de atendimento em garantia ou através de pesquisas de satisfação dos clientes como por exemplo o JDPower atualmente usado na América do norte, Europa e Ásia ou então o QAS (*Quality audit survey*) usado na América do Sul.

O reflexo de qualidade e atendimento às necessidades dos clientes podem ser também observados através do aumento das exportações.

As figuras 2 e 3 mostram o volume de veículos exportados pelo Brasil por país de destino e a exportação em valores por país de destino sendo que esta operação gerou aos cofres das montadoras brasileiras o valor de US\$6,6 bilhões (Seis bilhões e seiscentos milhões de dólares) em 2004.

Figura 2 – Exportações em porcentagem do volume de unidades exportadas por país de destino – 2004

(Fonte: Anuário ANFAVEA, 2006)

¹ Nota: Neste texto define-se qualidade como o atributo de um produto ou serviço que atende, de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo às necessidades do cliente. (Fonte: Falconi Campos, 1992)

Figura 3 – Exportações em valores de porcentagem do valor total arrecadado por país de destino – 2004

(Fonte: Anuário ANFAVEA, 2006)

Segundo a ANFAVEA (anuário 2006), as quatro montadoras que mais exportaram em volume de exportação, na ordem do maior volume para o menor volume são:

- Volkswagen;
- General Motors;
- Ford;
- Fiat.

Apesar do alto valor financeiro gerado pelas exportações, uma grande preocupação das empresas é quanto ao custo de garantia, pois todos os produtos podem ter falhas durante a sua vida útil, sendo que os produtos que apresentam falhas dentro de seu período de garantia² podem ter este custo coberto pela montadora, dependendo da origem da falha ou do componente que falhou, pois o período de garantia pode variar de um componente para outro até de uma plataforma para outra, bem como de fabricante para fabricante, ou mesmo de país para país. O fato

² Nota: Neste texto define-se período de garantia como sendo o período no qual o construtor do veículo é responsável pela cobertura das falhas e/ou mau funcionamento do produto conforme disposto no contrato de venda e manual do proprietário.

principal é que os produtos podem apresentar falhas sendo que uns vão ter mais, outros menos de acordo com a sua confiabilidade, e neste aspecto as empresas têm buscado meios de reduzir os custos através de produtos com maior confiabilidade. Todavia quando se trata de mercado de exportação a confiabilidade pode ser diferente do país de origem ou produtor devido às condições de aplicação, meio ambiente, diferenças culturais dos motoristas, condições topográficas e outros.

Os dados de garantia ou o histórico de falhas dos veículos durante o período de garantia são essenciais para o desenvolvimento de iniciativas visando à redução do custo de garantia ou melhoria da confiabilidade dos produtos, pois é através da análise das informações contidas no banco de dados que os engenheiros de confiabilidade podem monitorar o desempenho do produto bem como melhorá-lo ou torná-lo mais confiável e menos custoso satisfazendo assim ao cliente final que estará sujeito a níveis inferiores de defeitos bem como evitar o desperdício financeiro por parte da montadora.

1.2 Objetivo do Trabalho

Em função da crescente parcela do volume da produção de veículos em plantas instaladas nos países emergentes para atender às exportações, faz-se necessário conhecer a confiabilidade dos veículos nos diferentes mercados aos quais os mesmos são exportados, levando-se em consideração as diferenças topográficas, climáticas, aplicação, percepção dos clientes, quilometragem média percorrida em cada país bem como as diferenças entre as coberturas do período de garantia.

Portanto é necessário prever a confiabilidade de um veículo exportado de forma a evitar a degradação da marca nos diversos países para onde os veículos são exportados, bem como usar os dados de confiabilidade para desenvolvimento de projetos futuros, fazendo com que sejam projetados veículos para atendimento ao mercado global, ou então, no mínimo, atender aos requisitos ou demanda de qualidade de cada país importador.

O presente trabalho visa levantar a confiabilidade de uma determinada plataforma e de seus respectivos subsistemas, com base nos dados de falhas de campo de diversos países, bem como comparar o desempenho em cada país, verificando as possíveis diferenças entre mercados. Para isto é necessário desenvolver-se

métodos para descrever o comportamento das falhas dos veículos e prever a sua confiabilidade.

1.3 Escopo do Trabalho

O presente trabalho também compara o desempenho, em termos de confiabilidade, de veículos exportados montados e desmontados (*CKD – Completely knock down*). Contudo o presente trabalho parte dos registros de falhas de campo dentro do período de garantia de cada país estudado e através da aplicação dos conceitos de análise de dados “censurados”, define-se a confiabilidade do veículo por país e para os seguintes subsistemas:

- Acabamento e pintura;
- Carroceria;
- Chassi;
- Elétrica e ar condicionado;
- Motor;
- Transmissão;

A partir da análise de confiabilidade, verifica-se a diferença entre o comportamento do veículo em vários países incluindo a análise das possíveis diferenças na porcentagem de falhas de cada subsistema analisado. Estuda-se então os motivos pelos quais pode haver diferenças na confiabilidade de veículos na sua fonte produtora e nos vários países que vendem o veículo exportado chamados de clientes exportação.

A plataforma estudada é produzida e exportada da seguinte forma:

- Produção na Argentina e abastecimento do mercado interno Argentino;
- Produção na Argentina e exportação de veículo montado para o Chile;
- Produção no Brasil e abastecimento do mercado interno Brasileiro;
- Produção no Brasil e exportação de veículo montado para o México;
- Produção no Brasil e exportação de veículo CKD para a Colômbia e para a África do Sul;

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Garantia e confiabilidade

Conceitualmente a garantia é conhecida como o período no qual as falhas ocorridas nos veículos ou produtos são provenientes de erros cometidos por responsabilidade do fabricante, terão os custos de reparo cobertos pelo mesmo, salvo os itens de desgaste natural relacionados a falhas de mal uso como por exemplo, pneus que forem deformados devido a freadas bruscas e conseqüentemente danificados. Quanto ao tempo de garantia pré-determinado pela montadora, este pode variar de país a país, bem como de fabricante para fabricante. Uma das grandes preocupações das montadoras é quanto ao custo de garantia, pois grandes esforços têm sido dispendidos no sentido de melhorar o desempenho dos veículos e conseqüentemente reduzir o custo de garantia, sendo que o desempenho do veículo está intrinsecamente ligado com a satisfação dos clientes, ou melhor dizendo, quanto menor for a necessidade do cliente levar seu veículo para fazer manutenção corretiva ou até mesmo preventiva, maior será a sua satisfação com o automóvel ou a marca. Um aspecto relevante a ser considerado é que a garantia é concedida ao veículo, porém as manutenções preventivas chamadas de revisões periódicas devem ser realizadas sob a pena de perda de direito de garantia. Como estratégia de “*marketing*” algumas montadoras também oferecem possibilidades de ampliação do período de garantia. Para casos onde o veículo quebra sem a possibilidade de reparação imediata ou possibilitar que o cliente possa trafegar com o veículo, algumas montadoras ainda oferecem um sistema de emergência sendo o cliente atendido por um serviço expresso e um socorro móvel vai até o local onde o veículo está parado com problemas e presta auxílio. Se necessário providencia que o veículo seja guinchado ou até mesmo providencia veículo reserva para o cliente.

Já a confiabilidade, segundo O'Connor (1991), é definida como a probabilidade de um item ou componente operar sem falhas sob certas condições e por um determinado período de tempo. Segundo O'Connor (1991), a confiabilidade está relacionada com as falhas durante a vida do produto. Sendo assim a confiabilidade e a garantia estão intrinsecamente ligadas, pois quando do desenvolvimento de um novo produto, baseado na estimativa de confiabilidade do mesmo, o fabricante faz uma provisão monetária de quanto se deverá gastar com os custos de garantia e uma parcela destes custos é embutida no preço do produto. Contudo, normalmente,

as falhas em garantia são acompanhadas pelos engenheiros de confiabilidade e constantemente comparadas com os objetivos financeiros das empresas no intuito de se conhecer o desempenho do produto em campo bem como gerar melhorias futuras.

Segundo Dodson & Johnson (2002), as empresas deveriam desenvolver programas de confiabilidade de forma a chamar a atenção da alta administração sobre os efeitos da confiabilidade nos lucros da empresa. A figura 4 mostra um exemplo dos efeitos que um mal programa de confiabilidade pode causar sobre os lucros de uma empresa, ou seja, a figura 4 exemplifica o caso de uma empresa que teria um potencial de lucro inicial de aproximadamente US\$43 milhões e em um primeiro passo foi reduzido para US\$ 25 milhões após gastos devidos a campanhas em campo do tipo “recall”; em um segundo passo o potencial de lucro foi reduzido para US\$ 15 milhões devido a parada de produção por problemas de qualidade; em um terceiro passo o potencial de lucro foi reduzido para aproximadamente US\$ 12 milhões devido a retrabalhos em produtos com problemas de qualidade, em um quarto e último passo o potencial de lucro foi reduzido para aproximadamente US\$ 10 milhões devido a retornos em garantia de produtos com problemas de qualidade.

Figura 4 – Efeitos da má confiabilidade nos lucros de uma empresa
(Fonte: Dodson & Johnson, 2002)

Segundo Dodson & Johnson (2002), os custos ocultos envolvidos na confiabilidade de um produto levam a decisões erradas nas corporações bem como causam grandes perdas de lucros, sendo que as perdas causadas devidas a programas de confiabilidade deficitários, podem ainda superar os custos de garantia dos produtos. Para o modelo/ano 1998, as chamadas *big three* na América do norte, General Motors, Ford e Chrysler necessitavam de uma média de \$462 por veículo (quatrocentos e sessenta e dois dólares) destinados a reparos em garantia, sendo que as três montadoras vendiam aproximadamente 13 milhões de veículos na América do norte anualmente resultando em um total de \$6 bilhões de dólares em garantia. Segundo Dodson & Johnson (2002), embora este valor possa parecer alto, isto é uma pequena parcela nos custos oriundos de uma má confiabilidade, sendo que componentes confiáveis podem ser traduzidos em veículos confiáveis. Veículos confiáveis são traduzidos em clientes satisfeitos, embora seja difícil mensurar esta relação. Contudo clientes insatisfeitos podem não retornar a comprar o mesmo veículo e freqüentemente expor sua insatisfação para outros clientes potenciais.

Segundo Dodson & Johnson (2002), em 1994 as *big three* venderam 73,2% do total das vendas de automóveis na América do norte e em junho de 2001 este valor foi reduzido para 66,5%. Em maio de 2001 as *big three* perderam 3% das vendas de veículos na América do norte, valor o qual é equivalente a três plantas montadoras de veículos para fora de estrada (*pickups*) e caminhões, sendo que com o declínio das vendas, as empresas são obrigadas a oferecer incentivos para vendas de veículos. Ainda em maio de 2001 as *big three* ofereceram em média \$2619 (dois mil seiscentos e dezenove dólares) de incentivos para toda linha de veículos, e isto somou um total de aproximadamente \$3 bilhões de dólares em somente um mês. A estratégia de incentivos é necessária para manter a posição de vendas no mercado, e a mesma estratégia também pode ser observada nas montadoras de veículos na América do Sul como General Motors, Volkswagen, Fiat e Ford que para ocuparem o primeiro lugar em vendas no mercado doméstico fazem promoções de vendas em suas respectivas plantas, supermercados, *shopping centers* e oferecem descontos e bônus para funcionários, parentes de funcionários e até mesmo amigos.

Estratégias para redução do custo de garantia podem até ser desenvolvidas independentemente da confiabilidade dos veículos tais como informar a rede de concessionários que ao invés de realizar a troca de um determinado conjunto, pode-se trocar somente a peça defeituosa que faz parte do conjunto como um todo, ou então criar centros de reparação de peças como caixas de direção e outros. Todavia esta redução do custo de garantia não impacta diretamente na confiabilidade do veículo, pois segundo o próprio conceito de confiabilidade a partir da ocorrência da falha, independentemente de se realizar a troca ou reparação do componente, a confiabilidade já foi afetada.

Uma outra estratégia para redução dos custos de garantia é a detecção de falhas em tempo real, ou seja, o quanto antes forem detectadas as falhas, mais rápido o componente que estiver falhando poderá ter o seu problema corrigido, evitando assim maiores perdas financeiras.

Segundo Barkai (2004), a indústria automotiva está engajada no gerenciamento e controle dos custos de garantia, ou seja, os custos gerados com as falhas dos veículos dentro do período de garantia conforme mostrado na tabela 6, a indústria gasta uma média de 2% do valor arrecadado com a venda dos produtos com os custos de garantia, o que soma um total de mais de \$10 bilhões de dólares por ano no caso de empresas americanas.

Tabela 6 – Custo de garantia de empresas norte americanas

Empresa	Falhas (2003)	% de vendas
General Motors	\$4,435m	2.8%
Deere & Co.	\$334m	2.8%
Navistar International	\$189m	2.7%
Cummings	\$172m	2.7%
Ford Motor Co.	\$3,524m	2.5%
Caterpillar	\$484m	2.3%
Paccar	\$159m	2.1%
Textron	\$151m	1.6%
Honeywell	\$192m	1.0%
Motorola	\$178m	0.7%

Fonte: Barkai (2004)

A ineficiência no retorno dos dados de campo, não possibilita que seja visualizado o desempenho dos veículos que estão em campo, levando assim às perdas financeiras através do custo de garantia. A figura 5 exemplifica uma situação em que um problema de qualidade do produto pode gerar um determinado montante de custo de garantia (curva vermelha), sendo que a partir do momento em que o problema é descoberto e ocorre a definição da causa raiz do problema e conseqüente a correção for implementada com êxito, o montante do custo de garantia pode ser bem menor (linha tracejada).

Figura 5 – Tempo de detecção de falhas versus custo de garantia
(Fonte: Barkai, 2004)

Além da agilidade no retorno dos dados de campo, um outro aspecto a ser considerado é quanto à qualidade da informação recebida do campo, que segundo Barkai (2004), apesar de ser transmitida de várias formas como centros de atendimentos aos clientes, registros de garantia, *JDPower*, QAS e outros, às vezes estas não são suficientes para uma boa análise de causa raiz e conseqüentemente um trabalho adicional é requerido como realizar ligações para a concessionária para entrevistar o profissional que realizou a reparação do veículo, realizar entrevista com os clientes para entender o problema por ele mencionado entre outros.

2.2 Clima

Um dos desafios para os engenheiros de produto no mundo globalizado é de projetar veículos que venham atender aos requisitos específicos dos países aos quais os veículos serão exportados, sendo que existem requisitos legais que são características da legislação de cada país, requisitos dos clientes que podem ser definidos pela empresa importadora tais como os veículos devem ser exportados com rádio, direção hidráulica e outros, e existem os requisitos do cliente final que podem ser definidos através das pesquisas de satisfação dos clientes já mencionadas anteriormente (QAS, *JDPower* e etc).

Contudo, apesar de todo processo de validação dos veículos, que deveria reproduzir, em condições extremas, todas as condições aos quais os veículos poderiam estar expostos, o clima é um dos fatores que pode influenciar a confiabilidade dos veículos nos países de destino.

Segundo Klyatis (2002), nem todos os fatores climáticos e os fenômenos atmosféricos influenciam a confiabilidade, contudo as influências mais importantes na confiabilidade dos veículos são as radiações solares, variações de umidade do ar com mudanças de temperatura, velocidade dos ventos, neblina e poluição do ar (química, poeiras, etc) conforme mostra a figura 6.

Figura 6 – Diagrama de influências climáticas básicas e dos fenômenos atmosféricos nas propriedades dos materiais e na confiabilidade das máquinas
(Fonte: Klyatis, 2002)

Os fatores climáticos são responsáveis por vários modos de falhas, principalmente nos produtos que durante o uso estão expostos ao tempo, e estas são as razões pela qual se buscam modificações e ou melhorias nas propriedades físicas e químicas dos materiais que compõem o projeto dos produtos (metais, plásticos, eletrônicos, etc).

2.2.1 Radiação solar

O resultado da ação da radiação solar sobre os componentes está basicamente no acréscimo da temperatura dos mesmos e no acréscimo da temperatura do ar que envolve ou entra em tais componentes (carroceria do veículo, radiador, etc), sendo

que o efeito sobre os plásticos é extremamente preocupante, pois pode acelerar o envelhecimento do componente plástico.

A intensidade da radiação solar é avaliada pela quantidade de calor em Joule que recai sobre uma área de 1 cm^2 (J/cm^2) sobre uma superfície absolutamente negra. O aumento da temperatura de um corpo pela radiação solar depende da intensidade de radiação solar do ambiente externo e da capacidade refletiva e transmissividade da superfície do corpo. A capacidade reflexiva depende da cor bem como da rugosidade da superfície, ou seja, uma maior radiação pode ser refletida por um corpo com uma superfície mais regular. Se o corpo receber radiação, conseqüentemente ele se torna uma fonte de radiação, sendo que a sua temperatura poderá ser definida como a diferença entre o calor absorvido e a radiação interna e externa do corpo.

Atualmente as montadoras têm buscado reduzir custo e o peso dos automóveis, e para isto tem introduzido componentes plásticos nos veículos em substituição de componentes metálicos, um exemplo é o caso do pára-choque que na década de 70 era de aço e atualmente foi substituído por pára-choque plástico.

Segundo Klyatis (2002), a tendência é de que no futuro o plástico terá uma ampla aplicação em diferentes áreas da indústria. Um processo fotoquímico ocorre nos plásticos, borrachas e suas combinações sob a ação da radiação solar, e este processo decompõe as estruturas químicas dos materiais. A radiação solar, especificamente os raios ultravioleta podem destruir as uniões das moléculas de plástico. A radiação solar pode ainda acelerar o envelhecimento dos componentes plásticos conduzindo assim a falhas tais como trincas, perda da coloração natural e outros. O envelhecimento dos plásticos é acelerado pelo aumento da temperatura, presença de vapor, radiação de alta intensidade, e outros fatores, todavia a taxa de envelhecimento dos componentes plásticos expostos à radiação solar, depende diretamente da intensidade de radiação dos raios solares ultravioleta, e da resistência dos plásticos. Segundo Klyatis (2002), pesquisas tem mostrado que as ligações moleculares são rompidas e o processo de envelhecimento é acelerado nos plásticos quando a intensidade de radiação é maior que 16,8 KJ (Kilo-joules). Segundo Klyatis (2002), uma forma de se reduzir o processo de envelhecimento dos plásticos é mudando a capacidade de absorção de raios (aumento do grau de estabilidade e resistência ao calor), e injetar tais materiais com estabilizadores especiais que reduzem o processo de destruição.

2.2.2 Poluição

Segundo Klyatis (2002), a poluição química e física (poeira, etc) contribui para que ocorra a corrosão dos metais, reduz ainda as propriedades das graxas fazendo com que se reduza o poder lubrificante, contribui para que ocorra o desgaste dos componentes bem como o envelhecimento das borrachas, etc.

Segundo Liu (1999), as fontes de poluição do ar podem ser categorizadas de acordo com a fonte de poluição, a distribuição no espaço e o tipo de emissão. A figura 7, mostra a categorização dos principais meios poluentes.

Figura 7 – Áreas e fontes de poluição
(Fonte: Liu, 1999)

Segundo Liu (1999), a poluição atmosférica tem efeito sobre a deterioração dos materiais que estão expostos. A deterioração dos materiais que estão expostos inclui a corrosão dos metais, escurecimento das pinturas em cores claras, aceleração de trincas em borrachas e deterioração de vários materiais sintéticos. O dióxido de enxofre acelera a corrosão dos metais, necessitando assim de re-pintura de estruturas de metal e pontes. A taxa de corrosão em zonas urbanas com alto índice de poluição atmosférica é mais alta do que em zonas rurais devido a alta concentração de poluentes a base de enxofre contidos na atmosfera.

A chuva àcida por exemplo, pode também danificar os materiais sintéticos.

2.2.3 Temperatura

A temperatura dos materiais é aumentada como resultado de influências diretas da radiação solar, troca de calor entre o ar e os líquidos que estão em altas temperaturas. As fontes de calor em um veículo em funcionamento podem ser: o motor, componentes em fricção como embreagem, sistema de freios ou componentes em contato que geram calor através da fricção transformando energia mecânica em energia térmica.

As temperaturas altas têm grande influência sobre as propriedades dos componentes plásticos, eletrônicos, e líquidos. As temperaturas altas também exercem grande influência sobre a elasticidade das borrachas. Segundo Klyatis (2002), se a temperatura aumentar de 0 a 50°C, o alongamento relativo da borracha pode aumentar de 400 a 560%

A dissipação de calor de um semicondutor pode também elevar a temperatura dos equipamentos, sendo que os equipamentos eletrônicos tendem a falhar sob condições de temperaturas elevadas, em suma, a confiabilidade de cada componente é afetada pela operação em temperaturas elevadas. Os defeitos mais comuns causados pela operação em temperaturas elevadas são provenientes de:

- Coeficiente de expansão térmica;
- Movimento das uniões moleculares dos materiais;
- Corrosão;
- Eletro-migração;
- Difusão dos componentes.

A figura 8 mostra os efeitos da temperatura na taxa de falha de alguns equipamentos eletrônicos. As curvas mostram claramente que os resultados da confiabilidade estão ligados diretamente com a temperatura, e segundo Klyatis (2002), estudos tem demonstrado que mais de 75% de falhas em equipamentos eletrônicos podem estar relacionadas com a temperatura de operação, sendo que a relação entre a temperatura da junção e a resistência térmica, que indica a resistência da condutividade de calor é muito importante. A temperatura da junção (T_j) pode ser expressa conforme segue:

$$T_j = T_a + \theta_{j-a} \times P \quad (1)$$

Ta: Temperatura ambiente

θ_{j-a} : Resistência térmica entre a junção e o ar ambiente

P: Consumo de energia

Figura 8 – Efeito da temperatura de operação e a taxa de falhas
(Fonte: Klyatis, 2002)

Uma prática comum na indústria é manter a temperatura média dos equipamentos (também chamada de *junction temperature*) abaixo de 100°C considerando-se a pior condição de operação. Contudo, nos sistemas que requerem alta confiabilidade, é desejável que esta temperatura seja inferior a 85°C, sendo que esta temperatura máxima permitida e que normalmente é sugerida pelos fabricantes dos equipamentos é baseada na capacidade de dissipação de calor e da confiabilidade, um exemplo são os sistemas eletrônicos que tem a configuração do sistema de resfriamento baseado na máxima temperatura permitida, na taxa de dissipação de calor e nas especificações do meio ambiente.

As superfícies de elementos de máquinas que são pintadas de cores escuras, podem em muitos casos atingir magnitudes de até 80°C como resultado da influência direta da distribuição da radiação. No caso dos componentes de um motor, se eles trabalharem em altas temperaturas, então haverá um resfriamento mais agressivo ou o sistema de arrefecimento terá que trabalhar forçado para poder manter o motor sob condições normais de trabalho.

Em um veículo os componentes que mais geram calor são os componentes que trabalham em atrito do tipo fricção como sistema de freios, embreagem e outros, ou seja, os componentes que transformam energia mecânica em energia térmica. Segundo Nagayoshi, Inoue e Hara (2004), testes realizados mostram o gradiente de temperatura que pode ocorrer em um disco de freio ventilado conforme mostra a figura 9, ou seja, um disco de freio ventilado em condições de teste com temperatura inicial de 50°C, velocidade inicial 100km/h e pressão de frenagem de 3,5MPa pode ter seu gradiente de distribuição de temperatura distribuído na face do disco onde o ponto de maior temperatura pode chegar a 190°C.

Figura 9 – Temperatura superficial em um disco de freio ventilado

(Fonte: Nagayoshi, Inoue e Hara, 2004)

Os materiais isolantes dos condutores elétricos (cabos, chicotes, cobertura de equipamentos elétricos, etc) absorvem calor do meio ambiente (radiação solar e ar quente) e o calor que é emitido dos condutores. Diferentes tipos de materiais isolantes a base de plásticos, borrachas e outros, são utilizados, contudo o processo

de envelhecimento destes materiais depende da ação de temperaturas altas, radiação solar, umidade e oxigênio do ar.

A viscosidade dos combustíveis líquidos, graxas, solventes, e outros, é reduzida sob a ação de temperaturas altas. Com a redução da viscosidade, a qualidade da graxa ou o poder de lubrificação também é reduzido, pois como consequência da perda de viscosidade a espessura do filme de óleo é reduzida, sendo assim ocorre uma aceleração da abrasão a qual gera um desgaste da superfície lubrificada.

Com o aumento da temperatura, também há uma redução da viscosidade dos fluidos que são usados nos componentes hidráulicos e fluídos de freio, isto também propicia o aumento de desgaste dos motores hidráulicos e cilindros resultando assim no vazamento dos fluidos, sendo que a tendência é o fluido vazar da área com maior pressão para a área com menor pressão. Segundo Klyatis (2002), o processo de oxidação e envelhecimento dos óleos e fluidos é intensificado sob temperaturas altas, contudo o envelhecimento depende diretamente da densidade de evaporação.

2.2.4 Flutuações de temperatura e outras mudanças bruscas dos fatores climáticos

Segundo Klyatis (2002), as temperaturas altas e baixas exercem influências opostas na composição dos materiais, sendo que mudanças bruscas de temperatura (durante um dia ou algumas horas) contribuem negativamente para os efeitos de funcionamento dos equipamentos. Os efeitos das mudanças bruscas de temperatura também podem ser vistos na pintura protetiva que pode gerar trincas na camada de tinta.

2.2.5 Umidade do ar, neblina e orvalho

A umidade do ar exerce influência negativa nos materiais dependendo da porcentagem de vapor conforme tabela 7. Em umidades elevadas, se reduz a qualidade do material, pois há uma penetração de umidade no componente e cria-se uma camada de vapor na superfície do material podendo assim gerar corrosão e em caso de componentes eletrônicos gerar curto circuito. Se a quantidade de vapor no ar é baixa, o vapor contido nos materiais evapora e resulta em modificações internas dos materiais como: torna-se frágil e aparecem trincas.

Os materiais higroscópicos absorvem umidade e/ou vapor do ar ambiente, por exemplo, os materiais isolantes que são produzidos de algodão ou papel. O vapor

pode penetrar nos materiais (condensação e capilaridade) ou penetrar na estrutura do polímero e também através das trincas e poros do material.

Tabela 7. Características das influências da umidade do ar nos aspectos internos dos materiais e as condições de trabalho dos equipamentos.

Umidade alta	Umidade baixa
Corrosão dos metais	Aparecimento de trincas e micro destruição os materiais isolantes
Saturação dos óleos minerais, fluidos e óleo combustível	
Mudança da consistência da graxa com formação de emulsão	Graxa se torna mais sólida
Redução da resistência volumétrica dos materiais isolantes	Materiais vedadores secam e trincam
Redução da superfície resistente ao isolamento	Deformação dos plásticos
Aumento da permeabilidade dielétrica do ar	
Criação de mofo	

Fonte: Klyatis (2002)

A umidade do ar reage com os óleos minerais que envolvem os componentes e como resultado, há uma redução do poder de lubrificação e conseqüente redução do poder anticorrosivo interno dos óleos.

Já a baixa umidade do ar, causa a secagem dos materiais os quais podem trincar e/ou deformar-se.

A baixa umidade do ar também contribui para o efeito da eletricidade estática. Segundo Mack (2005), a eletricidade estática é gerada por contato e separação de materiais diferentes. A eletricidade estática, por exemplo, é gerada quando líquidos fluem dentro de uma tubulação, ou saem desde um orifício até um tanque. Os principais riscos advindos da eletricidade estática são os incêndios e as explosões, provocados por descargas de eletricidade na forma de centelhas que contém energia suficiente para inflamar qualquer vapor, gás ou poeira inflamável. Além disso, uma descarga de eletricidade estática recebida por um operador, pode fazê-lo

reagir de forma involuntária, o que poderá dar por resultado, uma queda e conseqüentes lesões.

Um lugar muito perigoso para que haja centelhas produzidas pela eletricidade estática é onde há vapores inflamáveis em misturas com o ar. Uma centelha entre dois corpos ocorre quando há uma boa condutividade elétrica entre eles, em conseqüência é necessário conectar à terra e ligar entre si os recipientes que contém os líquidos inflamáveis, evitando assim que a eletricidade estática produza uma centelha que resultaria numa explosão da mistura gasosa. A forma de redução e/ou eliminação de eletricidade eletrostática é através do aterramento dos equipamentos e dos diversos componentes dos veículos, ou seja, a ligação ou aterramento se efetua para eliminar a diferença de potencial entre dois objetos. Apesar de que uma ligação entre dois objetos pode eliminar uma diferença de potencial entre os mesmos, não poderá eliminar uma diferença de potencial entre os dois objetos e a terra, a menos que um objeto possua uma via condutora ligada à terra. Assim sendo, uma ligação entre dois objetos não poderá eliminar uma carga elétrica, senão somente equilibrá-la entre os dois para que não surja uma centelha entre os mesmos.

Os líquidos derivados do petróleo podem acumular cargas estáticas quando fluem através de tubulação, se agitam dentro de um tanque, ou quando são submetidos a movimentos violentos, como, por exemplo, quando são pulverizados ou agitados. Uma boa ligação entre os tanques e um bom aterramento geralmente descarregam a eletricidade à terra, tão rapidamente ou ao mesmo momento em que é gerada.

Na aviação, a eletricidade estática é fator relevante à segurança das aeronaves. Um avião, por exemplo, após aterrissar necessita ser descarregado estaticamente, pois a tensão desenvolvida pode facilmente ultrapassar 250.000 Volts.

Os helicópteros também precisam ser descarregados estaticamente, pois a carga eletrostática acumulada na fuselagem pode provocar centelhas e explosões ao ser transferida para o ambiente de aterrissagem.

Nos automóveis também ocorre a eletrização quando estes são submetidos a grandes velocidades ao ar seco, podendo seus ocupantes ao sair ou entrar no veículo tomarem uma descarga elétrica.

Em eletrônica, a eletricidade estática é objeto de estudo e pesquisa, pois muitos são os danos causados pela eletrização dos corpos e sua conseqüente descarga em equipamentos e componentes.

2.2.6 Combinação dos fatores climáticos básicos

Na utilização do veículo, os fatores climáticos atuam simultaneamente e em combinação produzem efeitos sobre a confiabilidade do produto, contudo os efeitos desta ação dependem diretamente da inter-relação destes fatores. As combinações mais desfavoráveis são os fatores como baixa temperatura do ar e vento, alta temperatura do ar e baixa umidade, etc.

A questão fatores climáticos é difícil de ser abordada, todavia muitas condições e combinações de fatores podem ser estudadas em laboratório, sendo que se sabe que estes fatores influenciam a confiabilidade dos produtos, porém um produto com alta confiabilidade em uma zona climática não necessariamente significa que o produto irá ter a mesma confiabilidade em outras zonas.

2.3 Topografia

Com a competição global, muitos produtos são desenvolvidos em um determinado país, porém para uso e aplicação em outro país totalmente diferente, sendo que as condições de operação quase sempre variam de um mercado para outro, e se estas diferenças não forem levadas em consideração na fase de desenvolvimento, o produto pode não atender a necessidade do mercado ao qual ele foi designado.

A figura 10 mostra diferenças entre aplicações e uso de veículos em mercados distintos.

Figura 10 – Exemplos de aplicações em mercados distintos

(Fonte: Zhou, 2005)

Embora os veículos passem por validações e testes de adequação para cada mercado nos quais serão utilizados, conforme será discutido em um capítulo mais adiante, sabe-se que cada país tem a sua topografia como altitude, tipo de pavimento utilizado (piso de terra, concreto ou piche), condições de tráfego, condições das estradas de rodagem sendo que os conjuntos destes fatores vão ajudar a delinear a confiabilidade do veículo.

Segundo Zhou (2005), tomando como exemplo o modo de falhas de ruído nos veículos, os engenheiros de produto devem levar em consideração o ambiente externo ou meio ambiente onde o produto será utilizado e/ou exposto como:

- Sol, vento, temperatura, umidade;
- Condições de tráfego, submersão em água;
- Poeira, sujeira, contaminação;
- Condições das estradas de rodagem, distância do chão.

Os engenheiros de produtos deveriam considerar ainda para o modo de falha ruído, além do meio ambiente ao qual o produto será submetido, mais a solicitação que o produto poderá ter no mercado ao qual o produto é destinado em cada fator analisado.

Tomando como exemplo a buzina, em ambiente de chuva intensa como ocorre em alguns países da Ásia, pode causar entrada excessiva de água na buzina. Um outro exemplo ainda acerca de buzina, na Índia por legislação os motoristas são obrigados a buzinares quando forem fazer alguma ultrapassagem, sendo assim a aplicação é muito mais severa que no Brasil, ou seja, estas diferenças de aplicações deveriam ser levadas em consideração no desenvolvimento de um veículo destinado a exportação.

Outros fatores ainda poderiam ser relevantes para o desenvolvimento como:

- Alta temperatura pode causar corrosão dos metais;
- A distância do chão pode causar danos no Carter;
- Alta temperatura, alta umidade e tráfego pesado podem afetar o desempenho ao ar condicionado;
- Entrada de água no motor pode causar o chamado calço hidráulico.

Um ponto não menos importante, porém que deve ser levado em consideração pelos engenheiros de produto é quanto à condição de uso dos clientes em cada país, pois cada país possui sua própria cultura e respectivamente a sua forma específica de dirigir e conduzir os veículos fazendo assim com que ocorra maior ou menor desgaste sobre as partes dos veículos, como pneus, componentes da suspensão, freios e outros. Um outro aspecto é quanto à quilometragem média rodada, que pode variar de um país para outro e conseqüentemente os itens de durabilidade também podem variar de um país para outro assim como a percepção dos clientes.

2.4 Combustível

Um ponto não menos importante que os demais e que deve ser analisado, é o efeito dos combustíveis na confiabilidade dos veículos. Apesar de a base exportadora

desenvolver um veículo e validá-lo contra as especificações, cada país tem sua legislação de forma de monitorar a qualidade dos combustíveis que são vendidos no mercado.

Segundo Jarrett (2006), a qualidade do combustível tende a piorar quando ocorre aumento de preço dos combustíveis, pois o combustível que normalmente seria descartado é vendido e aumenta o risco de contaminação (água, sujeira, partículas biológicas, etc).

Um outro aspecto relevante é que o tipo de combustível afeta as emissões, sendo assim o combustível de má qualidade pode aumentar as emissões, ou seja, a queima de gasolina nos motores dos automóveis produz, em maior quantidade, dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O). Como a queima não é total, ou seja, a gasolina não reage inteiramente com o oxigênio, há ainda a produção de monóxido de carbono (CO); óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO_2), provenientes da queima das impurezas presentes na gasolina; vapores de hidrocarbonetos (C_xH_y) que não foram queimados; compostos de chumbo, quando a gasolina possui aditivos à base desse metal (como o chumbo-tetraetila) entre outros. Estes compostos são eliminados pelo escapamento do automóvel, poluindo, assim, a atmosfera. Exceto o CO_2 e a H_2O , todos os demais são altamente nocivos à saúde humana. Os motores movidos a óleo diesel emitem menos monóxido de carbono, mas bastantes óxidos de nitrogênio e enxofre, além da fuligem, que é a fumaça preta característica lançada pelos ônibus e caminhões; esta fumaça é o resultado da queima parcial do óleo, liberando partículas de carbono finamente dividido na atmosfera.

Segundo Rangel e Carvalho (2002), nos carros a álcool produzidos no Brasil a quantidade emitida de NO_x e de SO_2 é desprezível, mas há eliminação de aldeídos, que também constituem uma ameaça à saúde da população. De qualquer maneira, o carro movido a álcool é bem menos poluente que o movido a gasolina; daí a técnica usada no Brasil de se adicionar cerca de 20% de álcool na gasolina, a fim de evitar altos índices de poluição.

A queima de hidrocarbonetos de combustível no interior de um motor de combustão produz hidrocarbonetos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, oxigênio, e vapor de água. As emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, e óxidos de nitrogênio estão sujeitos a regulamentações governamentais.

O motor produz diferentes quantidades dos gases acima mencionados de acordo com a relação ar/combustível. O ponto no qual a mistura ar/combustível é quimicamente balanceada é conhecido como ponto estequiométrico. Conforme mostrado na figura 11, um motor produz significativamente mais HC e CO quando a mistura é rica, enquanto NO_x é baixo para uma mistura pobre.

Figura 11 – Emissões de um motor a gasolina em função da razão ar/combustível
(Fonte: Rangel e Carvalho, 2002)

Conforme mencionado anteriormente, os combustíveis são controlados por algum órgão governamental. No caso do Brasil a ANP – Agência Nacional do Petróleo é quem regulamenta e controla a qualidade dos combustíveis vendidos no mercado brasileiro.

Segundo a ANP (2006), a especificação define, por meio de um conjunto de características e respectivos limites, a qualidade mínima necessária ao bom desempenho do produto. Para tanto, é função da ANP regular a qualidade dos produtos derivados de petróleo, atendendo à Política Energética Nacional e proteger os anseios da sociedade e do consumidor quanto à adequação ao uso e ao meio ambiente, considerando a realidade nacional.

Segundo Cruz (2004), os gases tóxicos emitidos pelos motores de combustão interna provocam os seguintes efeitos no ser humano:

- Danos causados à saúde;
- Diminuição da oxigenação do sangue;
- Alteração do sistema nervoso central;
- Pode ser fatal, em doses altas;
- Provoca coriza, catarro e danos irreversíveis ao pulmão;
- Causa envelhecimento precoce;
- Diminui a resistência a infecções;
- Agrava quadros alérgicos;
- Pode ser cancerígeno;
- Aumenta a incidência de câncer no pulmão;
- Provoca irritação nos olhos, nariz e garganta;
- Etc.

Segundo Cruz (2004), os limites de emissões para veículos e comerciais leves, bem como pesados podem ser vistos nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Limites de emissões em veículos e comerciais Leves

Tipo de veículo	Datas de efetivação	Phase-in Vendas %	Limites de Emissões (g/km) – Evaporativa (g/teste)							
			CO	THC	NMHC	NOx	Aldeídos	MP	Evaporativa	
Veículos leves de passageiros	1997	100%	2,0	0,3	-	0,6	0,03	0,05	2,0	
	2005	40%		0,3 ⁽¹⁾	0,16	0,25/0,60 ⁽²⁾				0,02
	2006	70%								
	2007	100%								
	2009	100%			0,05	0,12/0,25 ⁽²⁾	0,02			
Comerciais leves M<1700kg	1998	100%	2,0	0,3	-	0,6	0,03	0,12	2,0	
	2005	40%		0,3 ⁽¹⁾	0,16	0,25/0,60 ⁽²⁾		0,02		0,08
	2006	70%								
	2007	100%								
	2009	100%			0,05	0,12/0,25 ⁽²⁾	0,02	0,05		
Comerciais leves M>1700kg	1998	100%	6,2	0,5	-	1,40	0,06	0,16	2,0	
	2005	40%	2,7	0,5 ⁽¹⁾	0,20	0,43/1,0 ⁽²⁾	0,06	0,10		
	2006	70%								
	2007	100%								
	2009	100%			2,0	0,06	0,25/0,43 ⁽²⁾	0,04		0,06

1 - Apenas para aplicação em Gás Natural

2 - Maior valor válido para motores diesel (atualmente é proibida a comercialização)

Fonte: Cruz, 2004

Tabela 9 – Limites de emissões em veículos pesados e comerciais a diesel com peso total máx. > 2000kg

Data	Aplicação	Ensaio	Limites de Emissões (g/kWh) – Opacidade (m ⁻¹)						
			CO	THC	NMHC	NO _x	CH ₄ ⁽¹⁾	MP	Opacidade
Em vigor	Modelos antigos até 60% da produção	ECE R49 e acel. livre	4,0	1,1	-	7,0	-	0,15 ou 0,25 ⁽²⁾	Tabela específica
01/01/04	100% ônibus urbanos ou 60% de todos motores diesel	ESC e ELR	2,1	0,66	-	5,0	-	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,8
01/01/05	100% ônibus urbanos, 100% micro-ônibus e 40% demais motores diesel	ESC e ELR	2,1	0,66	-	5,0	-	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,8
01/01/06	Todos motores do ciclo diesel	ESC e ELR	2,1	0,66	-	5,0	-	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,8
01/01/04	Motores diesel com pós-tratamento avançado (cat. Nox e filtro de MP)	ESC e ELR	2,1	0,66	-	5,0	-	0,10 ou 0,13 ⁽²⁾	0,8
		ETC	5,45	-	0,78	5,0	1,6	0,16 ou 0,21 ⁽²⁾	-
01/01/05	Motores a GNC ⁽³⁾	ETC	5,45	-	0,78	5,0	1,6	-	-
01/01/09	Todos veículos pesados ciclo diesel	ESC e ELR	1,5	0,46	-	3,5	-	0,02	0,5
		ETC	4,0	-	0,55	3,5	1,1	0,03	-
01/01/09	Veículos a GNC	ETC	4,0	-	0,55	3,5	1,1	-	-

1 - Apenas para aplicação em Gás Natural

2 - Maior valor para motores de cilindrada unitária inferior a 0,75 dm³ e rotação à potência nominal superior a 3000 min⁻¹.

3 - A confirmar até 31/12/04, podendo ser dispensados mediante justificativa técnica.

Fonte: Cruz (2004)

Os contaminantes mais comuns da gasolina são: agentes provenientes da adulteração, sujeira e corrosão.

Segundo a ANP (2006), a adulteração é a mistura de qualquer substância diferente ou acima das especificações permitidas, originando um produto de qualidade inferior. Exemplo: embora a água faça parte da mistura do álcool, em quantidade acima do permitido ele vira aguado (o chamado álcool molhado). A gasolina pode ser adulterada de vários modos, e os mais comuns são a adição de álcool fora da quantidade especificada ou a colocação de vários tipos de solventes como o tolueno, metanol, benzeno etc, acima dos valores máximos permitidos. O importante é saber que, mesmo fazendo parte da gasolina, componentes em excesso também constituem uma adulteração prejudicial ao consumidor.

Segundo Arruda (2005), quando ocorre a contaminação da gasolina os primeiros sintomas são falhas repentinas no motor, marchas lentas irregulares, dificuldades nas partidas e motor “batendo pino” com frequência conforme mostra figura 12, contudo o desempenho e o rendimento do motor diminuem. Às vezes, o motor apaga ou engasga, além da perda gradativa da potência e da força.

Figura 12 - Figura esquemática da batida de pino de motor

(Fonte: Zambrzycki, 2004)

Este fenômeno de batida de pino ou detonação ocorre quando a mistura é queimada pela centelha da vela e a combustão se processa normalmente até que a frente de chama comprime e superaquece os gases ainda não queimados. Surge então uma chama não controlada que provoca algo semelhante a uma explosão na câmara. Essa explosão avança com velocidade supersônica no interior do cilindro do motor, criando uma onda de choque, com ruído característico de batida metálica que ressoa sobre as paredes e as superfícies da câmara.

Outra característica é a aceleração mais lenta. O combustível adulterado corrói borrachas e componentes, prejudicando as peças fundamentais do motor.

Segundo Arruda (2005), o uso contínuo de gasolina adulterada gera o desgaste nos anéis porque o óleo lubrificante do motor é compatível à gasolina e não ao solvente ou aos líquidos utilizados na adulteração.

É um estrago geral: corrói as válvulas e a câmara de combustão, aumenta o consumo, derrete mangueiras, danifica bomba de combustível e aumenta a carbonização de velas e válvulas. Além disso, o ataque químico forma uma massa preta, uma borra, que entope o bico injetor e impede a lubrificação dos anéis, danificando componentes como o virabrequim e o comando de válvulas, fundindo o motor conforme mostra figura 13.

Figura 13 – Modos de falhas em motores e bombas de combustível
(Fonte: Cruz, 2004)

Segundo Arruda (2005), para mostrar que o uso do combustível adulterado no Brasil é elevado, pesquisas mostram que na Europa, a limpeza do bico injetor é feita acima dos 100 mil km rodados e no Brasil, a limpeza é recomendada a cada 30 mil km. Para eliminar o problema, o ideal é retirar todo o combustível adulterado que existe no tanque e abastecer em posto de confiança. Caso o motor continue falhando e com baixo rendimento, deve-se ir a uma concessionária e em alguns casos, será

necessário trocar as mangueiras e o filtro de combustível. Outra consequência é a troca da bomba de combustível.

Problemas causados pelo uso de combustível adulterado:

- Falhas repentinas no motor;
- Marchas lentas irregulares;
- Dificuldades nas partidas;
- Motor “batendo pino” com frequência;
- Desempenho e o rendimento do motor diminuem;
- Motor apaga ou engasga;
- Perda gradativa da potência e da força;
- Aceleração mais lenta;
- Aumento do consumo;
- Danos na bomba de gasolina;
- Deterioração no sistema de injeção eletrônica;
- Entupimento no bico injetor.

Conforme mencionado anteriormente, cada país tem a sua legislação e forma de controle da qualidade do combustível que é vendido no mercado, o anexo A mostra pesquisas realizadas em 2006 sobre a qualidade dos combustíveis (gasolina) nos países ora estudado a confiabilidade dos veículos.

Outros elementos que compõem a gasolina poderiam ser mostrados no anexo A, todavia foram pesquisados, mas considerados na tabela somente os componentes mais importantes e que afetam o funcionamento dos veículos conforme detalhado a seguir.

Segundo a Petrobrás (2006), a gasolina é um combustível obtido do refino do petróleo e composto, basicamente, por uma mistura de hidrocarbonetos (compostos orgânicos que contêm átomos de carbono e hidrogênio). Os processos de refino utilizados na produção da gasolina compreendem vários processos. De um modo geral, o processo começa com uma simples separação física, denominada destilação. Da destilação aproveita-se a nafta para a produção da gasolina. Dessa mesma destilação obtêm-se várias parcelas, uma delas denominada gasóleo. O gasóleo passa por processo complexo, que modifica a estrutura das moléculas, chamado craqueamento catalítico. Deste processo é obtida uma outra nafta

chamada nafta de craqueamento que pode ser adicionada à nafta de destilação para a produção de gasolina.

No Brasil, existem 3 tipos de gasolina automotiva comercializadas: Comum, Comum Aditivada, Premium. Todas recebem, por força de lei federal, a adição de álcool anidro, cujo teor varia de 20 a 25% dependendo da disponibilidade de álcool no mercado. Hoje o percentual é de 20% de álcool anidro.

A gasolina comum, é a gasolina mais simples e barata. Possui normalmente a cor natural da gasolina que varia de incolor a amarelada e pode ser utilizada em qualquer veículo movido à gasolina que não requeira propriedades superiores como dispersão de depósitos ou alta octanagem.

A gasolina comum aditivada, é obtida pela adição de dispersantes na gasolina comum. Os aditivos dispersantes têm a função de manter limpo todo o sistema de alimentação de combustível (tanque, bomba de combustível, tubulações, carburador, bicos injetores e válvulas do motor). Normalmente recebe um corante que a deixa com a cor esverdeada para diferenciá-la da gasolina comum, e pode ser utilizada em qualquer veículo movido à gasolina que não requeira propriedades de alta octanagem. É especialmente recomendada para carros à injeção eletrônica, como é o caso da maioria dos carros atualmente no Brasil (onde praticamente não se vendem mais carros novos a carburador).

A gasolina premium, é uma gasolina com maior octanagem que a comum (no mínimo 91 octanas de IAD, índice antidetonante, enquanto a comum tem mínimo de 87); é normalmente incolor a amarelada, e pode ser utilizada em qualquer veículo movido a gasolina, mas é especialmente recomendada para veículos com motores que exijam gasolina de alta octanagem. Geralmente são veículos importados e sofisticados, equipados com alta taxa de compressão (maior que 10:1). No caso especial do Brasil, onde há incentivo governamental para a produção de carros populares de 1000 cm³, alguns destes carros possuem alta taxa de compressão e se beneficiam do uso desta gasolina, obtendo-se com ela maior desempenho.

A gasolina podium, é a melhor gasolina do mercado brasileiro, sendo uma premium de qualidade superior uma vez que a produtora Petrobras adotou requisitos ainda mais exigentes que a premium usual. Possui octanagem mínima de 95 octanas de IAD, baixa formação de depósitos, baixo teor de enxofre (máximo de 30 ppm) e é isenta de benzeno, causando assim uma redução das emissões de poluentes no meio ambiente. Não tem coloração (incolor), e pode ser utilizada em qualquer

veículo movido à gasolina, mas é especialmente recomendada para veículos com motores que exijam gasolina de alta octanagem.

Para a produção da gasolina Premium são utilizados processos ainda mais sofisticados que fornecem correntes de elevada octanagem, como a alquilação e a reforma catalítica. O tempo para produção de uma gasolina varia muito dependendo do tipo de petróleo, do(s) processo(s) utilizado(s), da quantidade que se precisa produzir e do tipo de gasolina (comum ou premium). Além da octanagem, outros fatores devem ser considerados para a produção de uma gasolina de qualidade elevada, como, por exemplo, a sua volatilidade, a sua estabilidade e a sua corrosividade, de forma a garantir o funcionamento adequado dos motores.

A gasolina premium já existe há muito tempo nos países da Europa e nos Estados Unidos. Nesses países a disponibilização pela indústria automobilística de veículos com motores de alto desempenho exigem combustível de maior desempenho antidetonante e que possibilite atingir potência máxima prevista em seus projetos.

A característica antidetonante da gasolina Premium produzida no Brasil apresenta um desempenho no mesmo nível daquela existente na Europa e nos Estados Unidos. O que basicamente, diferencia a gasolina brasileira da gasolina existentes nesses países é o produto oxigenado utilizado em sua composição: enquanto lá utilizam o MTBE, no Brasil, por força da legislação vigente, utiliza-se o Etanol Anidro, tanto na gasolina Premium quanto na gasolina comum.

Um aspecto importante na gasolina é quanto ao uso do chumbo tetraetila, que no Brasil em 1989, foi um dos primeiros países a retirarem o chumbo tetraetila de suas gasolinas automotivas. O chumbo tetraetila era utilizado para aumentar a octanagem da gasolina, mas, por questões ambientais, foi eliminado. O chumbo somente é utilizado na gasolina de aviação, sendo seu uso prejudicial aos carros modernos, equipados com catalisadores e sonda-lâmbda.

2.4.1 Octanagem

A qualidade da gasolina é constantemente avaliada levando-se em conta a sua octanagem ou o seu índice antidetonante (IAD). A octanagem de uma gasolina indica sua resistência à detonação, em comparação com uma mistura contendo iso-octano (ao qual é creditado um número de octano igual a 100) presente em uma mistura com n-heptano (número de octano igual a zero). Exemplificando, uma gasolina terá uma octanagem igual a 80 se, durante o teste, apresentar a mesma

resistência à detonação apresentada por uma mistura que contém 80% em volume de iso-octano e 20% em volume de n-heptano.

A avaliação da octanagem da gasolina é justificada pela necessidade de garantir que o produto atenda às exigências dos motores no tempo de compressão e início da expansão (quando ocorrem aumento de pressão e de temperatura) sem entrar em auto ignição, ou seja, a octanagem é a resistência que a gasolina tem à auto-ignição (detonação), o que pode levar à detonação localizada, causando perda de potência e sérios danos ao motor, dependendo de sua intensidade e persistência. A detonação é mais conhecida como batida de pino, que é igual a um barulho metálico. Um combustível com maior octanagem tem melhor poder de combustão e resiste a altas pressões no interior dos cilindros, sem sofrer detonação. Os projetistas de motores levam em conta a octanagem do combustível utilizado para determinar a taxa de compressão, curvas de avanço de ignição e tempo de injeção. A figura 14 mostra a cabeça de um cilindro do motor com os efeitos do uso de combustível com baixa octanagem (87 RON) sobre um motor que havia sido desenvolvido para aplicação com gasolina de octanagem 95 RON.

Figura 14 – Cilindro do motor danificado devido ao uso de combustível com baixa octanagem

(Fonte: Garcia, 2003)

Para a avaliação da octanagem das gasolinas automotivas, encontram-se disponíveis os dois métodos a seguir apresentados:

- **Método MON (*Motor Octane Number*)**

Esse método avalia a resistência da gasolina à detonação quando está sendo queimada em condições de funcionamento mais exigentes e em rotações mais elevadas, como acontece nas subidas de ladeira com marcha reduzida e velocidade alta e nas ultrapassagens (quando a aceleração é aumentada mesmo já estando o carro em alta velocidade). O número de octano motor é o que é atualmente especificado para a gasolina brasileira contendo álcool etílico.

- **Método RON (*Research Octane Number*)**

É um método que avalia a resistência da gasolina à detonação sob condições mais suaves de trabalho e a uma rotação menor do que aquela avaliada pela

octanagem MON, como ocorre por exemplo, ao arrancarmos o veículo em um sinal. O teste é feito em motores semelhantes àqueles utilizados para o teste da octanagem MON.

A octanagem RON não faz parte do quadro da especificação brasileira da gasolina automotiva dos tipos premium ou comum, constando porém, do quadro de especificações da gasolina padrão.

No que diz respeito à octanagem necessária para o bom funcionamento dos motores, é importante saber que, para cada projeto básico de motor, existe uma característica de resistência mínima à detonação, requerida. O uso de uma gasolina com octanagem superior àquela para o qual o motor foi projetado não trará a ele nenhum ganho de desempenho. Já o uso de um combustível com octanagem menor do que aquela prevista no projeto, causará perda de potência e aumento do consumo de combustível, podendo até mesmo causar danos no motor.

Os veículos fabricados no Brasil até hoje têm os seus motores regulados para um número de octanagem MON igual a 80, que é o valor mínimo especificado para a gasolina C – comum. Quanto aos veículos importados, esses são, originalmente, projetados para a octanagem do combustível do país onde são fabricados. Geralmente necessitam de uma gasolina de maior octanagem como a gasolina Premium que apresenta o índice antidetonante (IAD = 91, mínimo).

- **Índice antidetonante (IAD)**

Quando se trata de definir a octanagem requerida pelos motores e que, conseqüentemente, deve ser atendida pelas gasolinas, alguns países – entre eles os Estados Unidos e o Brasil, em se tratando da gasolina premium – adotam ao invés do número de octanagem MON ou RON, o índice antidetonante (IAD) como representativo do desempenho antidetonante do combustível. O que ocorre é que dependendo do projeto do motor do veículo e das condições em que ele opera, o desempenho antidetonante do combustível pode ser melhor representado, em alguns casos pela octanagem MON em outras pela octanagem RON. Com o índice antidetonante (IAD), estima-se o desempenho antidetonante do combustível para um universo mais amplo de veículos o que coloca em vantagem em relação a octanagem MON ou RON, separadamente.

O IAD é definido como a média entre as octanagens MON e RON conforme mostra a equação 2:

$$IAD = \frac{(MON + RON)}{2} \quad (2)$$

2.4.2 Aromáticos

Segundo a Petrobrás (2006), os aromáticos são compostos que possuem pelo menos um anel aromático (ou benzênico) em sua estrutura molecular. São compostos mais densos, aumentam a octanagem da gasolina e tendem a gerar mais fuligem na queima.

A família dos aromáticos tem a estrutura em forma de anel, com seis átomos de carbono, aos quais são unidos o hidrogênio ou grupo de átomos de hidrogênio e carbono.

Os aromáticos são quimicamente mais estáveis do que outros compostos insaturados. São mais resistentes que o iso-octano à auto-ignição. Porém a adição de cadeias laterais ao anel benzênico, reduz a razão crítica de compressão.

2.4.3 Olefinas

Segundo a Petrobrás (2006), olefinas são hidrocarbonetos que possuem na sua estrutura molecular ligações duplas ou triplas entre carbonos. Apesar de aumentarem a octanagem da gasolina, são compostos indesejáveis na gasolina por oxidarem (reagirem com oxigênio) facilmente e formarem goma. A goma é um tipo de polimerização das olefinas que prejudica o desempenho dos veículos principalmente por sujar e entupir os bicos de injeção de combustível nos motores.

A figura 15 mostra os efeitos do acúmulo de goma nos bicos injetores.

Figura 15 - Efeitos da formação de goma nos bicos injetores
(Fonte: Stragevitch, 2005)

2.4.4 Benzeno

O Benzeno é um hidrocarboneto aromático que se apresenta como um líquido incolor, lipossolúvel, volátil, inflamável, de odor característico, perceptível a concentrações da ordem de 12 ppm.

Segundo o centro de pesquisas da Petrobras (2006), o benzeno é um hidrocarboneto cíclico com 6 carbonos e 6 hidrogênios. Por ser aromático, contribui para o aumento da octanagem da gasolina. Sua presença é restringida por lei por ser uma substância cancerígena, ou seja, o valor do benzeno é controlado em no máximo 1% por ser carcinogênico.

É uma substância usada como solvente (de iodo, enxofre, graxas, ceras, etc.) e matéria-prima básica na produção de muitos compostos orgânicos importantes como fenol, anilina, trinitrotolueno, plásticos, gasolina, borracha sintética e tintas.

2.4.5 Enxofre

O enxofre (latim *sulfur*) é um elemento químico de símbolo S. Este não-metal tem uma coloração amarela, mole, frágil, leve, desprende um odor característico de ovo podre ao misturar-se com o hidrogênio, e arde com chama azulada formando dióxido de enxofre. É insolúvel em água porém se dissolve em dissulfeto de carbono.

O enxofre é usado em múltiplos processos industriais como, por exemplo, na produção de ácido sulfúrico para baterias, fabricação de pólvora e vulcanização da

borracha. O enxofre também tem usos como fungicida e na manufatura de fosfatos fertilizantes.

Segundo a Petrobrás (2006), o enxofre é um contaminante comum da gasolina, normalmente encontrado em centenas de partes por milhão. É controlado pela legislação, por ser um produto prejudicial aos catalisadores veiculares, essenciais para o controle das emissões veiculares

O enxofre é um elemento indesejável em qualquer combustível devido à ação corrosiva de seus compostos e à formação de gases tóxicos como SO_2 (dióxido de enxofre) e SO_3 (trióxido de enxofre), que ocorre durante a combustão do produto. Nos veículos dotados de catalisador, quando a carga de material catalítico não é adequada ou quando não está devidamente dimensionada, o enxofre pode levar à formação de ácido sulfídrico (H_2S) que é tóxico e apresenta odor desagradável.

A análise é feita incidindo raios X em uma célula contendo amostra do produto. Neste teste, os átomos de enxofre absorvem energia de um comprimento de onda específico numa quantidade proporcional à concentração de enxofre presente na gasolina. Devido ao alto teor de enxofre da gasolina e do óleo diesel, esforços tem sido dispendido mundialmente no sentido de reduzir a quantidade de enxofre dos combustíveis conforme mostram as figuras 16 e 17, no Brasil o Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) tenta promover a adequação dos combustíveis automotivos comercializados, para que resultem em produtos menos agressivos ao meio ambiente e à saúde pública.

Figura 16 – Evolução do teor de enxofre na gasolina
(Fonte: Szwarc, 2004)

Figura 17 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel
(Fonte: Szwarc, 2004)

2.4.6 Goma lavada

Segundo a Petrobrás (2006), a goma lavada é um material de alto peso molecular, produto da oxidação da gasolina, mas que se encontra solubilizado na mesma, somente podendo ser observado após a evaporação da gasolina. É controlado na produção da gasolina para que não ocorra a formação de depósitos nos motores em níveis elevados, quando da queima da gasolina.

2.4.7 Metanol e Etanol

O Metanol também conhecido como álcool metílico, é um composto químico com fórmula química CH_3OH .

Segundo o centro de pesquisas da Petrobras (2006), o metanol e o etanol são álcoois que podem ser adicionados à gasolina. Fazem parte dos produtos chamados oxigenados. No Brasil, não é permitida a adição de metanol à gasolina. Já o etanol é obrigatório por lei. Atualmente, o valor estabelecido para adição é de 20% em volume.

O metanol é um líquido, fundindo-se a aproximadamente $-98\text{ }^{\circ}\text{C}$, é inflamável e muito venenoso. Interessantemente, quando queima, não emite chamas, e é por isso mais perigoso ainda: não se vê que um incêndio está acontecendo até sentir os efeitos do incêndio. É por isso que os corredores e pessoal dos boxes da Fórmula Mundial (*Indy*) são tão precavidos, já que os carros correm com metanol puro como combustível, todavia por ser extremamente tóxico, o metanol não é utilizado como

combustível no Brasil. Foi utilizado durante uma época em substituição temporária ao álcool, em virtude de uma grande falta deste produto que se fez no mercado.

O metanol é principalmente um solvente industrial, pois dissolve alguns sais melhor do que o etanol; é utilizado na indústria de plásticos, na extração de produtos animais e vegetais, e como solvente em reações de importância farmacológica, como no preparo de colesterol, vitaminas e hormônios. É matéria prima na produção de formaldeído.

O etanol é líquido até uma temperatura mais baixa, cerca de 114 graus Celcius abaixo de zero, já não é tão venenoso, e pode ser tanto utilizado como combustível em automóveis bem como em bebidas alcoólicas, quando misturado na gasolina funciona como aumentador do nível de octanagem.

2.4.8 MTBE - *Methyl Tertiary-Butyl Ether*

Segundo o centro de pesquisas da Petrobras (2006), o MTBE é outro oxigenado, o éter metil-tert-butílico, que também pode ser misturado à gasolina. No mundo, esse produto vem encontrando restrições crescentes. No Brasil, atualmente não é permitida sua adição à gasolina, por já ser obrigatória a adição de etanol.

Os oxigenados tem ação positiva na redução de algumas emissões veiculares e são produtos que produzem uma melhoria da octanagem. Além disso, alguns deles, como o etanol, são combustíveis renováveis e têm impacto positivo na redução das emissões de gases de efeito estufa.

2.4.9 Manganês

Segundo a Petrobrás (2006), o manganês é um metal não encontrado na gasolina natural, mas que pode ser adicionado à mesma por meio de aditivos que melhoram a octanagem, e que contém esse metal na forma de um sal orgânico. No Brasil, não são permitidos aditivos com base em metais pesados na gasolina. O manganês tem tido diversas restrições ao seu uso no mundo por parte das empresas fabricantes de automóveis, devido à alegação que esse produto causa danos aos catalisadores veiculares e aos sistemas de gerenciamento do controle de alimentação, funcionamento dos motores e monitoramento da emissão de gases poluentes do veículo chamados de sistema OBD (*on board diagnosis*).

2.5 Validação e durabilidade dos veículos

Conforme já mencionado anteriormente, no mundo globalizado, veículos tem sido desenvolvidos em um país, porém para uso e aplicação em outro país totalmente diferente, contudo a fonte responsável pelo projeto do veículo também é responsável por validar e assegurar que será entregue ao cliente um produto com a confiabilidade requerida.

Segundo Heim, Fischer e Sonsino (2006), o tempo de desenvolvimento de veículos tem sido reduzido devido à integração de diferentes métodos e processos introduzidos em todas as fases do desenvolvimento de projeto, o que hoje em dia tem levado de 18 a 24 meses desde a fase de projeto até o início de produção. Tradicionalmente o desenvolvimento de veículos era composto de fases como projeto, construção de protótipos, testes de validação e revisão do projeto o que gerava um custo alto, todavia este processo foi modificado para um processo dinâmico onde se estabelece objetivos numéricos mensuráveis, processo de difusão de informações sobre o projeto para todos os níveis organizacionais envolvidos no projeto, bem como pontos específicos para avaliação e confirmação das atividades em todos os estágios do projeto. Com as mudanças os fornecedores também passaram a integrar o processo de desenvolvimento de projeto, através de um bom nível de comunicação com os clientes e a troca de dados do tipo modelo matemático.

Segundo Heim, Fischer e Sonsino (2006), os requerimentos de projeto são difundidos e suportados por testes físicos, sendo que tais testes são necessários para poder entender os efeitos sobre os componentes que por sua vez não podem ser detectados através do modelo matemático e/ou simulação virtual. Há por exemplo características como desgaste, corrosão, fadiga os quais podem ocorrer em componentes ou subsistemas e podem ser introduzidos através do processo de manufatura, montagem ou uso operacional.

Segundo Heim, Fischer e Sonsino (2006), os testes iniciais de validação são benéficos para avaliar os atributos do veículo, os quais podem avaliar a durabilidade e a fadiga nos níveis de subsistemas, já os ensaios de NVH e colisão “*crash test*” devem ser realizados a nível de veículo montado de forma a avaliar os requerimentos de durabilidade estrutural e que também devem ser definidos objetivos a nível de componentes. A partir da realização dos ensaios iniciais de

durabilidade, pode-se confirmar alguns dos atributos do veículo sem que haja a necessidade de rodar um teste completo do veículo.

Apesar dos custos envolvidos, outros testes também poderão ser realizados baseado em protótipos e assim validar mais outros atributos do veículo.

Um outra estratégia é usar a validação de componentes que são comuns em uma mesma plataforma, ou seja, a partir da validação de um componente ou subsistema que é aplicado em um veículo derivado de uma mesma plataforma, não é necessário re-validar o componente ou subsistema, sendo assim os componentes da plataforma podem ser avaliados separadamente nos diversos veículos derivados de uma mesma plataforma.

Embora haja muitos conceitos sobre o desenvolvimento de projetos, validação e durabilidade, o exemplo da Toyota sempre está em evidência, e segundo Liker e Morgan (2006), muitas empresas no mundo tem adotado alguns dos conceitos da “iniciativa enxuta” (*lean initiative*), e tais conceitos podem ser encontrados não somente na indústria automotiva, mas também em organizações como o departamento de defesa, hospitais, instituições financeiras e a indústria da construção. Um dos conceitos utilizados com sucesso pela Toyota e aplicado em outras empresas é o sistema de desenvolvimento de produto enxuto (*lean product development*) e a tabela 10 mostra a descrição dos 13 pontos principais de tal conceito.

Tabela 10 – Princípios do desenvolvimento de produto enxuto

Princípio	Descrição
1. Estabelecer os valores requeridos pelos clientes e separar valores e desperdícios.	O conceito enxuto é uma jornada sem fim na busca e eliminação de desperdícios. Desperdícios são valores não agregados para os clientes.
2. Os esforços iniciais do processo de desenvolvimento de produtos devem ser para explorar soluções alternativas.	Identificação das soluções erradas e que tem impacto de custo e no ciclo de vida do produto. Dispor o tempo para explorar soluções alternativas e solucionar problemas antecipadamente.
3. Criar um fluxo de processo de desenvolvimento de produto.	O fluxo deve iniciar com um processo estabilizado e planejado. O planejamento do produto reduz a carga de trabalho e/ou direciona a carga de mão-de-obra para as atividades apropriadas.
4. Aplicar a padronização rigorosamente para reduzir variações.	A padronização é a base para a melhoria contínua. A padronização do produto e do processo é a fundação para todos os outros princípios.
5. Desenvolver um chefe de projeto para integrar o desenvolvimento de produtos do início ao fim.	O chefe de projetos é a maior autoridade no projeto e com responsabilidade por todo processo de desenvolvimento de produto. O chefe de projetos é ainda responsável pela integração do produto e o processo.
6. Balancear as atividades dos engenheiros especialistas e realizar a integração multifuncional.	Conhecimentos profundos combinado com metas e atividades balanceadas.
7. Desenvolver elevada competência técnica de todos os engenheiros.	Os engenheiros devem possuir profundos conhecimentos específicos do produto e do processo que vem da experiência direta no chão de fábrica (<i>gemba</i>).
8. Integrar os fornecedores no sistema de desenvolvimento de produtos.	Os fornecedores de componentes devem ser integrados no processo de desenvolvimento de produto com capacidade e conhecimento compatível com a cultura da empresa cliente.
9. Criar um ambiente de aprendizado e melhoria contínua.	O aprendizado na organização é um requisito para a melhoria contínua.
10. Criar uma cultura para buscar a excelência e melhoria contínua.	A excelência e a melhoria (<i>kaizen</i>) refletem na cultura da organização
11. Adaptar a tecnologia às pessoas e processos.	A tecnologia deve ser adaptada para ser sempre adequada às pessoas e aos processos.
12. Alinhar a organização através de comunicação simples e visual.	Comunicar as metas em todos os níveis da organização, desenvolver habilidades para solucionar problemas de forma simples, e comunicação visual.
13. Usar as ferramentas apropriadas para a padronização e aprendizado em toda organização.	As ferramentas adequadas podem ser simples. Os resultados do uso das ferramentas podem vir através da padronização e com o aprendizado em todos os níveis da organização.

Fonte: Liker e Morgan (2006)

Segundo Klyatis e Klyatis (2006), os testes realizados para a validação e verificação da durabilidade não são suficientes para o desenvolvimento de um veículo confiável, mas a interação entre qualidade, confiabilidade, durabilidade e manutenibilidade como componente de um mesmo sistema integrado conforme figura 18, e a ausência deste sistema integrado pode gerar as diferenças de desempenho de vendas entre as montadoras.

Figura 18 – Sistema integrado de qualidade (1), confiabilidade (2), durabilidade (3) e manutenibilidade (4)

(Fonte: Klyatis e Klyatis, 2006)

Segundo Klyatis e Klyatis (2006), há uma grande variedade de literaturas e normas sobre avaliação e desenvolvimento da qualidade dos produtos durante as fases de projeto e manufatura, contudo há uma carência de normas e procedimentos para se fazer uma avaliação com acurácia e predição, desenvolvimento acelerado e efetivo e melhoria da confiabilidade, durabilidade e manutenibilidade, todavia esta deficiência pode ser a razão pela qual, no campo a confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos são normalmente diferentes das previsões realizadas durante as fases de projeto e manufatura.

Segundo Klyatis e Klyatis (2006), para que haja a integração entre a qualidade, confiabilidade, durabilidade e manutenibilidade, na fase de desenvolvimento do produto, os engenheiros deveriam dar atenção igualmente aos quatro fatores de forma a operar como um sistema totalmente integrado conforme mostrado na figura 18, todavia todos os fatores que influenciam na qualidade deveriam ser profundamente analisados bem como outros fatores como a manufatura, a logística de abastecimento de materiais, componentes, produto final e consumidores conforme mostra a figura 19.

Figura 19 – Esquema complexo de análise dos fatores que influenciam a qualidade do produto durante as fases de projeto, manufatura e uso.

(Fonte: Klyatis e Klyatis, 2006)

Um segundo elemento básico da estratégia é o desenvolvimento de testes acelerados de confiabilidade que sejam úteis e possam distinguir a eficácia bem como as diferenças entre os diversos testes acelerados conforme mostram figuras 20 e 21.

Figura 20 – Tipos corrente de testes de meio ambiente com simulação separada de diferentes influencias.

(Fonte: Klyatis e Klyatis, 2006)

Figura 21 – Exemplo de testes acelerados de confiabilidade úteis como combinação simultânea de diferentes tipos de testes de laboratório.

(Fonte: Klyatis e Klyatis, 2006)

Segundo Dodson e Johnson (2002), um programa ideal de confiabilidade deveria conter os seguintes elementos que deveriam ser validados quando do desenvolvimento de um novo veículo conforme segue:

1. Entender os requerimentos dos clientes
 - a. Meio ambiente
 - i. Vibração
 - ii. Umidade
 - iii. Temperatura (absoluta e taxa de ciclagem)
 - iv. Estímulos elétricos
 - v. Contaminação (sal, fluido de freio, fluido de transmissão, etc)
 - b. Ciclos pesados
 - i. Numero de ciclos durante o uso
 - ii. Vida requerida em meses ou anos
 - c. Carga
 - i. Peso
 - ii. Pressão
 - iii. Voltagem
 - iv. Corrente
 - d. Metas de confiabilidade
2. Usar experiências passadas de componentes similares
 - a. Dados de testes de peças, defeitos internos de produção, defeitos detectados fora da produção, retorno de peças falhadas em campo
 - b. *JDPower*, QAS
 - c. Garantia (taxa de retorno, e verbalização dos clientes e técnicos sobre os defeitos)
 - d. Desenvolvimento de testes, validação do projeto e testes de validação da produção
3. Iniciar o FMEA de processo e atualizá-lo em todo o processo
4. Projeto inteligente
 - a. Usar guia de projeto. Todas as lições aprendidas com os incidentes passados devem ser considerados no projeto.
 - b. Parâmetros de projeto – escolher o nível de variáveis do projeto de forma a minimizar os efeitos das variáveis incontroláveis

- c. Tolerância do projeto – cientificamente determinar as especificações corretas do projeto
- d. Controlar as revisões periódicas dos projetos
- e. Projeto com informações sobre as atividades de desenvolvimento
 - i. Análise de circuito
 - ii. Teste de durabilidade até a falha
 - iii. Análise crítica de tolerância
- 5. Validação do conceito (incluindo peças fornecidas de fornecedores externos)
 - a. Testes no início do projeto com intuito de criar resultados para a engenharia e conhecimento sobre o produto
 - b. Todos conceitos devem passar a ser independentes (não conduzidos pela engenharia) teste de verificação. Os conceitos devem incluir os limites do projeto.
 - c. Uma lista padrão de validação de subsistemas e componentes deveria ser mantida, incluindo peças de fornecedores externos.
- 6. Validação do projeto (incluindo peças de fornecedores externos)
 - a. Testes no início do projeto com intuito de criar histórico dos componentes para a engenharia e conhecimento sobre o produto
 - b. Todos os componentes devem ter desenhos independentes
 - c. Simulação virtual
- 7. Manufatura
 - a. Peças de produção e ferramentais devem passar por teste de validação de projeto
 - b. O processo de produção é qualificado através da produção de um número especificado de peças a uma certa taxa de produção, e obter um C_{pk} ³ mínimo de 1,67 para cada especificação do desenho
 - c. Garantir a concordância com o programa CEP
 - i. Todos os componentes e especificações serão monitorados através do controle estatístico de processo
 - ii. Para a primeira semana de produção a taxa de amostragem para inspeção e controle é de 100%

³ As principais montadoras americanas (General Motors, Ford e Chrysler) seguem o disposto no manual de PPAP, ou seja, Capacidade preliminar de processo $P_{pk} \geq 1,67$ e Capacidade de processo normal de produção $C_{pk} \geq 1,33$.

- iii. Se um C_{pk} de 1,67 for alcançado na primeira semana de produção então a taxa de amostragem poderá ser reduzida
- iv. Cada especificação do desenho deve ter um plano de controle que detalha os processo críticos que podem afetar as especificações do projeto. Cada um destes processos devem ser monitorados via CEP
- v. Para cada sistema de medição
 - 1. Prover um plano de controle para garantir estabilidade repetibilidade nos controles
 - 2. O R&R deve ser aceitável como uma porcentagem da tolerância. Aceitável em função do C_{pk} do processo
- d. Qualificar as áreas de estoque, transporte e armazenagem
 - i. As peças podem ser contaminadas durante estoque ?
 - ii. As peças podem sofrer degradação durante estoque ?
 - 1. Envelhecimento da borracha
 - 2. O nível de carga de gás decresce
 - iii. Os perfis de temperatura e vibração durante transporte são significativamente diferentes da especificação do veículo ?
 - iv. As peças estão protegidas contra corrosão causada pelo sal do ar durante transporte em zonas costeiras ?
 - v. Re-qualificar o sistema de transporte se o mesmo sofrer alteração ou mudança de fonte
- 8. Modificações no controle – Alguma mudança de engenharia, produção ou da base de suprimento deve ser qualificada.

2.5.1 Mercado nacional versus exportação

Segundo Crowe, Dana et al (2001), o desenvolvimento de um novo produto e conseqüentemente um bom programa de confiabilidade deveria levar em consideração os requerimentos dos clientes.

Embora tais requerimentos não sejam fáceis de serem compreendidos, várias ferramentas podem ser utilizadas sendo que dentre elas, segundo Crowe, Dana et al (2001), a melhor forma de se conhecer as necessidades dos clientes é através de

uma pesquisa direta com os clientes, sendo assim a montadora deveria ter uma boa idéia do que os clientes esperam e/ou desejam dos produtos.

No tocante à validação dos veículos destinados ao mercado nacional versus exportação, uma vez conhecidos e/ou definidos os requerimentos dos clientes exportação, o veículo é desenvolvido ou adaptado do mercado local para tal mercado exportação e conseqüentemente a validação seguirá baseada em normas e procedimentos da legislação local e principalmente da legislação do mercado ao qual o veículo será exportado, incluindo validação de campo no país no qual o veículo será utilizado, todavia algumas características de aplicação e que estão relacionadas com os clientes podem não estar cobertas por legislações ou pelas pesquisas, nem tampouco pela validação realizada em campo tais como:

- No Oriente médio normalmente os clientes deixam os veículos parados ao sol ligados em marcha lenta e com o ar condicionado ligado enquanto os clientes vão a lojas ou restaurantes de forma a manter o interior dos veículos climatizados;
- Na África do Sul normalmente usam os veículos utilitários tipo “*pick-up*” para fazer transporte de pessoas na caçamba;
- Na Cidade do México possui muito trânsito conforme mostra figura 22, e os motoristas freqüentemente arrancam com os veículos em alta velocidade e freiam logo em seguida após poucos metros;

Figura 22 – Foto do trânsito na Cidade do México
(Fonte: Anjos, 2006)

- Na Índia normalmente utilizam os veículos com super lotação para transporte de pessoas conforme mostra a figura 23.

Figura 23 – Foto de transporte tipo lotação na cidade de Vadodara - Índia
(Fonte: Anjos, 2003)

3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE

A proposta de método de avaliação da confiabilidade é descrita abaixo através de um fluxograma conforme mostra a figura 16 e posteriormente são detalhados os elementos deste fluxograma.

A proposta de método de avaliação da confiabilidade é baseada nas incidências de falhas, pois neste estudo busca-se identificar a confiabilidade e as respectivas diferenças de confiabilidades entre os diversos países a despeito dos custos, sendo assim, o custo não será abordado, embora seja crítico para a tomada de decisão de alteração do projeto e/ou aumento da garantia.

Apesar de em alguns países haver a possibilidade de se estender a garantia, neste método leva-se em consideração os veículos em seu período de garantia normal, ou seja, 1 ano.

Figura 24 – Fluxograma de metodologia de avaliação da confiabilidade

3.1 Levantamento e tratamento dos dados de campo

Em todos os países pesquisados, as formas em que as informações de campo são recebidas são exatamente iguais, ou seja, através do apontamento do reparo realizado na concessionária. A montadora recebe as informações como VIN (número de identificação do veículo), data de produção, local de manufatura, data de venda

do veículo, data da manutenção ou reparo realizado no momento do reparo, quilometragem, código de mão-de-obra, código de defeito, resumo do diagnóstico realizado pela concessionária, código da peça trocada (se caso houver troca de peça), custos em dólar e em moeda local do país e tamanho da amostra de veículos vendidos. Todavia as incidências de defeitos são medidas pela montadora através de incidentes por mil unidades vendidas ou IPTV (*incidents per thousand vehicles*). No banco de dados da montadora ficam disponíveis todos os dados de garantia, contudo para efeito do cálculo de confiabilidade são pesquisados os 100 itens de maior incidência no campo durante o período de garantia de um ano.

Como cada país utiliza seu próprio código de mão-de-obra e código de defeito, os dados de campo devem ser tratados, ou seja, é realizado a paridade dos códigos de mão-de-obra para todos os países estudados, sendo que dados de campanhas especiais (*recalls*) não são levados em consideração e são expurgados para todos os países.

Para efeito do cálculo de confiabilidade dos diversos subsistemas, o veículo é dividido nos seguintes subsistemas conforme descritos abaixo:

- Acabamento e pintura;
- Carroceria;
- Chassi;
- Elétrica e ar condicionado;
- Motor;
- Transmissão.

Contudo os códigos de mão-de-obra também são divididos em grupos que compõem os subsistemas acima citados.

Propõe-se para a análise de confiabilidade que sejam tomados os 100 itens com maior incidências de reclamações em campo registradas durante o período de garantia, sendo que na análise de confiabilidade serão tomados os valores de quilometragem de cada reclamação.

Como metodologia de estudo, define-se então as reclamações que farão parte da análise de confiabilidade, bem como a quilometragem em que ocorreu cada falha, define-se um ano/modelo de produção e toma-se os dados de reclamações em garantia durante um período de um ano a partir da data de fabricação até a data em que expira a garantia, sendo que é essencial que os dados de campo sejam

levantados para todos os países a partir da mesma data de produção do ano/modelo e se encerrem também na mesma data compreendendo 1 ano de garantia.

3.2 A confiabilidade

Conforme mencionado anteriormente, o conhecimento da confiabilidade do veículo e/ou a taxa de falhas é desejável de forma a poder prever o quanto se vai gastar com os custos de garantia, bem como saber se o veículo obterá bom desempenho em vendas nos países aos quais o mesmo é exportado.

Segundo O'Connor (1991), a predição da confiabilidade é desejável em qualquer desenvolvimento de produtos, sendo que a predição da confiabilidade está ligada intrinsecamente com o conhecimento das causas dos diversos modos de falhas bem como as respectivas ações corretivas.

No tocante à taxa de falhas $\lambda(t)$, segundo O'Connor (1991), ela pode variar com o tempo e é um indicador das possíveis causas de falhas que se relacionam com uma das três classes de falhas de produto conforme segue:

- Falhas prematuras;
- Falhas aleatórias;
- Falhas por desgaste ou durabilidade.

Conforme mostrado na figura 25, as taxas de falhas prematuras são relativamente altas no período inicial de uso do produto ($t=0$) e decresce com o tempo t .

Segundo Martha de Souza (2002), normalmente as falhas prematuras estão relacionadas com problemas de fabricação, montagem ou mesmo com o material utilizado na fabricação do componente, sendo que este tipo de falha não é usual, ou seja, ocorre esporadicamente e muitas vezes por alguma razão específica. Normalmente as falhas ocorridas nesta fase deveriam estar cobertas pelo período de garantia do produto.

As taxas de falhas aleatórias, região central da curva da banheira, é o local onde as taxas de falhas são aproximadamente constante onde se registram os menores valores de taxas de falhas.

Segundo Martha de Souza (2002), as falhas aleatórias normalmente se originam de carregamentos inevitáveis e inesperados e menos comumente devido a defeitos inerentes ao equipamento em si.

A taxa de falhas por desgaste conforme visto nas figuras 25 e 26, é crescente e segundo Martha de Souza (2002), sua origem está no próprio desgaste do equipamento e/ou falha de durabilidade no final da vida útil do componente. Nesta fase, as falhas tendem a ter efeitos cumulativos tais como corrosão, trincas de fadiga, desgaste por atrito, dentre outros.

Figura 25 – Curva da banheira
(Fonte: O'Connor, 1991)

Figura 26 – Características da curva da banheira
(Fonte: Weibull.com, 2006)

As falhas inerentes aos veículos exportados também estarão relacionadas às três classes de taxas de falhas acima citadas.

Segundo Wu & Meeker (2002), uma das melhores formas de se conhecer a confiabilidade de um produto é através dos dados de campo, ou seja, para se prever a confiabilidade sugere-se fazê-lo a partir dos dados de campo, sendo que é de extrema importância que estes dados de campo sejam confiáveis para que se possa fazer uma análise com exatidão.

Segundo Wu & Meeker (2002), um banco de dados confiável deveria conter informações como VIN (número de identificação do veículo), data de produção, local de manufatura, data de venda do veículo entre outras informações relacionadas com a produção. Em adição, o banco de dados deveria conter os registros de cada manutenção ou reparo realizado durante o período de garantia (data do reparo, concessionária, descrição do reparo realizado e os custos envolvidos no mesmo).

Há várias distribuições de probabilidade utilizadas na caracterização da função densidade de probabilidade dos tempos de falhas e da função taxa de falhas, e estas distribuições são utilizadas na modelagem de várias fases da vida operacional do produto conforme mostrado na figura 26.

Segundo Doganaksoy, Hahn & Meeker (2002), a análise de confiabilidade em questão pode ser modelada através da distribuição de Weibull ou Lognormal, todavia segundo Nelson (1985), a distribuição de Weibul é a distribuição que é mais usada para análise da vida do produto bem como dos dados de campo, sendo assim será utilizado a distribuição de Weibull para análise dos dados de campo dos países ora estudados.

Segundo Luko (1999), durante a década de 40 e início dos anos 50, Wallodi Weibull, um sueco cientista de materiais, publicou uma série de artigos utilizando a distribuição que mais tarde veio a receber seu nome. A distribuição de Weibull foi talvez melhor sumarizada em um artigo publicado em 1951 com o nome de *A statistical distribution function of wide applicability*. Atualmente a distribuição de Weibull é plenamente utilizada nas áreas de engenharia e na comunidade científica.

A função densidade de probabilidade $f(t)$ de Weibull é mostrada na equação (3).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta} \right] \quad (3)$$

onde:

t_0 : constante de localização – define a posição em que a função densidade de probabilidade tem origem;

η : constante de escala ou vida característica – define o espalhamento da distribuição ao longo do eixo das abscissas (eixo x);

β : constante de forma.

Sendo β e η sempre valores positivos.

A distribuição de Weibull é definida por três parâmetros: t_0 , β e η . Isto a torna bastante flexível, sob o ponto de vista de permitir a representação gráfica de uma grande variedade de fenômenos.

Variando a constante de forma β a função densidade de probabilidade assume uma grande variedade de formas conforme mostra a figura 27.

Figura 27 – Distribuição de Weibull com variação da constante de forma β

(Fonte: Martha de Souza, 2002)

Conforme pode ser verificado na figura 27, a forma da função densidade de probabilidade de Weibull, para t_0 e η fixos é bastante dependente da constante de forma β . Observando-se os dados apresentados nas figuras 27 e 28, tem-se:

- Para valores de $\beta < 1$ a função densidade de probabilidade é decrescente para um aumento da magnitude de t ;
- Para valores de $\beta = 1$ a distribuição de Weibull é a própria distribuição exponencial;
- Para valores de $\beta > 1$ a curva da função densidade de probabilidade apresenta picos bem definidos;
- Para valor de $\beta = 3,44$ a distribuição de Weibull aproxima-se da distribuição normal (mediana = média).

Figura 28 – Valores de β
(Fonte: Crowe, Dana et al, 2001)

Em muitas situações práticas, as análises de confiabilidade não podem ser conduzidas com conjuntos completos de dados. Dados incompletos podem ser resultantes de teste de vida onde:

- Crítérios de ordem prática ou econômica não permitiram rodar o teste até que todas as unidades falhassem;
- Algumas unidades perderam-se, por um motivo ou outro durante o teste;
- Não foi possível registrar o exato momento de ocorrência da falha nas unidades, mas somente um intervalo de tempo que contém este momento.

Um conjunto de dados incompletos de tempos até a falha é dito censurado, sendo que as circunstâncias que resultam em dados censurados, exemplificadas acima, permitem concluir que, em um teste de vida de componentes, a censura pode ou não ser planejada. Dados censurados são aqueles para os quais se conhece um limite no tempo até a falha, mas não o seu valor exato. Segundo Gunter (1994), os dados de campo são considerados censurados, ou seja, temos os dados dos veículos que falharam, porém não temos os dados dos veículos que não falharam.

O tipo mais freqüente de censura é conhecido como censura à direita, ou melhor dizendo, em um conjunto de dados censurados à direita, existem uma ou mais unidades para as quais só se conhece um limite inferior para o tempo até a falha. Suponha-se por exemplo, um teste onde 10 máquinas são postas em uso durante 30 dias. Ao final do teste, 7 máquinas haviam falhado. Neste caso o conjunto de dados consiste de 7 tempos até a falha e 3 observações censuradas à direita, cujos tempos até a falha ocorrem em algum momento após 30 dias.

Em ensaios de confiabilidade, três tipos de censura à direita ocorrem com frequência, são eles:

- Dados censurados tipo I: o teste de vida é interrompido em um tempo t_0 pré-determinado. Todas as unidades ativadas no tempo $t = 0$ e acompanhadas até a ocorrência da falha ou até t_0 , quando o experimento é terminado. Após o ensaio, somente os tempos até a falha das unidades que falharam antes de t_0 são conhecidos com exatidão;
- Dados censurados tipo II: o teste de vida é interrompido após a ocorrência da r -ésima falha. Como o número total de falhas r é definido *a priori*, pode-se escolher um valor de r que garanta uma modelagem estatística satisfatória dos resultados do teste. Na censura tipo II, todas as unidades são ativadas em $t = 0$ e o conjunto de dados obtidos do teste consiste de r tempos até a falha observados e $(n - r)$ tempos até a falha censurados. O tempo t_r de término de teste é aleatório; conseqüentemente, é impossível prever a sua duração total, sendo esta a desvantagem deste tipo de censura.
- Censura aleatória: as n unidades de teste são ativadas em momentos distintos no tempo e o teste é interrompido no tempo t_0 . Alternativamente, todas as unidades são ativadas em $t = 0$, mas tem sua operação interrompida em momentos distintos no tempo. Em ambos os casos, os tempos de censura das unidades são aleatórios, podendo ser diferentes entre si. Este tipo de

censura ocorre por exemplo, ao observar-se a utilização da garantia em produtos manufaturados por um período limitado de tempo. Como os produtos são manufaturados em diferentes momentos ao longo do período de observação, ao interromper-se a observação ao término deste período, os tempos de censura dos produtos que não apresentaram falhas serão diferentes entre si, dependendo de sua data de fabricação.

A figura 29 abaixo mostra um exemplo de dados censurados a direita.

Figura 29 – Dados censurados a direita

(Fonte: Wasserman, 2002)

Já os dados censurados à esquerda ocorrem menos freqüentemente do que os dados censurados à direita. Para exemplificar a censura à esquerda, considera-se o exemplo de um antropólogo que deseja verificar com que idade crianças de uma localidade aprendem a realizar uma determinada tarefa. Neste caso, o tempo até a “falha” é o tempo transcorrido entre o nascimento e o momento em que a criança desenvolve a habilidade de realizar a tarefa. Crianças já capazes de realizar a tarefa quando da chegada do antropólogo serão observações censuradas à esquerda; em contra partida, crianças que não haviam aprendido a realizar a tarefa quando da partida do antropólogo serão observações censuradas à direita.

A figura 30 abaixo mostra um exemplo de dados censurados a esquerda.

Figura 30 – Dados censurados a esquerda
(Fonte: Wasserman, 2002)

O intervalo censurado, neste caso, dados até tempo até a falha são agrupados em intervalos. Esta censura ocorre, normalmente, em investigações onde não é possível determinar o momento da falha com precisão, já que o esquema de coleta dos dados não o permite. Um exemplo ocorre em componentes que sofrem inspeção periódica; no caso de ocorrência de falha, somente será possível afirmar que ela ocorreu no intervalo entre duas inspeções.

Sendo assim, para levantamento da confiabilidade para todos os países estudados serão trabalhados os dados de campo a partir dos dados censurados tipo I, ou seja, encerra-se o período de garantia dos veículos e tem-se somente os dados dos veículos que falharam, ou seja, é levantada no banco de dados de campo a relação de falhas ocorridas conforme anexos.

Segundo Campean, Kuhn & Khan (2002), uma maneira de superar as dificuldades de análise estatística de dados censurados, consiste na investigação e obtenção de informações de veículos que não falharam, por exemplo, a quilometragem acumulada por veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia. Um pesquisa adicional foi realizada para se obter uma distribuição do acúmulo de quilometragem durante o período de garantia. A figura 31 mostra o resultado desta pesquisa que foi realizada com 353 veículos que não apresentaram registros de falhas durante os doze meses de exposição no campo, ou seja, o período de garantia para os veículos em análise.

Figura 31 – Distribuição de quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia
(Fonte: Campean, 2002)

Em se tratando de um ensaio censurado, onde uma grande porcentagem dos veículos não falharam durante o período de garantia, considera-se a figura 31 como uma referência aos veículos que passaram pelo período de garantia de um ano e não falharam. Estes dados serão modelados conforme figura 31.

A partir do estudo acima, toma-se a quantidade de veículos censurados, ou seja, veículos que não falharam e define-se a distribuição de quilometragem acumulada dos veículos pesquisados para 12 meses em garantia.

Deste modo, pode-se, através da utilização de um *software* de análise estatística calcular a confiabilidade do sistema em estudo para cada uma das hipóteses assumidas neste estudo.

3.3 Confiabilidade dos Subsistemas

Conforme mencionado anteriormente, para o levantamento da confiabilidade do veículo total, são tomadas todas as falhas ocorridas durante o período de garantia em todos os códigos de mão-de-obra, exceto os itens de campanhas especiais, todavia para um subsistema específico, são tomados os diversos códigos de mão-

de-obra relacionados com o subsistema em questão e as suas respectivas quilometragens de cada falha.

Em seguida, aplica-se o mesmo método disposto na figura 31, para os veículos censurados, ou seja, considera-se a figura 31 como uma referência aos veículos que passaram pelo período de garantia de um ano e não falharam. Estes dados serão modelados conforme figura 31.

Deste modo, pode-se, através da utilização de um *software* de análise estatística calcular a confiabilidade do subsistema em estudo para cada uma das hipóteses assumidas neste estudo.

3.4 Comparação da confiabilidade do veículo nos diversos países

A partir da curva de confiabilidade conforme mostra a figura 32, pode-se comparar as confiabilidades, ou seja, verificar se há diferenças entre os diversos países e o Brasil.

Figura 32 – Função de Confiabilidade $R(t)$

(Fonte: Leitch, 1995)

O método ora proposto, sugere comparar as confiabilidades de cada país com o Brasil (veículo a veículo e posteriormente subsistema a subsistema), visto que o Brasil é a fonte exportadora e deveria ser responsável por entender as diferenças

entre os países aos quais os veículos são exportados e buscar nos novos projetos corrigir os erros passados e/ou usar estas experiências como estratégia da corporação para correção de problemas antes do lançamento de veículos nos diversos mercados.

3.5 Detecção de diferenças entre confiabilidades

Durante a fase de desenvolvimento de um produto, dois ou mais projetos podem ser levados em consideração, contudo o projetista deveria saber qual projeto particular obterá desempenho melhor que os demais em termos de confiabilidade. Uma vez que o produto entra em produção, a necessidade de se fazer comparações ainda continua latente, particularmente durante os esforços dispendidos para melhorar a qualidade do produto e do processo. A necessidade de comparações aumentará assim que se iniciar a fase de retorno dos dados de campo relativos a falhas no período de garantia, ou seja, o engenheiro de confiabilidade necessitará fazer comparações de forma a investigar as possíveis diferenças de desempenho no campo devido à forma de uso dos clientes, topografia, etc.

Segundo Wasserman (2002), existem vários métodos de comparação de confiabilidades, todavia a maior parte dos métodos se reduz a um simples teste de hipóteses de um parâmetro de interesse:

$$H_0: \theta_1 = \theta_2 \quad \text{versus} \quad H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

A proposta de método de detecção de diferenças entre confiabilidades é descrita abaixo através de um fluxograma conforme mostra figura 33 e posteriormente detalha-se cada elemento deste fluxograma.

Figura 33 – Fluxograma de comparação da confiabilidade

3.5.1 Comparação da confiabilidade através do método gráfico

Segundo Wasserman (2002), o método gráfico é o mais simples de ser aplicado e consiste em a partir da curva de confiabilidade definida na figura 32, a mesma deve se transformar em uma reta e inserir os limites de confiança, ou seja, dentre os métodos existentes, o método gráfico se difere dos demais devido possibilitar uma análise preliminar visual conforme segue detalhamento mais adiante.

A representação gráfica linear com inclinação igual ao parâmetro Weibull β , pode ser vista na figura 34.

Figura 34 – Gráfico de Weibull linear com os intervalos de confiança
(Fonte: Wasserman, 2002)

Segundo Wasserman (2002), as confiabilidades ora analisadas são consideradas diferentes se ambas as curvas e os respectivos intervalos de confiança não se interceptarem conforme mostra exemplo da figura 35.

Figura 35 – Gráfico de Weibull com confiabilidades consideradas diferentes
(Fonte: Wasserman, 2002)

Todavia se houver intersecção das retas e/ou dos intervalos de confiança, conforme mostra figura 36, então o método gráfico passa a não ser confiável e passa a ser necessário uma análise adicional, ou seja, necessita-se fazer uma análise através do teste de hipóteses para se concluir se há ou não diferenças entre as confiabilidades.

Figura 36 – Gráfico de Weibull com os limites de confiança se interceptando
(Fonte: Wasserman, 2002)

A partir do método descrito no item 3.2, pode-se, calcular a confiabilidade do sistema em estudo para cada uma das hipóteses assumidas neste estudo e gerar o gráfico de Weibull linear, bem como verificar graficamente se há diferenças entre confiabilidades.

3.5.2 Comparação das confiabilidades através do teste de hipóteses

Segundo Kapur e Lamberson (1977), considera-se a situação de dois grupos de dados que podem ser dois projetos (chamados *designs*), um de cada país e que compõem um mesmo produto e são testados, ou seja, toma-se os dados de falhas de campo durante o período de garantia de um ano em cada país estudado.

As amostras são designadas como S_1 e S_2 onde $S_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1r_1})$ e $S_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2r_2})$, onde x_{1r_1} são os valores de quilometragens correspondentes às falhas no período de garantia, e n_1, n_2 são respectivamente os tamanhos das amostras e r_1, r_2 os respectivos pontos truncados ($r_1 \leq n_1, r_2 \leq n_2$), ou seja, a quantidade de falhas.

Considerar a seguinte hipótese:

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

O procedimento de teste segue:

1. Calcular

$$C = \frac{\sum_{j=1}^{r_2} (x_{2j} - x_{21}) + (n_2 - r_2)(x_{2r_2} - x_{21})}{\sum_{j=1}^{r_1} (x_{1j} - x_{11}) + (n_1 - r_1)(x_{1r_1} - x_{11})} \quad (4)$$

2. Calcular

$$F_c = \frac{(r_1 - 1)}{(r_2 - 1)} C \quad (5)$$

3. Rejeitar H_0 se uma das condições ou ambas forem verdadeiras

$$F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2} \quad \text{ou} \quad F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}} \quad (6)$$

Os valores de $F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}$ e $F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}$ podem ser obtidos através do anexo B – Distribuição F.

Sendo assim, a partir da análise das possíveis diferenças entre as confiabilidades nos diversos países e subsistemas do veículo, pode-se analisar as potenciais causas raiz dos problemas que podem levar a termos confiabilidade diferentes entre países.

3.6 Causas potenciais das diferenças entre as confiabilidades

Levando-se em consideração que cada país tem suas particularidades como topografia, clima, qualidade de combustível, legislação local e outros, e que a montadora através de seus representantes em cada país pode estudar as falhas ocorridas em campo durante o período de garantia, bem como implementar melhorias, sejam estas através da fonte exportadora, ou através de ações sobre um fornecedor ou no processo de manufatura local quando for o caso de um cliente exportação CKD, o método supõe que as causas das principais reclamações já foram estudadas e conseqüentemente solucionadas, todavia é pesquisado através do banco de dados de falhas de campo, os principais itens responsáveis pelas falhas que contribuem e/ou justificam as diferenças de confiabilidades entre os países estudados.

4 APLICAÇÃO PLATAFORMA SUB-COMPACTA

A plataforma ora estudada encontra-se classificada como sub-compacta (*premium*) conforme classificação das pesquisas J.D. Power (2006) mostrada na tabela 11.

Como condições de contorno, para que se possa realizar a comparação das confiabilidades dos veículos nos diversos países estudados (Brasil, Argentina, México, África do Sul, Chile e Colômbia), adota-se exatamente as mesmas configurações para os veículos conforme segue:

- Potência de motor;
- Combustível;
- Tipo de transmissão;
- Tipo de carroceria;
- Ano/modelo;
- Período de garantia;

Tabela 11 – Classificação J.D. Power de plataformas pesquisadas

J.D. Power e Associados
Estudo de Satisfação dos donos de veículos México 2005
Três maiores modelos por segmento
Veículo Sub-compacto - <i>Entry</i>
Melhor pontuação: Pontiac Matiz
Nissan Tsuru
Ford Ikon
Veículo Sub-compacto - <i>Premium</i>
Melhor pontuação: Volkswagen Lupo
Renault Clio
Chevrolet Meriva
Veículo Compacto
Melhor pontuação: Honda Civic
Peugeot 307
Nissan Sentra
Veículo tamanho médio
Melhor pontuação: Nissan Altima
Honda Accord
Chevrolet Malibu
Veículo SUV
Melhor pontuação: Toyota RAV4
Honda CR-V
Nissan X-Trail
Pickup
Melhor pontuação: Ford Lobo
Dodge Ram
Chevrolet Silverado
Fonte: J.D. Power e Associados 2006, Estudo de satisfação dos donos de veículos

A plataforma sub-compacta foi dividida em 06 subsistemas que são compreendidos:

- Acabamento e pintura;
 - Reparos na pintura geral do veículo;
 - Ajustes gerais na parte de acabamento do veículo como pára-choque, molduras, emblema e acessórios entre outros.
- Carroceria;
 - Substituição de peças da lataria do veículos;

- Substituição de partes internas do veículo e que compõem o acabamento;
 - Vidros, fechaduras, guarnições, dobradiças, canaletas pingadeiras;
 - Substituição das partes móveis, bancos, isolamento do motor entre outros.
- Chassi;
 - Sistema de freios dianteiro e traseiro, suspensão, rodas;
 - Caixa de direção, semi-eixo homocinético;
 - Diferencial, Sistema de refrigeração do motor;
 - Sistema de alimentação do veículo entre outros.
- Elétrica e ar condicionado;
 - Bateria, cabos e chicotes elétricos;
 - Sensores e interruptores;
 - Sistema de iluminação;
 - Sistema de ar condicionado entre outros.
- Motor;
 - Motor e seus componentes como motor de partida, alternador, velas de ignição, bobina de ignição entre outros.
- Transmissão;
 - Transmissão e seus componentes como disco de embreagem, platô, atuador de embreagem entre outros.

Nota:

Nos estudos, verifica-se que o subsistema acabamento e pintura não tem incidências de falhas dentro das 100 maiores reclamações de campo no Brasil, Argentina e Chile, sendo que outros países como México (0,5%), África do Sul (1%) e Colômbia (2%) tem um dos menores índices de falhas dos subsistemas estudados, sendo assim este subsistema não será abordado nos estudos e o trabalho será desenvolvido sobre os demais subsistemas com maior incidências de falhas de campo.

4.1 Primeiro estudo – Plataforma sub-compacta Brasil

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade. O anexo C mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta no Brasil.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 37.

Figura 37 – Distribuição de falhas por subsistema - Brasil

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 38.

Figura 38 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Brasil

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 39 abaixo.

Figura 39 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil

Observa-se na figura 39, que o valor da constante de forma β (*shape*) é menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da

magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a primeira fase da curva da banheira.

4.1.1 Brasil – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 40.

Figura 40 – Distribuição de quilometragem Brasil - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 41 abaixo.

Figura 41 – Curva de confiabilidade Brasil – Substema Carroceria

Observa-se na figura 41, que o valor da constante de forma β (*shape*) é menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a primeira fase da curva da banheira.

4.1.2 Brasil – Substema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao substema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 42.

Figura 42 – Distribuição de quilometragem Brasil - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 43 abaixo.

Figura 43 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Chassi

Observa-se na figura 43, que o valor da constante de forma β (*shape*) é aproximadamente igual a 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é

constante com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a segunda fase da curva da banheira.

4.1.3 Brasil – Subsistema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 44.

Figura 44 – Distribuição de quilometragem Brasil - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 45 abaixo.

Figura 45 – Curva de confiabilidade Brasil – Sistema Elétrica e ar condicionado

Observa-se na figura 45, que o valor da constante de forma β (*shape*) é menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a primeira fase da curva da banheira.

4.1.4 Brasil – Sistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao sistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 46.

Figura 46 – Distribuição de quilometragem Brasil - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 47 abaixo.

Figura 47 – Curva de confiabilidade Brasil – Subsistema Motor

Observa-se na figura 47, que o valor da constante de forma β (*shape*) é menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da

magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a primeira fase da curva da banheira.

4.1.5 Brasil – Subsistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Brasil para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 48.

Figura 48 – Distribuição de quilometragem Brasil - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Brasil subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 49 abaixo.

Figura 49 – Curva de confiabilidade Brasil – Subistema Transmissão

Observa-se na figura 49, que o valor da constante de forma β (*shape*) é maior que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é crescente com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e pode representar a terceira fase da curva da banheira.

4.2 Segundo estudo – Plataforma sub-compacta Argentina

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Argentina para análise da confiabilidade. O anexo D mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta na Argentina.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 50.

Figura 50 – Distribuição de falhas por subsistema - Argentina

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 51.

Figura 51 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Argentina

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 52 abaixo.

Figura 52 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina

4.2.1 Argentina – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Argentina para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 53.

Figura 53 – Distribuição de quilometragem Argentina - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 54 abaixo.

Figura 54 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Carroceria

4.2.2 Argentina – Subsistema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Argentina para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 55.

Figura 55 – Distribuição de quilometragem Argentina - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 56 abaixo.

Figura 56 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Chassi

4.2.3 Argentina – Subsistema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Argentina para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 57.

Figura 57 – Distribuição de quilometragem Argentina - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 58 abaixo.

Figura 58 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Elétrica e ar condicionado

4.2.4 Argentina – Subsistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Argentina para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 59.

Figura 59 – Distribuição de quilometragem Argentina - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 60 abaixo.

Figura 60 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Motor

4.2.5 Argentina – Subsistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Argentina para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 61.

Figura 61 – Distribuição de quilometragem Argentina - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Argentina subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 62 abaixo.

Figura 62 – Curva de confiabilidade Argentina – Subsistema Transmissão

Observa-se através das figuras 52, 54, 56, 58, 60 e 62, que a plataforma sub-compacta e os seus subsistemas, tem o valor da constante de forma β (*shape*)

menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e podem representar a primeira fase da curva da banheira.

4.3 Terceiro estudo – Plataforma sub-compacta México

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade. O anexo E mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta no México.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 63.

Figura 63 – Distribuição de falhas por subsistema - México

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.

- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 64.

Figura 64 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta México

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 65 abaixo.

Figura 65 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta México

4.3.1 México – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 66.

Figura 66 – Distribuição de quilometragem México - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 67 abaixo.

Figura 67 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Carroceria

4.3.2 México – Subsistema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 68.

Figura 68 – Distribuição de quilometragem México - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 69 abaixo.

Figura 69 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Chassi

4.3.3 México – Subsistema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 70.

Figura 70 – Distribuição de quilometragem México - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 71 abaixo.

Figura 71 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Elétrica e ar condicionado

4.3.4 México – Subsistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 72.

Figura 72 – Distribuição de quilometragem México - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 73 abaixo.

Figura 73 – Curva de confiabilidade México – Subsistema Motor

4.3.5 México – Subsistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do México para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 74.

Figura 74 – Distribuição de quilometragem México - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta México subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 75 abaixo.

Figura 75 – Curva de confiabilidade México – Sistema Transmissão

Observa-se através das figuras 65, 67, 69, 71, 73 e 75, de que a plataforma sub-compacta e os seus subsistemas, tem o valor da constante de forma β (*shape*) menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da magnitude do tempo, ou seja, da quilometragem, e podem representar a primeira fase da curva da banheira.

4.4 Quarto estudo – Plataforma sub-compacta África do Sul

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade. O anexo F mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta na África do Sul.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 76.

Figura 76 – Distribuição de falhas por subsistema – África do Sul

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 77.

Figura 77 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta África do Sul

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 78 abaixo.

Figura 78 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul

4.4.1 África do Sul – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 79.

Figura 79 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 80 abaixo.

Figura 80 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Carroceria

4.4.2 África do Sul – Subsistema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 81.

Figura 81 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 82 abaixo.

Figura 82 – Curva de confiabilidade África do Sul – Substema Chassi

4.4.3 África do Sul – Substema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao substema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 83.

Figura 83 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 84 abaixo.

Figura 84 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Elétrica e ar condicionado

4.4.4 África do Sul – Subsistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 85.

Figura 85 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 86 abaixo.

Figura 86 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subistema Motor

4.4.5 África do Sul – Subistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da África do Sul para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 87.

Figura 87 – Distribuição de quilometragem África do Sul - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta África do Sul subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 88 abaixo.

Figura 88 – Curva de confiabilidade África do Sul – Subsistema Transmissão

Observa-se através das figuras 78, 80 e 84, que a plataforma sub-compacta e os subsistemas carroceria e elétrica e ar condicionado, tem o valor da constante de forma β (*shape*) menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é

decrecente com o aumento da magnitude do tempo (quilometragem), e podem representar a primeira fase da curva da banheira, todavia observa-se um outro comportamento nas figuras 82, 86 e 88 de que os subsistemas chassi, motor e transmissão tem o valor da constante de forma β (*shape*) maior que 1, e isto denota que a taxa de falhas é crescente com o aumento da magnitude do tempo (quilometragem) e podem representar a terceira fase da curva da banheira.

4.5 Quinto estudo – Plataforma sub-compacta Chile

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade. O anexo G mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta no Chile.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 89.

Figura 89 – Distribuição de falhas por subsistema - Chile

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 90.

Figura 90 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Chile

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 91 abaixo.

Figura 91 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile

4.5.1 Chile – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 92.

Figura 92 – Distribuição de quilometragem Chile - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 93 abaixo.

Figura 93 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Carroceria

4.5.2 Chile – Subsistema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra se figura 94.

Figura 94 – Distribuição de quilometragem Chile - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 95 abaixo.

Figura 95 – Curva de confiabilidade Chile – Subistema Chassi

4.5.3 Chile – Subistema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subistema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 96.

Figura 96 – Distribuição de quilometragem Chile - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 97 abaixo.

Figura 97 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Elétrica e ar condicionado

4.5.4 Chile – Subsistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 98.

Figura 98 – Distribuição de quilometragem Chile - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 99 abaixo.

Figura 99 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Motor

4.5.5 Chile – Subsistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo do Chile para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 100.

Figura 100 – Distribuição de quilometragem Chile - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Chile subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 101 abaixo.

Figura 101 – Curva de confiabilidade Chile – Subsistema Transmissão

Observa-se através das figuras 91, 93, 95, 97, 99 e 101, de que a plataforma sub-compacta e os seus subsistemas, tem o valor da constante de forma β (*shape*)

menor que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é decrescente com o aumento da magnitude do tempo (quilometragem), e podem representar a primeira fase da curva da banheira.

4.6 Sexto estudo – Plataforma sub-compacta Colômbia

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade. O anexo H mostra as 25 principais falhas em garantia para a plataforma sub-compacta na Colômbia.
- Levanta-se a distribuição das falhas por subsistema conforme mostra a figura 102.

Figura 102 – Distribuição de falhas por subsistema - Colômbia

- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.

- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 103.

Figura 103 – Distribuição de quilometragem plataforma sub-compacta Colômbia

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 104 abaixo.

Figura 104 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia

4.6.1 Colômbia – Subsistema Carroceria

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Carroceria.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 105.

Figura 105 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Carroceria

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia subsistema carroceria, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 106 abaixo.

Figura 106 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Carroceria

4.6.2 Colômbia – Subsistema Chassi

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Chassi.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 107.

Figura 107 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Chassi

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia subsistema chassi, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 108 abaixo.

Figura 108 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Chassi

4.6.3 Colômbia – Subsistema Elétrica e ar condicionado

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Elétrica e ar condicionado.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 109.

Figura 109 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Elétrica e ar condicionado

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia subsistema Elétrica e ar condicionado, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 110 abaixo.

Figura 110 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Elétrica e ar condicionado

4.6.4 Colômbia – Subsistema Motor

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Motor.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 111.

Figura 111 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Motor

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia subsistema Motor, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 112 abaixo.

Figura 112 – Curva de confiabilidade Colômbia – Subsistema Motor

4.6.5 Colômbia – Subsistema Transmissão

Tomando-se os dados de campo conforme segue:

- Tomando-se as 100 maiores reclamações de campo da Colômbia para análise da confiabilidade e filtra-se as reclamações relativas ao subsistema Transmissão.
- A partir das reclamações, toma-se as quilometragens de cada falha e se agrupa as quantidades de falhas por quilometragem.
- Levanta-se os dados censurados, ou seja, baseado na quantidade de veículos que não tiveram falhas durante o seu período de garantia, foi feita a distribuição de quilometragens conforme mostra a figura 113.

Figura 113 – Distribuição de quilometragem Colômbia - Transmissão

Deste modo, pode-se prever a confiabilidade da plataforma sub-compacta Colômbia subsistema Transmissão, através do *software Minitab release 14*, conforme mostra a figura 114 abaixo.

Figura 114 – Curva de confiabilidade Colômbia – Substema Transmissão

Observa-se através das figuras 104, 106, 108, 110, 112 e 114, de que a plataforma sub-compacta e os seus subsistemas, tem o valor da constante de forma β (*shape*) maior que 1, sendo assim isto denota que a taxa de falhas é crescente com o aumento da magnitude do tempo (quilometragem), e podem representar a terceira fase da curva da banheira.

5 COMPARAÇÃO DAS CONFIABILIDADES

5.1 Comparativo Brasil e Argentina

A partir dos dados das confiabilidades da plataforma sub-compacta definidos anteriormente, procede-se a comparação para verificação se podem ou não serem considerados os mesmos desempenhos em ambos países, para isto levanta-se as curvas de confiabilidade através do *software Minitab release 14*, conforme mostrado anteriormente e as lineariza e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 115.

Figura 115 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e Argentina

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que em determinados pontos haja uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que há uma diferença de 26,45% e 44,99% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão

financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

O ideal é que as retas fossem coincidentes, pois isto teria uma tendência de igualdade das confiabilidades de ambos países e conseqüentemente a provisão financeira para o período de garantia poderiam ser próximos em ambos países.

Observa-se ainda que as curvas na figura 115 se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades da plataforma sub-compacta podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{437748}{997080} = 0,439$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 389$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, 2, 2, 1, 2}$$

$$F_c = 1,889 > F_{\frac{\alpha}{2}, 2, 2, 1, 2} \Rightarrow 0,025 \infty \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2, 2, 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2, 2, 2}}$$

$$F_c = 1,889 < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2, 2, 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2, 2, 2}} \Rightarrow \frac{F_{0,025, \infty, \infty}}{1} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho da plataforma sub-compacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.1.1 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Carroceria

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema carroceria definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 116.

Figura 116 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Carroceria

Um aspecto que pode ser observado é quanto a inclinação das retas, observa-se que as mesmas tem visualmente inclinações similares, ou seja, parecem ser paralelas, todavia há uma lacuna entre ambas, ou seja, uma curva é deslocada com relação a outra e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que há uma diferença de 2,53% e 11,17% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período

de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Embora as curvas para a plataforma sub-compacta se cruzem, as curvas para o subsistema carroceria não se cruzam, porém as curvas de limites de confiança se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{38000308}{121191413} 0,314$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 523$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, 2-2, 1, 2-2}$$

$$c = 523 > F_{\frac{\alpha}{2}, 2-2, 1, 2-2} \Rightarrow_{0,025} 18, \infty = ,27$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2-2, 2, 2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2-2, 2, 2-2}}$$

$$c = 523 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2-2, 2, 2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1, 2-2, 2, 2-2}} = \frac{1,48}{1,31} 0,763$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema carroceria da plataforma sub-compacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.1.2 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Chassi

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema chassi definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 117.

Figura 117 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Chassi

Observa-se que as retas se cruzam e tem inclinações diferentes uma da outra, todavia há uma lacuna na parte inferior e superior ao ponto onde ambas as retas se cruzam, e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que há uma diferença de 7,96% e 10,66% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças. A diferença entre as porcentagens de falhas no valor de 15000km, é alta e poderia ser reduzida no intuito de se buscar confiabilidades similares em ambos mercados, contudo como as curvas para o subsistema chassi se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{36289858}{123960619} = 0,293$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 414$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}$$

$$c = 414 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2} \Rightarrow 0,025 \infty \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}}$$

$$c = 414 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema chassi da plataforma sub-compacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.1.3 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Elétrica e ar condicionado

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 118.

Figura 118 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Elétrica e AC

Observa-se que as retas se cruzam e tem inclinações diferentes, todavia há uma lacuna na parte inferior e superior ao ponto onde ambas as retas se cruzam, e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que há uma diferença de 11,34% e 21,71% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças. A diferença entre as porcentagens de falhas no valor de 15000km, é alta e poderia ser reduzida no intuito de se buscar confiabilidades similares em ambos mercados, contudo como as curvas para o subsistema elétrica e ar condicionado se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{35666083}{111852981} \theta_1 319$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 977$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 977 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$

$$F_c = 977 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema elétrica e ar condicionado da plataforma sub-compacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.1.4 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Motor

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema motor definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 119.

Figura 119 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Motor

Observa-se que as retas se cruzam e tem inclinações diferentes, todavia há uma lacuna na parte inferior ao ponto onde ambas as retas se cruzam, e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que há uma diferença de 1,41% e 3,62% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças. A diferença entre as porcentagens de falhas no valor de 15000km, é alta e poderia ser reduzida no intuito de se buscar confiabilidades similares em ambos mercados, contudo como as curvas para o subsistema motor se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{37770230}{130097775} \theta_{,290}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 403$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2}$

$$F_c = 403 > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}$

$$F_c = 403 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema motor da plataforma sub-compacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.1.5 Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Transmissão

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema transmissão definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 120.

Figura 120 – Comparativo Brasil e Argentina – Subsistema Transmissão

Observa-se que as retas se cruzam e tem inclinações diferentes, todavia há uma lacuna na parte inferior e superior ao ponto onde ambas as retas se cruzam, e quando se compara a taxa de falhas, observa-se a diferença é pequena, ou seja, 0,74% e 0,80% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, pois a lacuna maior aparece dentro do período de garantia. Apesar da diferença entre as porcentagens de falhas no valor de 15000km ser próxima, a lacuna existente durante o período de garantia poderia ser reduzida no intuito de se buscar confiabilidades similares em ambos mercados, contudo como as curvas para o subsistema transmissão se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{37622377}{130355994} 0,289$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 575$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 575 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \cdot \infty = 57$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$c = 575 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, 34}}{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, 34}} = 1,79 \cdot 0,559$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema transmissão da plataforma subcompacta na Argentina é diferente do desempenho no Brasil.

5.2 Comparativo Brasil e México

A partir dos dados das confiabilidades definidos anteriormente, procede-se a comparação para verificação se podem ou não serem considerados os mesmos desempenhos em ambos países, para isto levanta-se as curvas de confiabilidade através do *software Minitab release 14*, conforme mostrado anteriormente e as lineariza e se tem as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 121.

Figura 121 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e México

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que nas quilometragens iniciais haja uma diferença grande e conseqüentemente uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se que a diferença é pequena, ou seja, de 44,99% e 45,03% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto abaixo dos 15000 km a diferença nas taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas na figura 121 se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades da plataforma sub-compacta podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{313771650}{91997080} = 3,411$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 301$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$F_c = 1,601 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$F_c = 1,601 < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}} \Rightarrow_{0,025} \frac{1}{\infty} = 0$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho da plataforma sub-compacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.2.1 Comparativo Brasil e México – Subsistema Carroceria

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema carroceria definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 122.

Figura 122 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Carroceria

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente mil quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, a inclinação das retas faz com que quando comparado a taxa de falhas, haja uma grande diferença de 3,99% e 11,17% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Como as curvas para o subsistema carroceria se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{508221088}{121191413} 4,194$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 534$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 534 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$c = 534 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema carroceria da plataforma subcompacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.2.2 Comparativo Brasil e México – Subsistema Chassi

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema chassi definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 123.

Figura 123 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Chassi

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente quinze mil quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, embora as inclinações das retas sejam diferentes, quando comparado a taxa de falhas, a diferença não é grande, ou seja, de 10,45% e 10,66% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), todavia se a mesma análise for realizada em outras quilometragens, a diferença entre as taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Como as curvas para o subsistema chassi se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{478617276}{123960619} = 3,7861$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 399$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 399 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$c = 399 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{1} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema chassi da plataforma sub-compacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.2.3 Comparativo Brasil e México – Subsistema Elétrica e ar condicionado

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 124.

Figura 124 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Elétrica e AC

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente quinze mil quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, embora as inclinações das retas sejam diferentes, quando comparado a taxa de falhas, a diferença não é grande, ou seja, de 21,71% e 22,20% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), todavia se a mesma análise for realizada em outras quilometragens, a diferença entre as taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Como as curvas para o subsistema elétrica e ar condicionado se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{422241095}{111852981} = 3,775$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 382$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}$$

$$c = 382 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2} \Rightarrow 0,025 \infty \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}}$$

$$c = 382 \leq \frac{F_{0,025, \infty, \infty}}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema elétrica e ar condicionado da plataforma sub-compacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.2.4 Comparativo Brasil e México – Subsistema Motor

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema motor definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 125.

Figura 125 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Motor

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente um milhão de quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, todavia devido a tais diferenças nas inclinações das retas, quando comparado a taxa de falhas a diferença é grande, ou seja, de 1,41% e 5,40% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma análise for realizada em quilometragens mais baixas, a diferença entre as taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças. Como as curvas para o subsistema motor se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{505812639}{130097775} 3,888$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 304$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 304 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$c = 304 \leq \frac{1}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema motor da plataforma sub-compacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.2.5 Comparativo Brasil e México – Subsistema Transmissão

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema transmissão definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 126.

Figura 126 – Comparativo Brasil e México – Subsistema Transmissão

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente vinte mil quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, todavia devido a tais diferenças nas inclinações das retas, quando comparado as taxas de falhas, a diferença é grande, ou seja, de 0,80% e 2,05% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma análise for realizada em quilometragens mais baixas, a diferença entre as taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças. Como as curvas para o subsistema transmissão se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{517378907}{130355994} = 3,969$$

Da equação 5 tem-se:

$$c_c = 391$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$c_c = 391 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$

$$c_c = 391 \leq \frac{1}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema transmissão da plataforma sub-compacta no México é diferente do desempenho no Brasil.

5.3 Comparativo Brasil e África do Sul

A partir dos dados das confiabilidades definidos anteriormente, procede-se a comparação para verificação se podem ou não serem considerados os mesmos desempenhos em ambos países, para isto levanta-se as curvas de confiabilidade através do *software Minitab release 14*, conforme mostrado anteriormente e as lineariza e se tem as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 127.

Figura 127 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e África do Sul

Observa-se que as retas tem inclinações similares, como consequência as taxas de falhas também são próximas, ou seja, 44,67% e 44,99% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países poderiam ser similares, mas como as curvas para a plataforma sub-compacta se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{24168285}{91997080} \theta_{0,263}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 0,12$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 0,12 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025, \infty, \infty} =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$

$$F_c = 0,12 \leq \frac{1}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho da plataforma sub-compacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.3.1 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Carroceria

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema carroceria definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 128.

Figura 128 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Carroceria

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência as taxas de falhas são diferentes, ou seja, 6,74% e 11,17% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, mas como as curvas para o subsistema carroceria se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{25778182}{121191413} \theta_{0,213}$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 347$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 347 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$

$$F_c = 347 \leq \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema carroceria da plataforma subcompacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.3.2 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Chassi

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema chassi definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 129.

Figura 129 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Chassi

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência as taxas de falhas são diferentes, ou seja, 10,66% e 16,67% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, mas como as curvas para o subsistema chassi se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{25583059}{123960619} 0,206$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 579$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 579 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$

$$F_c = 579 \leq \frac{1}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema chassi da plataforma sub-compacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.3.3 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Elétrica e AC

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 130.

Figura 130 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Elétrica e AC

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, como consequência as taxas de falhas são diferentes, ou seja, 20,25% e 21,71% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), a diferença entre as taxas de falhas poderia ser maior se for verificada em alguma quilometragem abaixo de dez mil quilômetros, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, mas como as curvas para o subsistema elétrica e ar condicionado se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{24998701}{111852981} \theta_{0,223}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 0,9$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$F_c = 0,9 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow 0,025 \quad \infty \quad \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$$

$$F_c = 0,9 \leq \frac{F_{0,025, \infty, \infty}}{1} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema elétrica e ar condicionado da plataforma sub-compacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.3.4 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Motor

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema motor definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 131.

Figura 131 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Motor

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, bem como há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens iniciais e que vão reduzindo até aproximadamente dez mil quilômetros, e depois começam a aumentar novamente, como consequência as taxas de falhas são diferentes, ou seja, 1,41% e 3,02% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), a diferença entre as taxas de falhas poderia ser maior se for verificada em alguma quilometragem abaixo de mil quilometros, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, mas como as curvas para o subsistema motor se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{27019345}{130097775} \theta_{i208}$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = j0$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = j0 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$$

$$c = 360 \leq \frac{F_{0,025, \infty, \infty}}{1} = -1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema motor da plataforma sub-compacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.3.5 Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Transmissão

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema transmissão definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 132.

Figura 132 – Comparativo Brasil e África do Sul – Subsistema Transmissão

Observa-se que as retas tem inclinações similares, porém paralelas, sendo assim há uma lacuna entre ambas principalmente nas quilometragens altas, como consequência as taxas de falhas são diferentes, ou seja, 0,80% e 1,57% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças, mas como as curvas para o subsistema transmissão se cruzam, para concluir se as confiabilidades podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{26608140}{130355994} \theta_{204}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 0,7$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 0,7 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \cdot \infty = 0,39$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$

$$F_c = 0,517 \leq \frac{1}{F_{0,025, 64, 1,48}} = 0,676$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema transmissão da plataforma subcompacta na África do Sul é diferente do desempenho no Brasil.

5.4 Comparativo Brasil e Chile

A partir dos dados das confiabilidades definidos anteriormente, procede-se a comparação para verificação se podem ou não serem considerados os mesmos desempenhos em ambos países, para isto levanta-se as curvas de confiabilidade através do *software Minitab release 14*, conforme mostrado anteriormente e as lineariza e se tem as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 133.

Figura 133 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e Chile

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que nas quilometragens iniciais haja uma diferença grande e conseqüentemente uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se tal diferença, ou seja, de 34,49% e 44,99% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto abaixo de 10000 km a diferença nas taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas na figura 133 se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades da plataforma sub-compacta podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{5378884}{91997080} 0,058$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 417$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 417 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{1}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$c = 417 \leq \frac{1}{F_{0,025, \infty, \infty}} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho da plataforma sub-compacta no Chile é diferente do desempenho no Brasil.

5.4.1 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Carroceria

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema carroceria definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 134.

Figura 134 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Carroceria

Observa-se que as retas tem inclinações similares, todavia estão deslocadas e/ou são paralelas, fazendo com que haja uma lacuna entre ambas e conseqüentemente haja uma diferença grande nas taxas de falhas, ou seja, de 4,78% e 11,17% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto da extensão das retas, pode ser que a diferença seja a mesma devido ao paralelismo, de qualquer forma como é evidente a diferença nas taxas de falhas, a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema carroceria podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{6540636}{121191413} 0,054$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 417$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 417 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \quad \infty = 48$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{0,025, 38}}$$

$$c = 417 \leq \frac{1,64}{1,38} = 1,19 \quad 0,610$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema carroceria da plataforma subcompacta no Chile é diferente do desempenho no Brasil.

5.4.2 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Chassi

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema chassi definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 135.

Figura 135 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Chassi

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que nas quilometragens iniciais haja uma diferença grande e que vai reduzindo até o ponto onde as retas se cruzam e posteriormente começa a aumentar novamente, e conseqüentemente há uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se tal diferença, ou seja, de 5,53% e 10,66% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto abaixo de 10000 km a diferença nas taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema chassi podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{6573431}{123960619} 0,053$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 434$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}$$

$$c = 434 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2} \Rightarrow_{0,025} \infty = 48$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1 - 2, r_2 - 2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2 - 2, r_1 - 2}}$$

$$c = 434 \leq \frac{F_{0,025, 38}}{F_{0,025, 38}} = \frac{1,64}{1,64} = 0,610$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema chassi da plataforma sub-compacta no Chile é diferente do desempenho no Brasil.

5.4.3 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Elétrica e ar condicionado

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 136.

Figura 136 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Elétrica e AC

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que nas quilometragens iniciais haja uma diferença grande e que vai reduzindo até o ponto onde as retas se cruzam e posteriormente começa a aumentar novamente, e conseqüentemente há uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se tal diferença, ou seja, de 18,65% e 21,71% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto abaixo de 1000 km a diferença nas taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema elétrica e ar condicionado podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{5960756}{111852981} 0,053$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = ,6$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2}$$

$$c = ,6 > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2} \Rightarrow 0,025 \infty \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}$$

$$c = ,6 \leq \frac{F_{0,025, \infty \infty 1}}{F_{0,025, \infty \infty 1}} = -1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema elétrica e ar condicionado da plataforma sub-compacta no Chile é diferente do desempenho no Brasil.

5.4.4 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Motor

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema motor definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 137.

Figura 137 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Motor

Observa-se que as retas tem inclinações diferentes, fazendo com que nas quilometragens iniciais haja uma diferença grande e que vai reduzindo até o ponto onde as retas se cruzam e posteriormente começa a aumentar novamente, e conseqüentemente há uma lacuna entre ambas e quando se compara a taxa de falhas, observa-se tal diferença, ou seja, de 1,41% e 5,06% considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km), se a mesma comparação for realizada em qualquer outro ponto abaixo de 10000 km a diferença nas taxas de falhas será maior, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema motor podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{6552730}{130097775} 0,050$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = ,3$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2}$$

$$c = ,3 > F_{\frac{\alpha}{2}, 2r-2, 1r-2} \Rightarrow_{0,025} ; \infty = 48$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, 1r-2, 2r-2}}$$

$$c = ,3 \leq \frac{F_{0,025, 38}}{1,64} = 0,610$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema motor da plataforma sub-compacta no Chile é diferente do desempenho no Brasil.

5.4.5 Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Transmissão

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema transmissão definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 138, todavia o tamanho da amostra é insuficiente para que seja realizado o teste de hipóteses que é necessário para se concluir se ambos países tem desempenho iguais, sendo assim para este subsistema o estudo não será concluído.

Figura 138 – Comparativo Brasil e Chile – Subsistema Transmissão

5.5 Comparativo Brasil e Colômbia

A partir dos dados das confiabilidades da plataforma sub-compacta definidos anteriormente, procede-se a comparação para verificação se podem ou não serem considerados os mesmos desempenhos em ambos países, para isto levanta-se as curvas de confiabilidade através do *software Minitab release 14*, conforme mostrado anteriormente e as lineariza e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 139.

Figura 139 – Comparativo da plataforma sub-compacta Brasil e Colômbia

Observa-se que as retas tem inclinações muito diferentes e conseqüentemente nas quilometragens iniciais há uma grande diferença nas taxas de falhas, considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km) observa-se a grande diferença na taxa de falhas, ou seja, de 3,47% e 44,99%, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas na figura 139 se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades da plataforma sub-compacta podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{10770093}{91997080} \theta_1^{117}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 774$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$F_c = 774 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \infty =$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}$$

$$F_c = 774 \leq \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, \infty, \infty}}{1} = 1$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho da plataforma sub-compacta na Colômbia é diferente do desempenho no Brasil.

5.5.1 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Carroceria

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema carroceria definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 140.

Figura 140 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Carroceria

Observa-se que as retas tem inclinações muito diferentes e conseqüentemente nas quilometragens iniciais há uma grande diferença nas taxas de falhas, considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km) observa-se a grande diferença na taxa de falhas, ou seja, de 0,76% e 11,17%, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema carroceria podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{6883773}{121191413} 0,058$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 581$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 581 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} ; \infty = 48$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$

$$F_c = 581 \leq \frac{F_{0,025, 38}}{F_{0,025, 1,64}} = 0,610$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema carroceria da plataforma subcompacta na Colômbia é diferente do desempenho no Brasil.

5.5.2 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Chassi

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema chassi definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 141.

Figura 141 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Chassi

Observa-se que as retas tem inclinações muito diferentes e conseqüentemente nas quilometragens iniciais há uma grande diferença nas taxas de falhas, considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km) observa-se a grande diferença na taxa de falhas, ou seja, de 10,66% e 21,40%, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema chassi podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{4877032}{123960619} \theta_{0,025}$$

Da equação 5 tem-se:

$$F_c = 309$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$

$$F_c = 309 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} \cdot \infty = 39$$

e/ou

- 2ª condição:

Rejeita-se H_0 se $F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$

$$F_c = 309 \leq \frac{F_{0,025, 64}}{F_{0,025, 1,48}} = 0,676$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema chassi da plataforma sub-compacta na Colômbia é diferente do desempenho no Brasil.

5.5.3 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Elétrica e ar condicionado

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtém as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 142.

Figura 142 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Elétrica e AC

Observa-se que as retas tem inclinações muito diferentes e conseqüentemente nas quilometragens iniciais há uma grande diferença nas taxas de falhas, considerando-se uma quilometragem de fim do período de garantia (15000 km) observa-se a grande diferença na taxa de falhas, ou seja, de 1,14% e 21,71%, sendo assim a provisão financeira para o período de garantia de ambos países deveriam ser diferentes e/ou contemplar tais diferenças.

Observa-se ainda que as curvas se interceptam, sendo assim para concluir se as confiabilidades do subsistema elétrica e ar condicionado podem ou não serem consideradas iguais, será necessário complementar a análise através de um teste de hipóteses com 95% de confiança.

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

$$H_1: \theta_1 \neq \theta_2$$

Da equação 4 tem-se:

$$C = \frac{10514769}{111852981} \theta_1^{0,094}$$

Da equação 5 tem-se:

$$c = 129$$

Da equação 6 tem-se:

- 1ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}$$

$$c = 129 > F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2} \Rightarrow_{0,025} ; \infty = 48$$

e/ou

- 2ª condição:

$$\text{Rejeita-se } H_0 \text{ se } F_c < \frac{F_{\frac{\alpha}{2}, r_1-2, r_2-2}}{F_{\frac{\alpha}{2}, r_2-2, r_1-2}}$$

$$c = 129 \leq \frac{F_{0,025, 38}}{F_{0,025, 1,64}} = 0,610$$

Sendo assim rejeita-se H_0 e aceita-se H_1 , ou seja, pode-se concluir com 95% de confiança de que o desempenho do subsistema elétrica e ar condicionado da plataforma sub-compacta na Colômbia é diferente do desempenho no Brasil.

5.5.4 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Motor

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema motor definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 143, todavia o tamanho da amostra é insuficiente para que seja realizado o teste de hipóteses que é necessário para se verificar se ambos países tem desempenho iguais, sendo assim para este subsistema o estudo não será concluído.

Figura 143 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Motor

5.5.5 Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Transmissão

A partir dos dados da confiabilidade do subsistema transmissão definidos anteriormente, lineariza-se as curvas de confiabilidade e se obtêm as curvas de probabilidades de falhas conforme mostra a figura 144, todavia o tamanho da amostra é insuficiente para que seja realizado o teste de hipóteses que é necessário para se concluir se ambos países tem desempenho iguais, sendo assim para este subsistema o estudo não será concluído.

Figura 144 – Comparativo Brasil e Colômbia – Subsistema Transmissão

5.6 Diferenças entre mercados

A partir das comparações das confiabilidades, conclui-se que todos os países e seus respectivos subsistemas tem o desempenho diferente do desempenho da mesma plataforma e subsistemas no Brasil, sendo assim, baseado no banco de dados de falhas de campo do Brasil e dos demais países, pode-se encontrar as principais falhas de campo responsáveis por tais diferenças. A figura 145 mostra o comparativo entre a porcentagem de falhas de cada subsistema por país, e se pode observar a amplitude entre os percentuais de falhas, contudo a estratégia usada para encontrar diferenças seguirão os seguintes passos:

- Listar todos os códigos de mão-de-obra referentes ao subsistema estudado bem como as incidências dos mesmos para todos os países;
- Comparar cada código de mão-de-obra entre os países e identificar os casos com grandes amplitudes nos percentuais de falhas;
- Separar os códigos de mão-de-obra relevantes e identificar os motivos responsáveis pelas diferenças.

Figura 145 – Comparativo entre as porcentagens de falhas dos subsistemas

5.6.1 Elétrica e ar condicionado

Através da análise do banco de dados de falhas de campo se obtém os seguintes itens responsáveis pelas diferenças de desempenho no subsistema elétrica e ar condicionado conforme segue:

- Alto falante – México

Segundo Ziemba (2000), a qualidade do som do sistema de áudio do veículo pode diferir nas condições estática e dinâmica, o fato é que quando se avalia a qualidade do som na condição dinâmica, um outro tipo de ruído exterior ao veículo que vem do meio ambiente onde o veículo trafega (*road noise*) pode mascarar alguns ruídos internos de baixa frequência gerado pelo sistema de áudio do veículo, ou especificamente dos alto falantes. Um outro ponto é que quando se avalia a qualidade do som do sistema de áudio do veículo na condição dinâmica, os efeitos das frequências de balanço do veículos também vão influenciar na qualidade do som, sendo assim a qualidade do som emitido pelos alto falantes será determinado através das avaliações estática e dinâmica.

O problema de distorsão do som emitido pelos alto falantes ora enfrentado no mercado Mexicano estava relacionado com o projeto do alto falante, ou seja, as frequências de balanço do veículo somadas as frequências naturais do próprio alto falante quando em operação estavam influenciando a qualidade do som dos alto falantes, todavia o problema estava concentrado no México, pois o volume de veículos vendidos com alto falantes originais montados na fábrica, no Brasil é baixo quando comparado com o México.

Este acessório também tinha um contraste entre o México e os demais países, pois outras plantas de montagem da plataforma sub-compacta, possuíam alto falantes de fornecedor local com projeto similar e conseqüentemente sem falhas.

A figura 146 mostra o alto falante e a sua estrutura responsável por sustentar todos os componentes montados no alto falante e que precisa ter uma determinada rigidez para produzir um som de qualidade.

Figura 146 – Estrutura do alto falante

(Fonte: Anjos, 2007)

- Limpador de parabrisa - Brasil e México

O modo de falha do limpador de parabrisa era específico de tais mercados devido aos seguintes fatores como:

- Os veículos exportados para o México eram produzidos no Brasil;

- As outras plantas de montagem da plataforma sub-compacta utilizavam peças de fornecedores locais;
- O projeto e o processo de montagem contribuíram para as falhas;

Os principais modos de falhas que envolvem os limpadores de parabrisa devem ser conhecidos e considerados no projeto do produto e processo conforme segue:

- Segundo Bayer (2004), produtos devem ser aplicados sobre as superfícies do vidro parabrisa de forma a proteger contra a degradação ótica bem como a transparência. A superfície dos vidros podem ser danificadas por influências de vários fatores, e os principais deles são os lavadores de rolo utilizados em postos de gasolina e a ação dos limpadores de parabrisa, sendo que em ambas situações o agente catalizador das falhas é a areia e o pó que são agentes abrasivos e causam desgaste. Vale salientar que o agente abrasivo afeta tanto o vidro parabrisa quanto o limpador de parabrisa. A figura 147 mostra que testes devem ser realizados no sentido de avaliar o desgaste de ambas superfícies (vidro e limpador) bem como a transparência do vidro.

Figura 147 – Testes com limpador de parabrisa
(Fonte: Bayer, 2004)

- Segundo Billot, Jallet e Marmonier (2001), a baixa eficiência em termos de limpeza do vidro quando o veículo está em alta velocidade é devido a falta de pressão do limpador contra o vidro, gerada pela aerodinâmica do veículo. A condição crítica para os limpadores é quando o veículo está em movimento e

especificamente em alta velocidade, onde ocorre a ação do ar em alta velocidade, e para garantir o bom desempenho neste tipo de ambiente, o engenheiro projetista deve ser capaz de determinar as pressões exercidas pelos elementos do limpador sobre o elemento de borracha e seus efeitos quando o veículo está em alta velocidade. Para isto é possível simular virtualmente o uso do limpador em sua posição sobre o vidro e a aplicação da aerodinâmica sobre o mesmo, de forma a obter as forças aplicadas em cada elemento, bem como as forças aplicadas sobre o elemento de borracha conforme mostra a figura 148. A partir da simulação aerodinâmica virtual é possível se obter a distribuição de forças de levantamento do limpador, ou seja, as forças provocadas pela aerodinâmica e que faz com que o limpador reduza o contato com o vidro.

Figura 148 – Simulação virtual do limpador de parabrisa
(Fonte: Billot, Jallet e Marmonier, 2001)

Através de um modelo de elementos finitos pode-se também realizar uma simulação mecânica virtual com o limpador aplicado sobre o vidro para também avaliar a distribuição de forças dos elementos do limpador dependendo da força aplicada pelo braço do limpador, considerando o peso bem como o levantamento do limpador e do elemento de borracha conforme mostra a figura 149.

Figura 149 – Simulação mecânica do limpador de parabrisa
(Fonte: Billot, Jallet e Marmonier, 2001)

No modelo de elementos finitos pode-se avaliar várias condições de aplicações de forças, aerodinâmica, tipos de limpadores e de parabrisa bem como outras variáveis e assim projetar o limpador de parabrisa para ter melhor desempenho.

- Segundo Goto, Takahashi e Oya (2001), o ruído nos limpadores de parabrisa também tem sido um das principais reclamações de clientes. Os ruídos estão classificados em três grupos:
 1. Ruído tipo assvio (*squeal noise*) – Ruído de alta frequência de vibração 1000Hz;
 2. (*Chattering*) – Ruído de baixa frequência de vibração 100Hz;
 3. Ruído de reversão (*Reversal noise*) - Ruído de impacto e frequência de vibração 500Hz;

Entre as classes de ruído, o do tipo assóvio é o principal modo de falha encontrado no campo e ocorre normalmente porque a velocidade do limpador muda drasticamente antes e após a reversão do limpador e com isto aumenta a força de atrito, com isto nos locais onde a velocidade da palheta de borracha reduz (antes e após a reversão) uma vibração auto excitada é gerada em tais áreas produzindo assim o ruído.

Segundo Goto, Takahashi e Oya (2001), o ruído de limpador de parabrisa também pode ser estudado através de um modelo de elementos finitos conforme mostra a figura 150.

Figura 150 – Distribuição de stress na direção Y

(Fonte: Goto, Takahashi e Oya, 2001)

- A geometria da carroceria do veículo também tem sua contribuição para o bom desempenho do limpador de parabrisa, ou seja, as coordenadas do vão do vidro parabrisa e os pontos de fixação dos limpadores deverão ser mantidos dentro das especificações dimensionais sob o risco de invalidar todo trabalho que foi desenvolvido pelos engenheiros projetistas, ou melhor dizendo as características dimensionais são responsáveis pelo ângulo de

ataque do limpador de parabrisa. A figura 151 mostra um exemplo do ângulo de ataque, ou seja, o ângulo de ataque é a relação entre a posição angular da palheta de borracha em relação ao vidro, e o sinal do ângulo de ataque (positivo ou negativo) será determinado através da superfície normal ao vidro vista do topo da palheta.

Figura 151 – Vista de topo do limpador de parabrisa
(Fonte: SAE J903, Rev. Maio 1999)

- Compressor – Argentina, México, África do Sul e Chile

O compressor é um dos acessórios do sistema de ar condicionado e possuía falhas localizadas na Argentina, México, África do Sul e Chile pelos seguintes motivos:

- A porcentagem de veículos com ar condicionado nos quatro países é maior que no Brasil, sendo que há casos em que o acessório é montado em 100% dos veículos exportados;
- Modo de falhas relacionado com o projeto do acessório e específico do mercado exportação.

O modo de falha dos compressores estava relacionado com o projeto, ou o desgaste devido a lubrificação deficiente no início de operação do compressor após um longo período sem funcionar, ou seja, a falha estava relacionada com o tempo em que os veículos ficavam parados sem uso durante o transporte da fonte até o seu destino final, venda e entrega para o cliente final, ou simplesmente o longo tempo de

estoque até a venda, pois durante este tempo havia a decantação do óleo lubrificante e no momento da partida, o componente operava sem lubrificação.

Segundo Bayer (2004), o desgaste é progressivo sendo que é uma falha que ocorre devido ao contato entre superfícies em movimento uma sobre a outra, todavia o desgaste não está limitado somente à perda de material, mas também a deformação plástica das superfícies em contato devido a batidas, e em terceiro lugar a formação de trincas. Componentes que operam com superfícies em contato do tipo deslizante possuem desgaste devido ao atrito, todavia a magnitude da força de atrito é descrita em termos do coeficiente de atrito μ , que é a relação da força de atrito F e a força normal N , pressionando dois corpos juntos:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (7)$$

Existem três formas nas quais o desgaste pode ser classificado:

- Através da aparência do desgaste (exemplos: arranhado, polido, etc);
- Através do mecanismo físico que remove o material ou causa o desgaste (exemplos: oxidação, abrasão, etc);
- As condições que envolvem o ambiente onde ocorre o desgaste (exemplos: falta de lubrificação, metal metal deslizante, etc).

Segundo Bayer (2004), uma solução para alguns dos problemas relacionados com o desgaste do tipo contato metal metal, é a aplicação de materiais de baixo coeficiente de atrito, um exemplo é o teflon que é notadamente conhecido por possuir um baixo coeficiente de atrito ($\mu \leq 0,1$), uma outra consideração para o projeto de superfícies que vão trabalhar em contato é quanto a questão da dissipação de energia, ou seja, o atrito está associado com o total de perda de energia em um sistema deslizante, e a principal forma onde ocorre a perda de energia é através do calor.

Portanto para o mecanismo de falha ora observado nos compressores foi modificado o tratamento superficial aplicado nas partes internas do compressor reduzindo assim o atrito entre os componentes no início de funcionamento.

5.6.2 Chassi

Através da análise do banco de dados de falhas de campo se obtém os seguintes itens responsáveis pelas diferenças de desempenho no subsistema chassi conforme segue:

- Caixa de direção – África do Sul

O contraste entre a África do Sul e o Brasil no tocante ao percentual de falhas da caixa de direção, pode ser entendido devido ao modo de falha estar relacionado com o projeto do componente, contudo esta falha era específica da África do Sul, ou seja, como na África do Sul a direção é lado direito, o projeto da caixa de direção também era específico para tal aplicação, porém com mais um outro diferencial deste mercado, a caixa de direção utilizada na África é do tipo EPS (*Electric power steering*) caixa de direção eletricamente assistida.

O sistema de direção EPS é composto basicamente de uma caixa de direção mecânica e um motor elétrico que é montado sobre a coluna de direção para prover a assistência necessária ao motorista conforme mostra a figura 152.

Figura 152 – Sistema de direção EPS
(Fonte: BADAUWY, A. et al., 1999)

A caixa de direção possui ainda um mecanismo chamado de cremalheira e pinhão onde um torque é aplicado através do bujão conforme mostra figura 153, e que define o esforço a ser aplicado na coluna de direção ligada ao volante para fazer as manobras, bem como o nível de ruído entre a cremalheira e o pinhão devido às folgas entre ambas as peças, todavia no caso da caixa de direção EPS, o motor fará

a assistência e o esforço será reduzido para o motorista, porém há um assunto que é motivo de preocupação para os engenheiros projetistas, pois deve haver um equilíbrio entre o torque aplicado no bujão que quanto maior for, maior deverá ser o esforço do motor elétrico para movimentar o pinhão e a cremalheira e conseqüentemente haverá a necessidade de um motor mais potente para atender a um determinado esforço requerido e sem ruídos de cremalheira e pinhão, bem como garantir o retorno do volante a posição original. No caso da África do Sul, o projeto foi modificado de forma a atender os requisitos dos clientes quanto a ruído de cremalheira e pinhão e garantir de que o motor elétrico irá trabalhar dentro dos limites especificados.

Figura 153 – Caixa de direção

(Fonte: Dalarosa, 2006)

- Freio dianteiro – Argentina, México e África do Sul

As falhas relativas ao ruído de freio na Argentina, México e África do Sul não são específicas de tais países, ou seja, todos os outros países podem observar a mesma falha, todavia o contraste pode ser justificado através de tais pontos como:

- Cobertura em garantia – há países onde não existe cobertura em garantia para as falhas de ruído de freio;
- Percepção dos clientes – há países em que os clientes se sentem mais incomodados com o ruído de freio que em outros;
- Aplicação – há países em que dependendo das características abaixo mencionadas, o problema pode ser maior ou menor e até mesmo imperceptível por muitos clientes.

As falhas de ruído de freio estavam relacionadas com o projeto do produto, pois o desempenho em termos de ruído do subsistema freio depende de algumas variáveis que serão descritas adiante.

Segundo Kapadnis e Im (2003), o ruído de freios dianteiros do tipo assovio que é o modo de falhas de ruído de freios mais comum observado no campo, ocorre quando há uma grande amplitude de vibração mecânica dos componentes da suspensão.

Segundo Dai e Lim (2006), em geral os modos de falhas de ruído de freios podem ser classificados em várias categorias baseado na frequência em que o ruído ocorre e na fonte de excitação conforme mostra a figura 154.

Figura 154 – Classificação de ruído de freios baseado na amplitude de frequência e fonte de excitação
(Fonte: Dai e Lim, 2006)

Segundo Dai e Lim (2006), variáveis como a temperatura, pressão, velocidade e umidade são alguns dos fatores que contribuem para a ocorrência do ruído de freio, e no veículo os componentes como o disco de freio, pastilha, caliper e a suspensão podem ser os mecanismos responsáveis pela vibração que provoca tal ruído. Embora vários estudos tenham sido realizados para encontrar as fontes de excitação da vibração que causa o ruído do tipo assovio, observa-se que cada componente tem seu percentual de contribuição neste modo de falha, contudo o projeto da pastilha de freio tem sido o alvo de constante estudos e modificações para solução do problema de ruído do tipo assovio, quatro pontos são determinantes no projeto da pastilha de freio conforme segue:

- Dimensões como comprimento da pastilha, espessura e geometria do chanfro. A figura 155 mostra exemplos de geometrias de pastilhas como chanfro vertical (a), radial (b), inverso (c) e em forma de diamante (d);
- Material de atrito, normalmente é segredo industrial do fabricante da pastilha;
- Coeficiente de atrito;
- Material isolante na parte traseira da pastilha. A figura 156 mostra o material isolante aplicado sobre a face traseira da pastilha e que tem a função de dissipação das frequências transmitidas para as pastilhas internas e externas.

Figura 155 – Configurações de chanfro e canal de pastilha de freio

(Fonte: Dai e Lim, 2006)

Como cada país tem as suas condições específicas conforme listado acima, e em adição no caso dos países que importam os veículos CKD, há também uma quantidade de peças de origem de fornecimento local, sendo assim se o disco de freio for de fornecimento local, embora siga o mesmo projeto não se pode dizer que é exatamente a mesma peça fornecida pela fonte Brasil e tem como resultado um desempenho diferente e que pode ser melhor ou pior que o observado na peça brasileira, ou seja, o engenheiro projetista deve também levar em consideração o conteúdo de peças de produção local.

Figura 156 – Geometria da pastilha de freio

(Fonte: Dai e Lim, 2006)

A figura 156 mostra características como o local de aplicação de força sobre a pastilha de freio, a geometria da placa de aço e a camada de material de amortecimento que também podem ser modificados com o intuito de reduzir o ruído.

- Bomba de combustível – Brasil

Segundo Minter (2006), em meados dos anos 90, muitos tipos de bombas de combustível sofreram altas taxas de falhas devido ao uso do ethanol como combustível. Um dos motivos das falhas era o baixo poder de lubrificação do ethanol, todavia nos dias de hoje ainda se experimentam falhas não devidas ao produto ethanol, mas muitas das falhas nas bombas de combustível estão relacionadas com a qualidade do combustível, e embora todos os países possam ser afetados pelas questões da má qualidade do combustível, o problema ora

enfrentado no Brasil estava concentrado nos veículos bicomcombustível, ou seja, com a contaminação contida na gasolina e no álcool.

Análises químicas realizadas em bombas e filtros de combustível retornados de campo conforme mostra a figura 157, mostraram a presença das partículas sólidas e outros contaminantes tais como: Alumínio, Silício, Enxofre, Cálcio, Ferro, Zinco, Sódio, Magnésio e Potássio em partículas de tamanho de 30 a 200 microns e notou-se também que o álcool possui maior quantidade de contaminantes que na gasolina.

Figura 157 – Filtro de combustível

(Fonte: Guglielmoni, 2006)

Devido a suspeitas de que alguns dos contaminantes pudessem estar se desprendendo da própria bomba de combustível, análises adicionais foram realizadas onde um outro tipo de contaminante em forma de gel também pode ser encontrado no combustível conforme mostra a figura 158. Basicamente o mesmo gel encontrado nos filtros de combustível, foi reproduzido em laboratório adicionando-se partículas de hidróxido de alumínio ao álcool e verificou-se a formação de gel.

Figura 158 – Contaminante do combustível

(Fonte: Guglielmoni, 2006)

Segundo Chiang e He (2000), o critério mais importante para a seleção de um equipamento de filtragem, é saber o tamanho da partícula que será filtrada ou o tamanho da partícula que circula pelo sistema. Há duas formas de se fazer a separação de partículas sólidas dos fluidos, uma delas é fazer com que o fluido com as partículas passe por alguma restrição, sendo que as partículas serão forçadas ou induzidas a passar por tal restrição, seja ela por gravidade ou por potencial elétrico. A segunda forma é através da filtragem das partículas sólidas em um processo de filtragem com poros conforme mostra a figura 159.

Figura 159 – Sistema de filtração

(Fonte: Chiang e He, 2000)

O tipo de filtração (a) chamado de *Deep-bed filtration* é mais conhecido como filtração de superfície, ou seja, areia e outros materiais como fibra sintética são usados como filtro do tipo médio. As partículas são capturadas pelo material filtrante e o fluido passa por através do mesmo.

O tipo de filtração (b) chamado de *Cake filtration* é normalmente usado em processos industriais para separação de partículas finas de um fluido em suspensão. A separação das partículas é feita através do contato do fluido e das partículas em suspensão com os poros do filtro do tipo médio, feito de tecido, fibra sintética ou metal.

O tipo de filtração (c) chamado de membrana, é uma película de material polímero permeável. Os poros da membrana tem dimensão desde molecular a micrometro, é utilizado para se obter água ultra pura.

Uma solução deste tipo de problema de contaminantes e a formação de gel foi o desenvolvimento de novos sistemas de filtragem conforme mostra a figura 160.

Figura 160 – Novo sistema de filtragem

(Fonte: Guglielmoni, 2006)

- Volante – Argentina, México, África do Sul e Chile

O modo de falha no volante que ocorreu na Argentina, México, África do Sul e Chile, era específico de tais mercados devido aos seguintes pontos:

- Falhas relativas ao projeto do componente, ou seja, há dois tipos de volantes utilizados para o veículo em estudo, onde um deles é usado em veículos com o acessório *air bag* e o outro nos veículos sem o acessório *air bag* conforme mostra a figura 161, todavia foi observado na aplicação com *air bag* que o local onde é o contato da buzina havia uma degradação do material, ou seja, havia um problema de durabilidade.
- O volume de vendas no Brasil deste tipo de acessório para o veículo estudado é muito menor quando comparado com os países acima, sendo assim as incidências de falhas conseqüentemente serão também muito menores;
- O tamanho da amostra de veículos na Colômbia é muito pequeno;

Este modo de falha observado no volante, pode ser entendido do ponto de vista de resistência dos materiais de que o volante sem o acessório *air bag*, além de ter uma

àrea para acionamento da buzina muito maior do que nos volantes com air bag, o local onde se tem o contato da buzina é estruturado com reforços na parte interna, um outro ponto é que quando os clientes vão tocar a buzina, não necessariamente precisam acionar com a ponta dos dedos, mas com a palma da mão, ou seja, além de se ter uma grande área de contato na buzina, o cliente também aciona com uma grande área de contato (palma da mão), já os volantes com air bag, tem uma pequena área localizada para acionar a buzina e que sempre será acionada com o dedo do motorista sobre uma pequena área que aciona o sensor da buzina.

Figura 161 – Volante
(Fonte: Anjos, 2007)

- Mangueiras de borracha – África do Sul

Um dos modos de falhas conhecido em mangueiras de borracha nitrilica é a trinca conforme mostra figura 162, e isto pode ocorrer devido à baixa resistência ao ozônio, ou seja, uma falha no projeto da mangueira.

O ozônio é um gás que está naturalmente presente na nossa atmosfera, e cada molécula de ozônio contém três átomos de oxigênio e sua fórmula química é O_3 . O ozônio é encontrado basicamente em duas regiões da atmosfera:

- Aproximadamente 10% do ozônio atmosférico está na troposfera, a região mais próxima da superfície da terra (da superfície até aproximadamente 10-16 quilômetros).
- O restante do ozônio (90%) reside na estratosfera, basicamente entre o topo da troposfera até aproximadamente 50 quilômetros de altitude.

A quantidade de ozônio da estratosfera é comumente referida como “camada de ozônio” e os engenheiros devem levar em consideração tal ação sobre as borrachas quando do desenvolvimento de novos veículos.

Figura 162 – Mangueira de borracha

(Fonte: Slabbert, 2005)

As borrachas nitrílicas (NBR) possuem excelente resistência ao ataque de solventes, óleos e combustíveis, entretanto, outros tipos de borrachas apresentam uma melhor resistência ao ataque do ozônio do que a NBR.

Visando melhorar essa deficiência, pesquisas foram realizadas pelos fabricantes de borracha nitrílica, entre outras soluções, desenvolveram as seguintes misturas :

- NBR/PVC – Acrilonitrila Butadieno / Poli(cloreto de vinila)

Segundo Passador e Passan (2006), a borracha nitrílica é um elastômero sintético e, de uma maneira geral, pode ser definida como sendo um copolímero de um dieno e de uma nitrila insaturada. Esses elastômeros são obtidos através de copolimerização em emulsão de acrilonitrila e butadieno, formando copolímeros elastoméricos estatísticos acrilonitrila-butadieno (NBR), já o poli (cloreto de vinila) ocupa um lugar de destaque entre os termoplásticos presentes no cotidiano. O PVC, devido à necessidade de incorporação de aditivos durante o seu processamento, apresenta características que o tornam adaptável a múltiplas aplicações, sendo considerado um dos plásticos mais versáteis. O PVC quando misturado à NBR, adiciona à mistura, sua principal característica, ou seja, aumenta a resistência ao ozônio.

- NBR/EVA – Acrilonitrila Butadieno / Poli(etileno-co-acetato de vinila)

Segundo Moreira e Soares (2003), o poli(etileno-co-acetato de vinila) (EVA) é um material muito interessante com excelente resistência ao ozônio e à ação de intempéries, boa tenacidade a baixas temperaturas, e boas propriedades mecânicas. Outras propriedades específicas, tais como cristalinidade e flexibilidade, são também alcançadas variando-se a quantidade de acetato de vinila no copolímero. Diversas borrachas têm sido misturadas com EVA incluindo borracha natural, policloropreno, etc. Esta mistura (NBR com EVA) pode constituir uma importante classe de materiais com excelente resistência à óleo, à abrasão e boas propriedades mecânicas promovidas pela fase NBR e excelente resistência ao ozônio e ao oxigênio por causa da fase EVA.

- NBR/EPDM – Acrilonitrila Butadieno / Etileno-Propileno Dieno

Segundo Oliveira e Soares (2002), misturas de dois ou mais elastômeros visam atingir objetivos específicos, como a melhoria das propriedades físicas, da resistência à ação do calor, oxigênio e ozônio bem como das características de processamento. A borracha nitrílica (NBR) possui excelente resistência a óleo e abrasão. Sua mistura com borrachas com baixo índice de insaturação, como o terpolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM) ou a borracha butílica (BR), é um modo atrativo de desenvolver novos materiais mais resistentes à ação do calor, oxigênio e ozônio.

5.6.3 Carroceria

Através da análise do banco de dados de falhas de campo se obtém os seguintes itens responsáveis pelas diferenças de desempenho no subsistema carroceria conforme segue:

- Bancos - Brasil

O modo de falha dos bancos não era específico do Brasil, mas também dos países importadores da plataforma sub-compacta, todavia a única razão encontrada para outros mercados não reclamarem das falhas, seria a percepção dos clientes, um outro ponto é que outras plantas que também montavam a plataforma sub-compacta utilizavam bancos de plantas de montagem de outros fornecedores com projetos similares.

A grande preocupação dos engenheiros projetistas de bancos é atender às expectativas dos clientes quanto a conforto e nível de ruído. Segundo Chen e Ebbitt (1998), os revestimentos utilizados no acabamento dos bancos são capazes de absorver os ruídos, principalmente os ruídos de baixa frequência (20 – 600Hz), todavia a espuma interna também contribui para a absorção de ruídos. Pesquisas realizadas pelo fabricante de bancos *Lear Corporation*, demonstraram que o tipo de acabamento utilizado na construção dos bancos pode variar significativamente na absorção dos ruídos, ou seja, acabamento em tecido tem um desempenho superior em termos de absorção de ruídos quando comparado a materiais como o couro e o couro sintético tipo *vinyl*.

Segundo McMullan e Mealman (2001), a espessura do encosto e do assento de espuma bem como o tipo de material utilizado também influenciam na absorção de ruído dos bancos e de outras partes internas do veículo.

Segundo McMullan e Mealman (2001), a função do material que absorve ruído é de transformar a energia das ondas de som em calor, sendo que a quantidade de calor gerado é pequeno devido a intensidade das ondas de som também serem pequenas. As propriedades de absorção de som serão determinadas através do tamanho dos poros, densidade dos poros e da espessura do material, ou seja, é como se fosse um elemento filtrante.

A solução para o problema ora enfrentado foi a modificação do projeto das partes internas do banco (estrutura e espuma) e se alcançou a redução do nível de ruído esperada.

Segundo Birch (2006), em sua matéria sobre bancos onde os principais fabricantes de bancos do mundo (Johnson Controls, Lear, Faurecia e Recaro) puderam comentar sobre as inovações que estão sendo implementadas nos bancos dos automóveis a nível mundial conforme segue:

- Em linhas gerais alguns dos os fabricantes estão trabalhando no sentido de reduzir o peso dos bancos e aumentar o conforto para os usuários.
- Yaniv Oren (Johnson Controls) comenta que desenvolveu um novo produto para o Volkswagen Passat, que permite a circulação de ar do assento e do encosto do banco com apenas um ventilador que pode funcionar em dois sentidos, ou seja, insuflar ar no usuário ou então succionar o ar, e o uso também de materiais mais leves na estrutura dos bancos também levou a redução de peso dos bancos e ruído.
- O fabricante Bentley em conjunto com o Grupo Volkswagen, embora a questão conforto seja subjetivo, os fabricantes desenvolveram normas e padrões sobre conforto dos bancos para os usuários, sendo que tais padrões levam em consideração os efeitos do balanço e galope da suspensão do veículos, vibrações da carroceria, os efeitos da histerese da espuma dos bancos, ergonomia, os níveis de compressão das partes dos bancos e os efeitos do couro.
- O fabricante Bentley está utilizando magnésio na fabricação das estruturas de bancos com intuito de reduzir peso e ruído conforme mostra a figura 163.

Figura 163 - Estrutura do banco Bentley
(Fonte: Birch, 2006)

- A Volkswagen também aplica o magnésio e aço em alguns componentes da estrutura dos bancos do veículo Fox.
- Anthony Grade, (Renault) diz que há um grande desafio para se inovar os bancos, pois devem ser obedecidos os requerimentos de engenharia, segurança e conforto, todavia seu fornecedor de bancos a Lear Corporation, tem inovado implementando o plástico vinyl pintado nos bancos, dando um visual inovador sem dar a impressão de material barato.
- O fabricante Jaguar também tem aplicado o magnésio nas estruturas dos bancos de seus veículos.
- O fabricante de bancos Recaro inovou utilizando polímero na construção da estrutura de bancos, na qual a estrutura é construída através de processo de injeção. O Renault Clio RS, tem programado para utilizar tal inovação.

5.6.4 Motor

Através da análise do banco de dados de falhas de campo se obtém os seguintes itens responsáveis pelas diferenças de desempenho no subsistema motor conforme segue:

- Houve um atendimento especial para um determinado componente do subsistema motor, onde foram definidos alguns códigos de mão-de-obra específicos para apontamento de tal reparo em garantia, todavia estes códigos de mão-de-obra não deveriam ser apontados em garantia normal por ser um atendimento especial em todos os países, porém a Argentina, México, África do Sul, Chile e Colômbia não adotaram tal procedimento e apontaram todos os veículos reparados nos códigos de mão-de-obra normal, motivo pelo qual houve uma grande diferença na taxa de falhas do Brasil e dos demais países.

- Diagnóstico de falhas – Argentina

Os códigos de mão-de-obra relacionados com o diagnóstico de falhas na Argentina, não necessariamente estão relacionados com qualquer tipo de falha no veículo, pois quando os clientes suspeitam de algum tipo de falha, eles podem ir até uma concessionária para que seja verificado se existe realmente alguma falha no veículo, ou seja, é natural que se em algum momento acender no painel do veículo a luz de

anomalias e posteriormente se apagar, o cliente pode pensar que há alguma falha no veículo e o problema pode ser somente um mal contato elétrico, porém o cliente pode ir até uma concessionária para que seja reparado o veículo, sendo assim as concessionárias podem fazer o monitoramento eletrônico do veículo com o intuito de verificar se existe algum código de falha armazenado em algum dos módulos eletrônicos do veículo e apontam esta atividade no código de mão-de-obra relacionado com o diagnóstico de falhas. Em outros países inclusive o Brasil, as concessionárias normalmente apontam tal atividade no código de mão-de-obra referente ao reparo realizado, e no caso de não haver nenhuma falha no veículo, o veículo é devolvido ao cliente e não é apontado nenhum reparo em garantia para a montadora.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

A melhor forma de verificação do desempenho dos veículos no campo é através dos dados de garantia e este estudo aqui apresentado é somente uma parte de um programa de confiabilidade.

Quando se quer comparar o desempenho entre países, uma dificuldade encontrada é quanto a análise dos dados de campo, pois embora o mesmo código de mão-de-obra seja usado na grande maioria dos países estudados, há a necessidade de se analisar cada falha e se fazer a equivalência entre códigos de mão-de-obra de forma a poder comparar exatamente as mesmas falhas entre os países.

Observa-se que uma das principais diferenças entre os países é quanto a distribuição de quilometragens onde ocorrem as falhas, ou seja, há países que tem um acúmulo de falhas prematuras em uma determinada quilometragem e outros em que as falhas tem concentração em quilometragens mais altas, o ideal é que independentemente das diferenças verificadas entre os países, a origem de tais falhas prematuras deveriam ser indentificadas, corrigidas e ações preventivas implementadas.

Confrontando os dados de campo de cada país, e recuperando o histórico das ações corretivas para cada problema, pode-se concluir que o principal fator responsável pelas diferenças de desempenho entre os países são problemas de qualidade provenientes de peças compradas, ou seja, como a plataforma sub-compacta não é produzida somente no Brasil, os países aos quais também produzem tal veículo, tem uma porcentagem de componentes de origem de fornecedores locais, sendo assim houveram influências de peças compradas de fornecedores do Brasil e dos demais países. Embora muitos componentes tiveram suas falhas originadas nos respectivos fornecedores, observou-se que em alguns casos o fornecedor estava seguindo a especificação, todavia tal característica se encontrava no limite inferior da especificação e ocorria falhas, a partir do momento que foi modificado a característica para o limite superior da especificação, o problema foi resolvido, sendo

assim há três possibilidades, não foi trabalhado sobre a causa raiz correta, a peça do fornecedor é parte da causa raiz ou a especificação está incorreta.

Em segundo lugar pode-se concluir que o processo de manufatura ou processo de montagem, também teve a sua contribuição para que houvesse tais diferenças de desempenho entre os países, pois conforme comentado anteriormente, havia mais de uma planta montando o mesmo veículo, com processos similares ao da planta do Brasil. Uma série de casos falhas pontuais foram observadas, o que pode estar relacionado com o processo de manufatura.

Em terceiro lugar pode-se concluir que a área de serviços ou pós vendas das concessionárias são responsáveis por parte das diferenças de desempenho entre os países, pois notou-se que algumas das falhas encontradas no Brasil e solucionada no campo com uma simples troca da peça que está falhada, em outros países foi trocado o conjunto completo. Um exemplo disto pode ser observado no subsistema motor, que houveram falhas na válvula termostática do motor, onde a solução era somente a troca do anel vedador conforme mostra a figura 164, todavia muitas concessionárias nos diversos países, trocaram a válvula completa ao invés do anel vedador, sendo assim foi gerado um grande aumento de casos em determinado código de mão-de-obra (válvula termostática) nos países que estão efetuando tal troca, e no Brasil foi totalmente o oposto, ou seja, aumento de casos no código de mão-de-obra do anel vedador da válvula termostática.

Figura 164 – Válvula termostática
(Fonte: Anjos, 2007)

Em quarto lugar pode-se concluir que o projeto foi responsável pelas diferenças de desempenho entre os países, embora todas as plantas sigam o mesmo projeto, há casos como do alto falante que apesar de seguir o mesmo projeto, neste caso o projeto é do fornecedor e uma vez validado pela montadora poderá ser utilizado em qualquer planta do mundo de acordo com a aplicação validada, todavia observou-se que há diferenças entre o projeto de um fornecedor para outro, por esta razão há falhas em um país e em outro não, conclui-se que para os casos onde pode ser observado tais ocorrências, os procedimentos de validação não foram robustos suficientemente para garantir que uma peça de um determinado fornecedor fosse aprovada para uso em produção com a possibilidade de falhas. Quanto ao projeto pode-se ainda concluir:

- Desenvolvimento do projeto e validação:

O desenvolvimento de produto deveria considerar todos os requisitos do país onde o produto será utilizado, posteriormente realizar a validação não só no país ao qual desenvolveu o projeto, mas exaustiva validação no país de destino. A montadora também deveria considerar na validação, a avaliação dos clientes pois há aspectos que só serão revelados e/ou observados tal criticidade quando avaliados pelo cliente final, por exemplo ruído de freios, há países que os clientes não aceitam um veículo que faça ruído de freio por menor que ele seja, e há outros como o Brasil que é menos exigente, pois isto é fácil de ser observado em um farol quando os veículos estão parando, é possível observar muitos veículos com ruído de freio, onde a mesma característica não é verificada em países como a África do Sul e México.

- Projeto desenvolvido pelos fornecedores:

A montadora deveria buscar meios de validar o projeto desenvolvido pelos fornecedores não só através de testes de laboratório, mas também através de exaustivo testes em campo de provas e no país de destino e garantir que após lançamento, todas as características do produto estejam validadas contra requerimentos de cada país como por exemplo a África do Sul onde a direção é lado direito e muitos requisitos são específicos de tal país.

Independentemente das diferenças verificadas entre os países, ações deveriam ser tomadas para se deslocar as respectivas curvas de confiabilidade para a direita,

aumentando assim a vida do produto, ou reduzir as incidências de falhas prematuras.

Um aspecto importante observado é que alguns subsistemas tem as suas falhas concentradas na primeira fase da curva da banheira, ou seja, tem a taxa de falhas decrescente e que é um ponto positivo, pois o que se espera é que durante o período de garantia, se houver falhas, as mesmas sejam pontuais, por um outro lado também observa-se que alguns subsistemas tem as suas falhas concentradas na terceira fase da curva da banheira, ou seja, tem a taxa de falhas crescente e que é extremamente preocupante, pois isto significa que no período analisado a tendência é de que haja cada vez mais falhas, sendo assim necessitaria de ações imediatas por parte da montadora no sentido de se implementar melhorias que possam reverter tal tendência, ou então verificar as influências do tamanho da amostra analisada que pode ser muito pequena.

Através das diferenças entre os países e subsistemas, observa-se a necessidade de se ter diferentes provisões financeiras para o período de garantia para cada país, e a montadora tem grandes oportunidades para negociar com os fornecedores no sentido de implementar a cobertura da garantia das peças falhadas não só para o país ao qual a peça foi vendida, neste caso o Brasil, mas cobrir a garantia nos países aos quais a peça falhou ou então negociar um preço de fornecimento considerando possíveis falhas no mercado exportação onde o fornecedor não cobrirá os custos de garantia de seus respectivos produtos.

Com o intuito de se reduzir os custos de garantia, observa-se que há certos tipos de falhas que ocorrem em todos os países ao mesmo tempo e a montadora deveria ter um programa de confiabilidade onde se acompanhe o desempenho de todos os países ao mesmo tempo e também possua um plano para contenção de tais falhas na fonte de forma a salvaguardar os clientes e conseqüentemente reduzir os custos de garantia.

Embora todas as dificuldades encontradas na obtenção dos dados de campo, bem como a análises dos mesmos, pode-se dizer que o objetivo do trabalho foi alcançado, pois a partir de então pode-se ter uma idéia do desempenho da

plataforma sub-compacta nos diversos países estudados bem como os principais itens que a afetam no campo, um aspecto importante observado é quanto alguns códigos de mão-de-obra com apontamento de falhas dentro do período de garantia, porém com altas quilometragens e outros com muito baixa quilometragens que apesar de terem sido utilizados da forma em que foram obtidos, talvez poderia ser definido um ponto de corte e desprezar as incidências acima deste valor.

Como estratégia de implementação, propõe-se fazer a disseminação deste estudo entre os engenheiros responsáveis pelo planejamento avançado da qualidade, bem como criar meios para garantir que em novos projetos, os itens relevantes e responsáveis pelas diferenças entre os países sejam levados em consideração no planejamento da qualidade.

6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Neste estudo foram assumidas algumas hipóteses como a distribuição de quilometragens para os veículos censurados, onde foi admitido a mesma distribuição para todos os países e pode-se buscar uma distribuição que seja mais próxima possível da real para cada país e que não necessariamente será a mesma para todos os países.

Como o foco deste trabalho não era estudar os efeitos da qualidade das peças compradas ou do processo de manufatura na confiabilidade dos veículos, recomenda-se que seja estudada esta influência, inclusive levar em consideração as diversas plantas de montagem do mesmo veículo.

Recomenda-se também analisar o impacto dos itens considerados de menor impacto sobre a confiabilidade, pois através da somatória dos mesmos pode-se obter grandes ganhos na confiabilidade da plataforma.

Recomenda-se revisar os procedimentos de validação, cada vez que um problema de campo for encontrado e for relacionado com o projeto, ou seja, a cada falha que houver e estiver relacionada com uma falha do projeto, os procedimentos poderiam

ser revisados e incluídos testes e procedimentos para detecção de tal falha não detectada anteriormente.

Recomenda-se estudar as causas das falhas pontuais, pois isto pode estar relacionado com a montagem do veículo, e uma grande número de falhas pontuais podem afetar a confiabilidade de uma plataforma.

Recomenda-se também a aplicação da metodologia deste trabalho para análise e comparação de plataformas similares produzidas no Brasil.

País	Qualidade	RON	MON	IAD	Aromáticos	Olefinas	Benzeno [%v/v]	Enxofre [mg/kg]	Potencial Goma Lavada	MeOH [%v/v]	EtOH [%v/v]	MTBE [%v/v]	Mn [mg/kg]
Brasil	Espec. Premium (98)			91 min			2,0	1000			22+2 max		
	Min	98,9	84,3	91,7	14,9	10,6	0,2	153,0	31,0	0,0	23,0	0,0	0,0
	Média	99,5	84,5	92,0	21,1	16,5	0,5	251,5	150,1		24,0		
	Max	100,1	85,0	92,2	26,0	20,4	0,6	375,0	282,0	0,0	24,5	0,0	0,0
	Espec. Regular (93)			87 min			2,0	1000		0,0	22+2 max		
	Min	97,2	82,9	90,2	16,5	14,3	0,4	227,0	83,2	0,0	20,9	0,0	0,0
	Média	97,6	83,2	90,4	19,6	19,8	0,4	364,8	191,4		23,5		
Argentina	Max	98,0	83,7	90,6	22,5	21,9	0,5	475,0	398,4	0,0	24,3	0,0	0,0
	Espec. Premium (95)		75 min		40 max		1.5 max	500 max			5% max	15% max	
	Min	95,3	83,9	89,6	30,6	14,0	0,8	127,0	14,8	0,0	0,0	0,1	12,5
	Média	95,7	84,1	89,9	35,5	16,9	1,2	163,8	43,8	0,1		2,2	15,5
	Max	96,4	84,8	90,6	40,0	20,8	1,5	201,0	96,6	0,1	0,0	4,7	17,3
	Espec. Premium (97)		84 min		40 max		1.5 max	300 max			5% max	15% max	
	Min	97,6	85,6	91,7	30,1	9,6	0,2	77,0	2,6	0,0	0,0	9,3	15,9
México	Média	98,5	86,1	92,3	36,7	13,2	0,8	113,4	8,0	0,1		11,4	15,9
	Max	100,4	87,0	93,7	42,1	18,5	1,3	165,0	11,0	0,2	0,0	14,6	15,9
	Espec. Premium	95,0		92 min	25/35	10/12,5	1/2	300média/500max					
	Min	96,9	87,0	92,4	17,8	3,2	0,2	24,0	0,2	0,0	0,1	0,8	0,0
	Média	97,6	87,8	92,7	26,2	6,7	0,8	63,0	0,9		0,1	7,7	0,0
	Max	98,0	89,3	93,3	35,2	10,5	1,1	109,0	1,4	0,0	0,1	11,8	0,0
	Espec. Regular	report	82 min	87 min	25/35	10/12,5	1/3	250média/300max		0,0	0,0	0,0	0,0
África do Sul	Min	91,7	82,3	87,2	23,4	7,1	0,8	307,0	0,4	0,0	0,0	0,7	0,0
	Média	92,2	83,0	87,6	27,3	11,2	1,4	466,3	1,0			4,8	
	Max	93,0	83,8	87,8	30,0	18,3	2,3	720,0	2,0	0,0	0,0	8,8	0,0
	Espec. Premium (95)	95 min	85 min					1000,0					
	Min	95,6	84,4	90,0	27,8	7,0	0,6	6,0	1,4	0,0	0,4	0,1	0,2
	Média	96,4	84,9	90,6	34,4	14,0	1,6	140,4	4,2		0,9	0,5	5,2
	Max	97,2	85,1	91,2	41,1	20,7	2,9	232,0	10,0	0,0	1,4	0,7	12,4
Chile	Espec. Regular (93)	93 min	83 min					1000,0					
	Min	93,8	83,2	88,5	22,8	18,7	1,5	67,0	1,2	0,0	0,4	0,1	0,5
	Média	94,5	83,4	88,9	27,0	21,7	2,0	159,5	2,1	0,0	0,7	0,2	1,7
	Max	95,1	83,6	89,4	30,7	25,0	2,4	307,0	3,0	0,0	1,1	0,3	3,4
	Espec. Premium (95)	95 min					2,5 - 5,0	1000/400					
	Min	95,4	84,8	90,2	34,5	8,0	0,5	12,0	1,0	0,0	0,0	0,4	0,0
	Média	95,7	85,4	90,6	37,8	10,0	0,6	38,8	2,0			1,0	
Chile	Max	96,6	85,9	90,9	42,1	12,5	0,6	77,0	3,8	0,0	0,0	2,2	0,0
	Espec. Premium (97)	97 min			55,0	20,0	2,5 - 5,0	1000/400					
	Min	97,8	86,2	92,2	34,6	6,7	0,4	12,0	1,6	0,0	0,0	0,6	0,0
	Média	98,0	86,8	92,4	40,7	8,8	0,5	42,0	2,4			1,9	
	Max	98,2	87,5	92,7	46,9	10,1	0,6	72,0	4,2	0,0	0,0	4,1	0,0

ANEXO B – Distribuição F

(Continuação); $P = 0,025$

$\nu_1 \backslash \nu_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	647,8	799,5	864,2	899,6	921,8	937,1	948,2	956,7	963,3	968,6	976,7	984,9	993,1	997,2	1001	1006	1010	1014	1018
2	38,51	39,00	39,17	39,25	39,30	39,33	39,36	39,37	39,39	39,40	39,41	39,43	39,45	39,46	39,46	39,47	39,48	39,49	39,50
3	17,44	16,04	15,44	15,10	14,88	14,73	14,62	14,54	14,47	14,42	14,34	14,25	14,17	14,12	14,08	14,04	13,99	13,95	13,90
4	12,22	10,65	9,98	9,60	9,36	9,20	9,07	8,98	8,90	8,84	8,75	8,66	8,56	8,51	8,46	8,41	8,36	8,31	8,26
5	10,01	8,43	7,76	7,39	7,15	6,98	6,85	6,76	6,68	6,62	6,52	6,43	6,33	6,28	6,23	6,18	6,12	6,07	6,02
6	8,81	7,26	6,60	6,23	5,99	5,82	5,70	5,60	5,52	5,46	5,37	5,27	5,17	5,12	5,07	5,01	4,96	4,90	4,85
7	8,07	6,54	5,89	5,52	5,29	5,12	4,99	4,90	4,82	4,76	4,67	4,57	4,47	4,42	4,36	4,31	4,25	4,20	4,14
8	7,57	6,06	5,42	5,05	4,82	4,65	4,53	4,43	4,36	4,30	4,20	4,10	4,00	3,95	3,89	3,84	3,78	3,73	3,67
9	7,21	5,71	5,08	4,72	4,48	4,32	4,20	4,10	4,03	3,96	3,87	3,77	3,67	3,61	3,56	3,51	3,45	3,39	3,33
10	6,94	5,46	4,83	4,47	4,24	4,07	3,95	3,85	3,78	3,72	3,62	3,52	3,42	3,37	3,31	3,26	3,20	3,14	3,08
11	6,72	5,26	4,63	4,28	4,04	3,88	3,76	3,66	3,59	3,53	3,43	3,33	3,23	3,17	3,12	3,06	3,00	2,94	2,88
12	6,55	5,10	4,47	4,12	3,89	3,73	3,61	3,51	3,44	3,37	3,28	3,18	3,07	3,02	2,96	2,91	2,85	2,79	2,72
13	6,41	4,97	4,35	4,00	3,77	3,60	3,48	3,39	3,31	3,25	3,15	3,05	2,95	2,89	2,84	2,78	2,72	2,66	2,60
14	6,30	4,86	4,24	3,89	3,66	3,50	3,38	3,29	3,21	3,15	3,05	2,95	2,84	2,79	2,73	2,67	2,61	2,55	2,49
15	6,20	4,77	4,15	3,80	3,58	3,41	3,29	3,20	3,12	3,06	2,96	2,86	2,76	2,70	2,64	2,59	2,52	2,46	2,40
16	6,12	4,69	4,08	3,73	3,50	3,34	3,22	3,12	3,05	2,99	2,89	2,79	2,68	2,63	2,57	2,51	2,45	2,38	2,32
17	6,04	4,62	4,01	3,66	3,44	3,28	3,16	3,06	2,98	2,92	2,82	2,72	2,62	2,56	2,50	2,44	2,38	2,32	2,25
18	5,98	4,56	3,95	3,61	3,38	3,22	3,10	3,01	2,93	2,87	2,77	2,67	2,56	2,50	2,44	2,38	2,32	2,26	2,19
19	5,92	4,51	3,90	3,56	3,33	3,17	3,05	2,96	2,88	2,82	2,72	2,62	2,51	2,45	2,39	2,33	2,27	2,20	2,13
20	5,87	4,46	3,86	3,51	3,29	3,13	3,01	2,91	2,84	2,77	2,68	2,57	2,46	2,41	2,35	2,29	2,22	2,16	2,09
21	5,83	4,42	3,82	3,48	3,25	3,09	2,97	2,87	2,80	2,73	2,64	2,53	2,42	2,37	2,31	2,25	2,18	2,11	2,04
22	5,79	4,38	3,78	3,44	3,22	3,05	2,93	2,84	2,76	2,70	2,60	2,50	2,39	2,33	2,27	2,21	2,14	2,08	2,00
23	5,75	4,35	3,75	3,41	3,18	3,02	2,90	2,81	2,73	2,67	2,57	2,47	2,36	2,30	2,24	2,18	2,11	2,04	1,97
24	5,72	4,32	3,72	3,38	3,15	2,99	2,87	2,78	2,70	2,64	2,54	2,44	2,33	2,27	2,21	2,15	2,08	2,01	1,94
25	5,69	4,29	3,69	3,35	3,13	2,97	2,85	2,75	2,68	2,61	2,51	2,41	2,30	2,24	2,18	2,12	2,05	1,98	1,91
26	5,66	4,27	3,67	3,33	3,10	2,94	2,82	2,73	2,65	2,59	2,49	2,39	2,28	2,22	2,16	2,09	2,03	1,95	1,88
27	5,63	4,24	3,65	3,31	3,08	2,92	2,80	2,71	2,63	2,57	2,47	2,36	2,25	2,19	2,13	2,07	2,00	1,93	1,85
28	5,61	4,22	3,63	3,29	3,06	2,90	2,78	2,69	2,61	2,55	2,45	2,34	2,23	2,17	2,11	2,05	1,98	1,91	1,83
29	5,59	4,20	3,61	3,27	3,04	2,88	2,76	2,67	2,59	2,53	2,43	2,32	2,21	2,15	2,09	2,03	1,96	1,89	1,81
30	5,57	4,18	3,59	3,25	3,03	2,87	2,75	2,65	2,57	2,51	2,41	2,31	2,20	2,14	2,07	2,01	1,94	1,87	1,79
40	5,42	4,05	3,46	3,13	2,90	2,74	2,62	2,53	2,45	2,39	2,29	2,18	2,07	2,01	1,94	1,88	1,80	1,72	1,64
60	5,29	3,93	3,34	3,01	2,79	2,63	2,51	2,41	2,33	2,27	2,17	2,06	1,94	1,88	1,82	1,74	1,67	1,58	1,48
120	5,15	3,80	3,23	2,89	2,67	2,52	2,39	2,30	2,22	2,16	2,05	1,94	1,82	1,76	1,69	1,61	1,53	1,43	1,31
∞	5,02	3,69	3,12	2,79	2,57	2,41	2,29	2,19	2,11	2,05	1,94	1,83	1,71	1,64	1,57	1,48	1,39	1,27	1,00

Fonte: Costa Neto (1977)

ANEXO C – Lista de Falhas – Brasil

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Mobra	Descrição	Rank IPTV	Rank Custo	Casos
N2030	Interruptor da Luz de Ré	1	6	140
E2107	Tirante da barra estabilizadora	2	5	71
E9720	Caixa de dir. Hidraulica	3	3	37
J5590	Bomba de combustivel	4	1	33
C0141	Canaleta diant. do vidro LD	5	15	28
J3020	Tampa do radiador	6	99	22
N2560	Interruptor da chave indicadora de Dir.	7	51	20
L1200	Medidor de combustivel	8	14	20
C0140	Canaleta diant. do vidro LE	9	27	18
N6270	Chicote eletrico do motor	10	48	14
C6871	Capa ou almofada do assento do banco diant	11	18	14
C0183	Regulador do vidro - Eletrico	12	66	13
N0110	Bateria	13	13	12
C0181	Regulador do vidro - Manual	14	70	12
R2890	Sensor ultra-Som do alarme	15	7	12
C7278	Capa ou almofada do assento do banco tras.	16	78	12
K0800	Plato e disco da Embreagem	17	4	11
C2510	Cobertura do Painei de Instrumentos	18	33	10
C0182	Regulador do vidro da porta diant.	19	93	10
E9730	Caixa de dir. hidraulica (Conjunto)	20	12	10
N0200	Buzina	21	77	9
N6360	Chicote eletrico do Painei de Instrumentos	22	31	9
C7265	Trava da articulacao do encosto do banco	23	135	9
C0180	Regulador do vidro da porta dianteira	24	108	9
C6011	Regulador manual do banco dianteiro	25	10	8

ANEXO D – Lista de Falhas – Argentina

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Mobra	Descrição	Rank IPTV	Rank Custo	Casos
N2030	Interruptor da Luz de Ré	1	2	27
J6997	Diagnostico de Falhas	2	42	8
H2411	Sensor de veloc. da roda diant.	3	1	6
D3000	Sistema do condic. de Ar	4	8	4
H0042	Pastilhas do freio diant.	5	38	3
N0200	Buzina	6	25	3
N2560	Interruptor da chave indicadora de Dir.	7	28	3
H2410	Sensor de veloc. da roda diant.	8	9	3
N0110	Bateria	9	27	2
E9720	Caixa de dir. hidraulica	10	5	2
J5485	Corpo da valvula de Acel.	11	6	2
E9650	Caixa de dir. Mecanica	12	4	2
C6821	Banco dianteiro	13	23	2
E9730	Caixa de dir. hidraulica (conjunto)	14	7	1
B5500	Fechadura da tampa tras.	15	148	1
K6310	Sensor de velocidade	16	17	1
E2107	Tirante da barra estabilizadora	17	29	1
B4400	Porta traseira-Ld	18	172	1
D4440	Compressor	19	3	1
C2510	Cobertura do Painel de Instrumentos	20	31	1
J3020	Tampa do radiador	21	155	1
E9050	Bomba do sist. de dir. hidr.	22	16	1
N2220	Interruptor de pressao do óleo	23	89	1
E7025	Cobertura da buzina	24	112	1
H2800	Freio de estacionamento	25	199	1
E9040	Bomba do sist. de dir. hidr.	26	19	1

ANEXO E – Lista de Falhas – México

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Description	Rank IPTV	Cases
SWITCH, BACK-UP LAMP	1	90
CD (COMPACT DISC) PLAYER	2	83
PADS, FRONT DISC BRAKE	3	22
COMPRESSOR ASSEMBLY	4	19
SUPPORT, SERPENTINE BELT TENSIONER	5	18
SERPENTINE BELT DAMAGE, REPLACE	6	12
THEFT DETER, TRUNK TAMPER	7	12
BELT, SERPENTINE DRIVE	8	9
GEAR ASSEMBLY, P/S SHORT	9	9
HORN CONTACT PLATE	10	9
SWITCH, TURN SIGNAL	11	9
DISC/PRESSURE PLATE, CLUTCH	12	9
PUMP ASSEMBLY, P/S	13	9
BELT, FAN/GENERATOR DRIVE	14	8
BATTERY, ONE	15	8
MODULE, ENGY RES (INFL REST)	16	7
GEAR ASSEMBLY, P/S	17	7
CAP, RADIATOR FILLER	18	7
WIRE/CONN, ENGINE	19	7
HORN ASSEMBLY	20	6
WIRE/CONN, INST PANEL	21	6
CONTROLLER,	22	6
DISC ASSEMBLY, BOTH FRONT	23	6
SENSOR, VEHICLE SPEED	24	6
WHEEL, STEERING	25	5

ANEXO F – Lista de Falhas – África do Sul

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Labour Op. No.	Description	Rank IPTV	Rank cost	Case
01/M041000	STEERING GEAR POWER	1	1	20
01/N209500	SWITCH, REVERSE LIGHT	2	37	11
01/N116500	TURN SIGNAL UNIT	3	21	11
01/N204510	CONTACT PLATE (HORN)	4	24	11
01/H105000	BRAKE PADS (FRONT)	5	13	11
01/M018500	INTERMEDIATE SHAFT/COUPLING, STEERING	6	6	8
01/M020000	STEERING GEAR MECHANICAL	7	3	8
01/H105000W	DISC PADS	8	15	7
01/C452800	CONTACT UNIT	9	10	7
01/H1050001	FRONT BRAKE	10	19	7
01/J609100	WATERPUMP/GASKET	11	14	6
01/N2005001	HOOTER	12	259	6
01/E109130	LINK, STABILIZER BAR	13	30	6
01/D301130	AIR CONDIT	14	34	5
01/N220500	SWITCH (TURN SIGNAL)	15	44	5
01/H106000	DISCS	16	18	5
01/N406599	WIRING HARNESS	17	26	5
01/N204500	HORN ACTUATION	18	72	4
01/K205100	TRANSMISSION ASSEMBLY	19	2	4
01/N243200	ACTUATOR, CENTRAL LOCK	20	33	4
01/N102100	HEADLAMP (H/L BEAM)	21	20	4
01/C006200	REGULATOR, LEFT FRONT DOOR	22	27	4
01/A584000	MOULDING, R/FRNT WHEELARCH	23	65	3
01/J794300	STEP-UP SOLENOID	24	60	3
01/D304100	A/C HOSE, EVAPORAT-COMPRESSOR	25	23	3

ANEXO G – Lista de Falhas – Chile

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Labor	Descripcion	Rank IPTV	Casos
N2030-1	Interruptor de la Luz de Marcha Atrás	1	17
N4800-1	Módulo de Control de la Carrocería	2	10
R6010	Juego Alta voz	3	10
J0656-1	Correa de accionamiento de los accesorios	4	10
J0656-10	Correa de accionamiento de los accesorios	5	9
C0020-2	Cristal del parabrisas	6	8
R0750	Radio	7	7
D0426-1	Sistema de calentamiento y ventilación	8	6
B4661	Cerradura de la puerta	9	6
L1200-1	Medidor de combustible	10	6
D4440-1	Compresor del acondicionador de aire	11	6
D1029-1	Compresor	12	6
J6360-1	Módulo de control electrónico	13	6
E9640-7	Caja de la dirección mecánica	14	5
B4660	Cerradura de la puerta trasera	15	5
E9040-1	Bomba del sistema de dirección hidráulica	16	5
J5590-1	Bomba de combustible	17	5
N0110-1	Batería	18	4
E4160-1	Barra estabilizadora de la suspensión trasera	19	3
J6175-1	Válvula de corte de la alimentación de agua del calefactor	20	3
D2700-1	Válvula del líquido de enfriamiento	21	3
J3480-1	Bomba de agua y/o junta	22	3
N2540-1	Interruptor del señalizador de emergencia	23	3
R4451	Regulador eléctrico del cristal de la puerta delantera	24	3
R0940	Parlantes	25	3

ANEXO H – Lista de Falhas – Colômbia

Por razões de confidencialidade os valores são somente orientativos

Labor	Descripcion	Rank IPTV	Casos
N2030-1	Interruptor de reversa	1	8
N0110-1	Bateria	2	4
E9720-1	Caja de la direccion hydr.	3	3
J3020-1	Tapa del radiador	4	3
C0183-1	Regulador del cristal de la puerta delantera	5	3
B4261-1	Cerradura	6	2
H0377-1	Cilindro del freno de la rueda	7	2
RT002	Sirena alarma	8	2
RT021	Control de alarma	9	2
E9730-1	Caja de la direccion hydr.	10	2
L2300-1	Conversor catalítico	11	2
D0001	Carga de aire acondicionado	12	2
L2584-1	Muffler	13	2
D2700-1	Valvula del liquido de enfriamiento	14	2
H0371-1	Cilindro del freno de la rueda	15	2
H0370-1	Cilindro del freno de la rueda	16	2
C0034-1	Cristal delantero	17	1
C0181-1	Regulador del cristal de la puerta delantera	18	1
D0436-1	Cables distribucion de aire	19	1
L1040-1	Boquilla de llenado del tanque de combustible	20	1
C0180-1	Regulador del cristal de la puerta delantera	21	1
C9041-1	Cinto de seguridad	22	1
E9050-1	Bomba del sistema de Direccion hydr.	23	1
J3480-1	Bomba de agua	24	1
N0250-1	Faro	25	1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIAG - Automotive Industry Action Group, **Production Part Approval Process Manual**, Michigan, 4ª Edição, Mar. 2006

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, Maio-2006, 167p.

ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**, Disponível em: < www.anfavea.com.br >. Acesso em: 31 Jan. 07

ANJOS, J. **Relatório de visita técnica suporte a Índia**. São Paulo: General Motors, 2003. (12p.)

ANJOS, J. **Relatório de visita técnica suporte ao México**. São Paulo: General Motors, 2006. (15p.)

ANJOS, J. **Relatório de análise de falhas de campo**. São Paulo: General Motors, 2007. (10p.)

ANP. **Agência Nacional do Petróleo**, Disponível em: < www.anp.gov.br >. Acesso em: 07 Ago. 06

ARRUDA, C., Na hora de abastecer seu carro fique esperto. Correio Popular - Veículos, Campinas, 12 Mai. 05

BADAWY, A. et al. Modeling and analysis of an electric power steering system. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 1999-01-0399**, Detroit, 1999, 9p.

BARKAI, J. Quality improvement and warranty cost containment: better answers are in the text. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2004-01-2666**, Detroit, 2004, 7p.

BAYER, R. G. **Mechanical wear fundamentals and testing**, Marcel Dekker, Inc., 2ª Edição, 2004, 379p.

BENKO, C. Light vehicle assembly outlook. **PWC Automotive Institute**, Edição 18-Abril-2006, 2 p. Disponível em: <<http://www.pwc.com/auto/institute>>. Acesso em: 30 abr. 2006

BILLOT, P.; JALLET, S.; MARMONIER, F. Simulation of aerodynamic uplift consequences on pressure repartition – application on an innovative wiper blade design. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2001-01-1043**, Detroit, 2001, 11p.

BIRCH, S. Seats of power. **SAE Magazine**, Edição Ago-2006, 4 p. Disponível em: <<http://www.aei-online.org>>. Acesso em: 31 Jan. 2007

BURSA, M. Just-auto's Latin America automotive industry review - Management briefing. **Just-auto.com**, Edição Março-2006, p. 2-12 Disponível em: <<http://www.just-auto.com>>. Acesso em: 30 abr. 2006

CAMPEAN, I. F.; KUHN, F.P.; KHAN, M.K. **Reliability analysis of automotive field failure warranty data**, Ford Motor, Michigan, 2002, 8 p.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**, São Paulo, 1977, 266 p.

CHEN, P.; EBBITT, G. Noise absorption of automotive seats. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 980659**, Detroit, 1998, 7p.

CHIANG, S. H.; HE, D. **Fluid particle separation**, The engineering handbook, 2000, 14p.

CROWE; DANA et al, **Reliability statistic simplified**, In: Design for reliability, CRC Press LLC, 2001.

CRUZ, J. M. **Ar limpo e emissões: Um conflito com solução**. In: II Fórum do Meio Ambiente , Sindipeças, 2004, 37p.

DAI, Y.; LIM, T. C. **Suppression of brake squeal noise applying finite element brake and pad model enhanced by spectral-based assurance criteria**. Science direct, 2006

DALAROSA, L. C. **Relatório de análise de caixa de direção**. Porto Alegre: DHB, 2006. (6p.)

DODSON, B.; JOHNSON E. **Hidden costs of un-reliability**. American society for quality, Annual Quality Congress, 2002, p. 105-115

DOGANAKSOY, N.; HAHN, G.; MEEKER, W. **Reliability analysis by failure mode**, American society for quality, Quality Progress, 2002, p. 47-52.

FALCONI CAMPOS, V. **TQC Controle de Qualidade Total no estilo japonês**. In: Fundação Cristiano Ottoni - UFMG, Minas Gerais, 1992, 229p.

GARCIA, E. **Análise de falhas em motores**. São Paulo: General Motors, 2003. (5p.)

GOTO, S.; TAKAHASHI, H.; OYA, T. **Clarification of the mechanism of wiper blade rubber squeal noise generation**. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, Japão, 2001, p. 57-62

GUGLIELMONI, F. **Relatório de análise de falhas de campo em bombas de combustível**. São Paulo: General Motors, 2006. (17p.)

GUNTER, B. **Reliability data analysis – Part 1 – Statistical issues in analyzing censored data**. American society for quality, Quality Progress, 1994, p. 101-104.

HEIM, R.; FISCHER, G.; SONSINO, C. M. Early stage rig testing for durability approval. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2006-01-0116**, Detroit, 2006, 9p.

JARRETT, V. H. **Living with fuel contamination**, In: Utah state university, 2006, 4p.

J.D. POWER AND ASSOCIATES PRESS RELEASES. **J.D. Power and Associates**, Michigan, Disponível em: <<http://www.jdpa.com/corporate>>. Acesso em: 15 Ago. 2006

KAPADNIS, P.; IM, K. Brake squeal reduction using robust design. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2003-01-0879**, Detroit, 2003, 7p.

KAPUR, K. C.; LAMBERSON, L. R. **Reliability in engineering design**, In: Department of industrial engineering and operations research Wayne State University, John Wiley & Sons, 1977, 575p.

KLYATIS, L. M. **Climate and reliability**. American Society for Quality, Annual Quality Congress, 2002, p. 131-14

KLYATIS, L. M.; KLYATIS, E. L. The strategy to improve engineering concepts of automotive reliability, durability, and maintainability integrated with quality. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2006-01-1337**, Detroit, 2006, 10p.

LEITCH, R. **Reliability analysis for engineers**. In: Oxford Press, New York, 1995

LIU, D. H. F. **Environmental Engineers Handbook**. 2ª Edição, 1999

LIKER, J. K.; MORGAN, J. M. **The Toyota way in services: the case of lean product development**. In: Academy of Management, 2006, 15p.

LUKO, S.; N. A review of the Weibull distribution and selected engineering applications. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 1999-01-2859**, Detroit, 1999, 17p.

MACK, C. R. V. **Líquidos inflamáveis e combustíveis**, In: Faculdade de engenharia química de Lorena, 2005, 22p.

MARTHA DE SOUZA, G. F. **Confiabilidade de produtos e sistemas**, In: Notas de aula, 2002.

MCMULLAN, A.; MEALMAN, M. An investigation of automotive sets fabric sound absorption. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2001-01-1454**, Detroit, 2001, 4p.

MINITAB, **Minitab Brasil**. Disponível em: <<http://www.minitabbrasil.com.br>>. Acesso em: 02 Out. 2006

MINTEER, S. **Alcoholic fuels**. In: Saint Louis University, Missouri, 2006, p. 138-151.

MOREIRA, V. X.; SOARES, B. G. **Avaliação da incorporação de resíduo de poli(etileno-co-acetato de vinila) em borracha nitrílica**. Departamento de Engenharia de Materiais Polímeros UFSCar, 2003, p.54-63

MURAD, C. A. **Extensão de garantia de veículos: Aplicação para motor e transmissão**, São Paulo, 2006, 150 p.

NAGAYOSHI, T.; INOUE, M.; HARA, Y. Groan caused by generation of stripped pattern of transfer film on a ventilated rotor. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2004-01-2788**, Detroit, 2004, 7p.

NELSON, W. **Weibull analysis of reliability data with few or no failures**. Journal of Quality Technology, Vol. 17, No. 3, 1985, p. 140-146

O'CONNOR, P. D. T. **Practical reliability engineering**, John Wiley & Sons, 1991, 409 p.

OLIVEIRA, M. G.; SOARES, B. G. **Influência do sistema de vulcanização nas propriedades da mistura NBR/EPDM**, Instituto de macromoléculas UFRJ, 2002, p.11-19

PASSADOR, F. R.; PESSAN, L. A. **Estado de mistura e dispersão da fase borrachosa em blendas PVC/NBR**, Departamento de engenharia de materiais UFSCar, 2006, p.174-181

PETROBRÁS, **Centro de Pesquisas da Petrobrás** Disponível em: <
<http://www.br.com.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2006

RANGEL, M. C.; CARVALHO, M. F. A. **Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar**. In: Universidade federal da Bahia, 2002, 26p.

SAE Wiper standards Committee. Passenger car windshield wiper systems, **SAE J903**, Rev. Maio 1999, 13p.

SLABBERT, D. **Field Problem Report**. Port Elizabeth: General Motors South Africa, 2005. (2p.)

SZWARC, A. **Status da qualidade dos combustíveis para atendimento ao proconve**, In: III Encontro internacional AFEEVAS, Brasília, 2004, 25p.

STRAGEVITCH, L. **Efeitos de aditivos e contaminantes na qualidade da gasolina automotiva**, In: I Seminário sobre Tecnologia de Combustíveis e Lubrificantes, UNIFACS, Bahia, 2005, 18 p.

ZAMBRZYCKI, A. **Análise de falhas em motores de combustão interna**. São Paulo: General Motors, 2004. (10p.)

ZHOU, J. Reliability and robustness mindset in automotive product development for global markets. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2005-01-1212**, Detroit, 2005, 15p.

ZIEMBRA, M. Position dependent amplitude response in automotive loudspeakers. In: Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade, **SAE 2000-01-0076**, Detroit, 2000, 15p.

WASSERMAN, G. S. **Reliability Verification, Testing, and Analysis in Engineering Design**. In: Wayne state university, Marcel Dekker Inc., 2002.

WEIBULL.COM. **Weibull**, Disponível em: < <http://www.weibull.com>>. Acesso em: 30 Ago. 2006

WU, H.; MEEKER W. **Early detection of reliability problems using information from warranty databases**. American society for quality, Technometrics, 2002, p. 120-133