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 de Curso apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva

Àrea de Concentração:
Engenharia Automotiva

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

São Paulo
2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de abril de 2007.

Assinatura do autor_____

Assinatura do orientador_____

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Trabalho de conclusão 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°. 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 descrecer 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. O modelo proposto compara a confiabilidade dos diversos países com o Brasil.

ABSTRACT

Since the globalization, the automotive competition is growing every 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. The model compares the reliability between Brazil and several countries.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA
AGRADECIMENTOS
RESUMO
ABSTRACT
LISTA DE TABELAS 10
LISTA DE FIGURAS 11
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 14
LISTA DE SÍMBOLOS 15
1 INTRODUÇÃO 17
1.1 Considerações Iniciais 17
1.2 Objetivo do Trabalho 23
1.3 Escopo do Trabalho 24
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS 25
2.1 Garantia e confiabilidade 25
2.2 Clima 31
2.2.1 Radiação solar 32
2.2.2 Poluição 33
2.2.3 Temperatura 34
2.2.4 Flutuações de temperatura e outras mudanças bruscas dos fatores climáticos 37
2.2.5 Umidade do ar, neblina e orvalho 37
2.2.6 Combinação dos fatores climáticos básicos 39
2.3 Topografia 40
2.4 Combustível 41
2.4.1 Octanagem 50
2.4.2 Aromaticos 53
2.4.3 Olefinas 53
2.4.4 Benzeno 54
2.4.5 Enxofre 54
2.4.6 Goma lavada 56
2.4.7 Metanol e Etanol 56

2.4.8 MTBE - Methyl Tertiary-Butyl Ether 57
2.4.9 Manganes 57
2.5 Validação e ensaios de durabilidade dos veículos 58
2.5.1 Mercado nacional versus exportação 66
3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA CONFIABILIDADE 69
3.1 Levantamento e tratamento dos dados de campo 70
3.2 A confiabilidade 72
3.3 Confiabilidade dos subsistemas 81
3.4 Comparação da confiabilidade do veículo nos diversos países 82
3.5 Detecção de diferenças entre confiabilidades 83
3.5.1 Comparação da confiabilidade através do método gráfico 84
3.5.2 Comparação da confiabilidade através do teste de hipóteses 86
3.6 Causas potenciais das diferanças entre confiabilidades 88
4 APLICAÇÃO: PLATAFORMA SUB-COMPACTA 89
4.1 Confiabilidade da Plataforma sub-compacta 92
5 COMPARAÇÃO DAS CONFIABILIDADES DOS SUBSISTEMAS 101
5.1 Considerações iniciais 102
5.2 Subsistema Carroceria 102
5.3 Subsistema Chassi 109
5.4 Subsistema Elétrica e Ar Condicionado 121
5.5 Subsistema Motor 126
5.6 Subsistema Transmissão 133
5.7 Comparação da probabilidade de falhas dos subsistemas 140
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 142
6.1 Conclusões 142
6.2 Recomendações para trabalhos futuros 144
ANEXO A – Análise de combustível 146
ANEXO B – Distribuição F 147
ANEXO C – Lista de falhas do Brasil 148
ANEXO D – Lista de falhas da Argentina 149
ANEXO E – Lista de falhas do México 150
ANEXO F – Lista de falhas da Àfrica do Sul 151
ANEXO G – Lista de falhas do Chile 152
ANEXO H – Lista de falhas da Colômbia 153

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 154
APÊNDICE A – Comp. confiabilidade da Plataforma sub-compacta 160
APÊNDICE B – Comp. da confiabilidade subsistema Carroceria..... 165
APÊNDICE C – Comparativo da confiabilidade subsistema Chassi. 170
APÊNDICE D – Comp. da confiabilidade subsistema Elétrica AC ... 175
APÊNDICE E – Comparativo da confiabilidade subsistema Motor .. 180
APÊNDICE F – Comp. da confiabilidade subsistema Transmissão 184

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 20 maiores países versus produção de veículos.....17
Tabela 2 – Volume de produção de veículos global por região.....18
Tabela 3 – Veículos produzidos no Brasil entre 1995 e 2006 19
Tabela 4 – Cenário de fábricas de automóveis no Mercosul..... 19
Tabela 5 – Veículos produzidos no Brasil destinados a exportação 20
Tabela 6 – Custo de garantia de empresas norte americanas 29
Tabela 7 – Características das influências da umidade do ar nos aspectos internos dos materiais e as condições de trabalho dos equipamentos 38
Tabela 8 – Limites de emissões em veículos e comerciais Leves 44
Tabela 9 – Limites de emissões em veículos pesados e comerciais a diesel com peso total máximo superior a 2000kgf 45
Tabela 10 – Princípios do desenvolvimento de produto enxuto 60
Tabela 11 – Classificação J.D. Power de plataformas pesquisadas 90
Tabela 12 – β, η, AD e MTTF da Plataforma Sub-compacta..... 96
Tabela 13 – Resultado do teste de hipóteses 97
Tabela 14 – Constante de forma (β) Plataforma Sub-compacta Brasil e México ... 99
Tabela 15 – β, η, AD e MTTF do subsistema carroceria..... 103
Tabela 16 – Resultado do teste de hipóteses Subsistema Carroceria..... 105
Tabela 17 – Porcentagem de falhas do Subsistema Carroceria em cada país.... 107
Tabela 18 – β, η, AD e MTTF do subsistema chassi..... 111
Tabela 19 – Resultado do teste de hipóteses Subsistema Chassi..... 113
Tabela 20 – Porcentagem de falhas do Subsistema Chassi em cada país..... 114
Tabela 21 – β, η, AD e MTTF do subsistema elétrica e ar condicionado 122
Tabela 22 – Resultado do teste de hipóteses Subsistema Elétrica e Ar Cond..... 124
Tabela 23 – Porcentagem de falhas do Subsistema Elétrica e AC em cada país 125
Tabela 24 – β, η, AD e MTTF do subsistema motor..... 127
Tabela 25 – Resultado do teste de hipóteses Subsistema Motor..... 130
Tabela 26 – Porcentagem de falhas do Subsistema Motor em cada país 131
Tabela 27 – β, η, AD e MTTF do subsistema transmissão..... 135
Tabela 28 – Resultado do teste de hipóteses Subsistema Transmissão 137
Tabela 29 – Porcentagem de falhas do Subsistema Transmissão em cada país 138
Tabela 30 – Prob. de falha dos subsistemas ao final do período de garantia..... 140

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Volume de unidades produzidas para o mercado exportação e para o mercado interno 20
Figura 2 – Exportações em porcentagem do volume de unidades exportadas por país de destino – 2004 21
Figura 3 – Exportações em valores de porcentagem do valor total arrecadado por país de destino – 2004 22
Figura 4 – Efeitos da má confiabilidade nos lucros de uma empresa 27
Figura 5 – Tempo de detecção de falhas versus custo de garantia 30
Figura 6 – Diagrama de influências climáticas básicas e dos fenômenos atmosféricos nas propriedades dos materiais e na confiabilidade das máquinas 32
Figura 7 – Àreas e fontes de poluição 34
Figura 8 – Efeito da temperatura de operação e a taxa de falhas 35
Figura 9 – Temperatura superficial em um disco de freio ventilado 36
Figura 10 – Exemplos de aplicações em mercados distintos 40
Figura 11 – Emissões de um motor a gasolina em função da razão ar/comb. 43
Figura 12 – Figura esquemática da batida de pino de motor 46
Figura 13 – Modos de falhas em motores e bombas de combustível 47
Figura 14 – Cilindro do motor danificado devido ao uso de combustível com baixa octanagem 51
Figura 15 – Efeitos da formação de goma nos bicos injetores 54
Figura 16 – Evolução do teor de enxofre na gasolina 55
Figura 17 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel 56
Figura 18 – Sistema de integração entre a qualidade e confiabilidade 61
Figura 19 – Esquema complexo de análise dos fatores que influenciam a qualidade do produto durante as fases de projeto, manufatura e uso 62
Figura 20 – Tipos corrente de testes com variação de meio ambiente para avaliação de confiabilidade 63
Figura 21 – Exemplo de testes acelerados de confiabilidade para previsão da vida do componente automotivo 63
Figura 22 – Foto do trânsito na Cidade do México 67
Figura 23 – Foto de transporte tipo lotação na cidade de Vadodara – India 68

Figura 24 – Fluxograma de metodologia de avaliação da confiabilidade 70
Figura 25 – Curva da banheira..... 73
Figura 26 – Características da curva da banheira..... 73
Figura 27 – Distribução de weibul com variação da constante de forma β 76
Figura 28 – Valores de β 77
Figura 29 – Dados censurados a direita..... 79
Figura 30 – Dados censurados a esquerda 80
Figura 31 – Distribuição de quilometragem para veículos que não apresentaram falhas durante o período de garantia 81
Figura 32 – Função de Confiabilidade R(t) 82
Figura 33 – Fluxograma de comparação da confiabilidade..... 84
Figura 34 – Gráfico de Weibull com os intervalos de confiança..... 85
Figura 35 – Gráfico de Weibull com confiabilidades consideradas diferentes..... 85
Figura 36 – Gráfico de Weibull com limites de confiança se interceptando 86
Figura 37 – Distribuição de falhas por subsistema..... 93
Figura 38 – Distribuição de quilometragem rodada, ao final do período de garantia para a plataforma sub-compacta..... 94
Figura 39 – Curva de confiabilidade da plataforma sub-compacta..... 95
Figura 40 – Comparativo da confiabilidade da plataforma sub-compacta em cinco países 98
Figura 41 – Distribuição de quilometragem do Subsistema Carroceria..... 102
Figura 42 – Curva de Confiabilidade do Subsistema Carroceria..... 102
Figura 43 – Comparativo da confiabilidade do subsistema carroceria em cinco países..... 104
Figura 44 – Distribuição de quilometragem do Subsistema Chassi 109
Figura 45 – Curva de confiabilidade do Subsistema Chassi 110
Figura 46 – Comparativo confiabilidade do subsistema chassi em cinco países . 112
Figura 47 – Classificação de ruído de freios baseado na amplitude de freqüência e fonte de excitação 115
Figura 48 – Configurações de chanfro e canal de pastilha de freio 116
Figura 49 – Sistema de direção EPS 118
Figura 50 – Caixa de direção 119
Figura 51 – Distribuição de quilometragem do Subsistema Elétrica e AC 121
Figura 52 – Curva de confiabilidade do Subsistema Elétrica e Ar Condicionado . 121

Figura 53 – Comparativo da confiabilidade do subsistema elétrica e ar condicionado em cinco países 123
Figura 54 – Distribuição de quilometragem do Subsistema Motor 126
Figura 55 – Curva de confiabilidade do Subsistema Motor 127
Figura 56 – Comparativo confiabilidade do subsistema motor em cinco países .. 129
Figura 57 – Válvula termostática 132
Figura 58 – Distribuição de quilometragem do Subsistema Transmissão 134
Figura 59 – Curva de confiabilidade do Subsistema Transmissão 134
Figura 60 – Comparativo da confiabilidade do subsistema transmissão em cinco países..... 136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIAG	*Automotive Industry Action Group*
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	*American Society for Testing and Materials*
CEP	Controle Estatístico de Processo
CKD	*Completely Knock Down*
CMOS	*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPS	*Electrical Power Steering*
IAD	Indice Antidetonante
IPTV	*Incidents Per Thousands Vehicles*
JDPOWER	*J.D. Power and Associates* – Empresa de pesquisa de mercado
MON	*Motor Octane Number*
MTBE	*Methyl Tertiary-Butyl Ether*
MTTF	*Mean Time to Failure*
NVH	*Noise, Vibration and Harshness*
OBD	*On Board Diagnosis*
PPAP	*Production Part Approval Process*
PPM	Partes Por Milhão
QAS	*Quality Audit Survey*
R&R	Repetibilidade e Reprodutibilidade
RON	*Research Octane Number*
VIN	*Vehicle Identification Number*

LISTA DE SÍMBOLOS

$f(t)$	Função densidade de probabilidade de falha em função do tempo
$R(t)$	Confiabilidade em função do tempo
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 em função do tempo
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
$\boldsymbol{x}_{1j}$	Valor individual de tempo da amostra 1
$\boldsymbol{x}_{2j}$	Valor individual de tempo da amostra 2
$\boldsymbol{x}_{1r1}$	Valor individual de tempo onde o teste foi interrompido na amostra 1
$\boldsymbol{x}_{1r2}$	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
O_3	Ozônio
P	Consumo de energia
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CH_3OH	Metanol

CH_4	Metano
C_xH_y	Vapores de hidrocarbonetos
HC	Hidrocarbonetos
H_2O	Àgua
H_2S	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 onde são apresentados dados referente aos 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.	India	1.287.035	1.388.031	1.478.825	1.608.322	1.750.255	1.938.588
13.	Russia	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.

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. Observa-se 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. Segundo Bursa (2006), a produção de veículos no Brasil destinados à 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 frente ao dólar 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 vendidas 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 entre 1995 e 2006.

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 é de que o Mercosul se estabelece como uma região produtora e exportadora de veículos. Pode-se observar, conforme dados da tabela 4, 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)

Como reflexo deste aumento no número de plantas fabris observa-se um aumento no número de veículos produzidos no Brasil como indicado na 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)

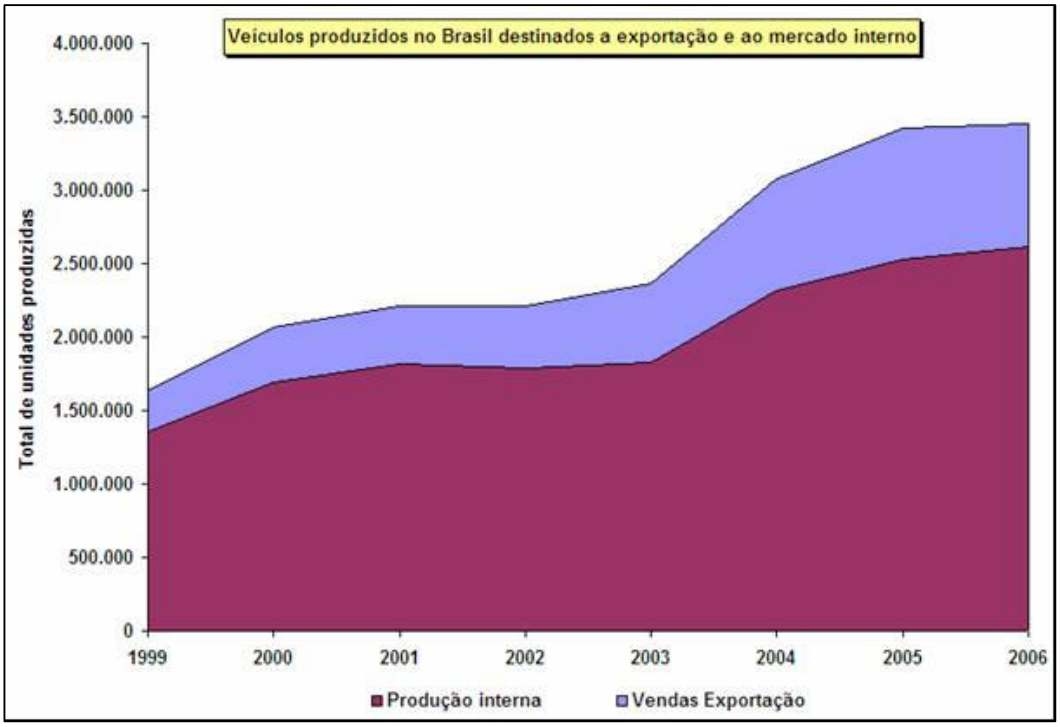


Figura 1 – Volume de unidades produzidas para o mercado exportação e para o mercado interno

(Fonte: ANFAVEA, 31/Jan/07)

Considerando o número de veículos produzidos e os dados da figura 1, verifica-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 conseqüência de problemas de qualidade[1]. 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.

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 respectivamente 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 segundo o Anuário ANFAVEA 2006.

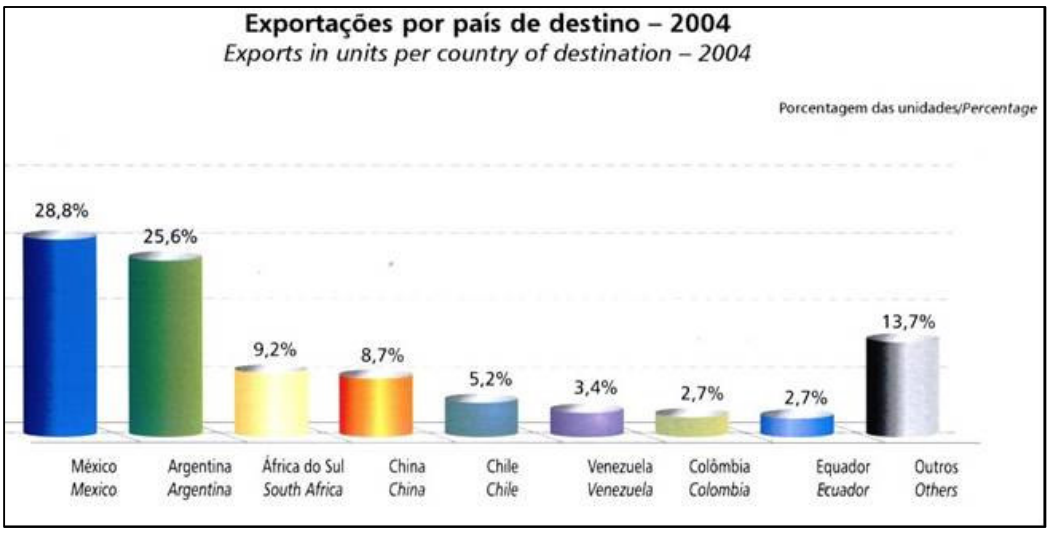


Figura 2 – Exportações em porcentagem do volume de unidades exportadas por país de destino – 2004

(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)

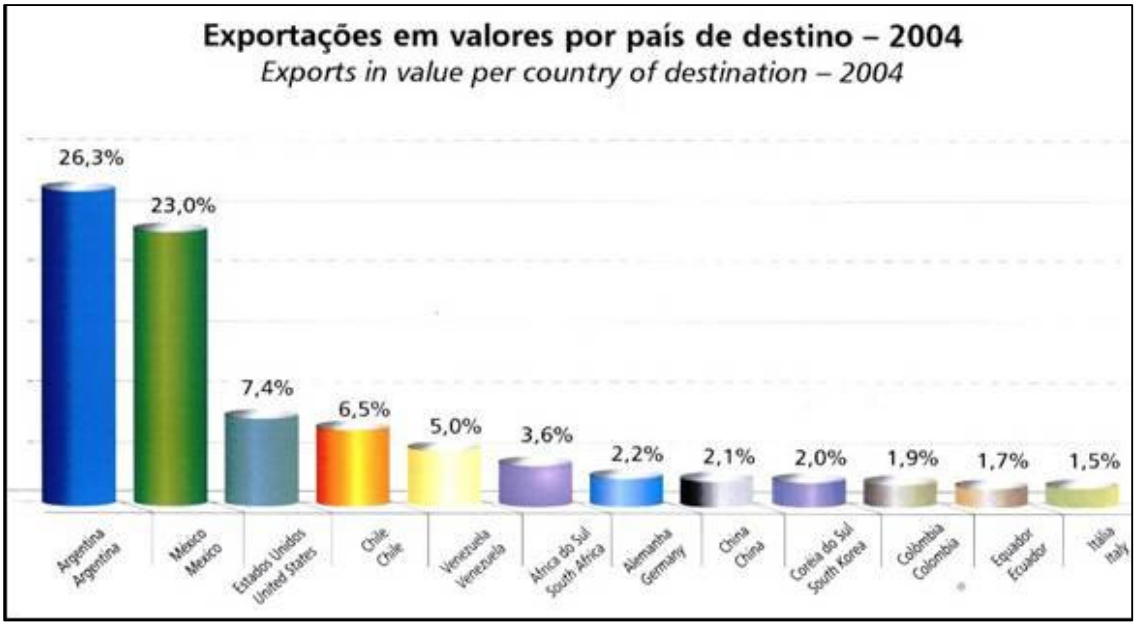


Figura 3 – Exportações em valores de porcentagem do valor total arrecadado por país de destino – 2004

(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 garantia[2] 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 principal é que os produtos podem apresentar falhas e o volume destas varia, de

[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.

acordo com a confiabilidade do produto. 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 entre outras.

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, satisfazendo assim ao cliente final, que estará sujeito a níveis inferiores de defeitos, bem como evitar o desperdício financeiro por parte da montadora associado aos gastos com reparos em garantia.

1.2 Objetivo do Trabalho

Considerando que a porcentagem de veículos destinados à exportação produzidos em plantas fabris instaladas em países emergentes, tem apresentado crescimento, 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 predizer a confiabilidade de um veículo exportado de forma a evitar a degradação da marca nos diversos países para onde os veículos são destinados, 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 operando em diferentes países, com base nos dados de falhas de campo coletados nestes países, verificando as possíveis diferenças de desempenho do veículo nestes mercados. Para isto é necessário

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

1.3 Escopo do Trabalho

O presente trabalho compara o desempenho, em termos de confiabilidade, de veículos exportados montados e desmontados (*CKD – Completely knock down*).
A análise tem como base os registros de falhas de campo dentro do período de garantia de cada país estudado. Através da aplicação dos conceitos de análise de dados "censurados", define-se a confiabilidade do veículo 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 utilizam 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 Àfrica do Sul;

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Garantia e confiabilidade

Conceitualmente a garantia é conhecida como o período no qual as falhas[3] ocorridas nos veículos ou produtos são provenientes de erros cometidos por responsabilidade do fabricante. Estas falhas terão os custos de reparo cobertos pelo fabricante, salvo os itens de desgaste natural relacionados à falhas de mal uso como por exemplo, pneus que forem danificados devido a freadas bruscas. 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 em conformidade com as indicações do "manual do proprietário", 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 falha sem a possibilidade de reparo imediato ou mesmo 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, sendo que 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 a ocorrência de falhas durante a vida do produto. Sendo assim a

[3] Neste texto entende-se como falha todo e qualquer desempenho não conforme com a especificação do projeto. Ressalta-se que, em função da percepção do cliente, algumas falhas terão caráter subjetivo, como por exemplo, as associadas à ruído.

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 no intuito de se conhecer o desempenho do produto em campo bem como gerar melhorias futuras para o próprio produto ou em novos veículos com características similares ao veículo analisado.

O acompanhamento destas falhas também gera subsídios para a contabilização do custo dos reparos em garantia. Os valores efetivamente gastos devem ser comparados com os valores previstos no orçamento. Caso os gastos em garantia superarem os recursos previstos para este fim, ações devem ser tomadas visando a modificação do produto e/ou melhoria da qualidade do processo de montagem do veículo e do processo de manufatura dos componentes do mesmo.

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. Nesta figura é exemplificado o caso de uma empresa que teria um potencial de lucro inicial de aproximadamente US$43 milhões, que em um primeiro passo foi reduzido para US$ 25 milhões devido aos gastos com campanhas em campo do tipo “recall”. Em um segundo passo o potencial de lucro foi reduzido para US$ 15 milhões devido à parada de produção por problemas de qualidade. Em um terceiro passo o potencial de lucro foi reduzido para aproximadamente US$ 12 milhões devido aos retrabalhos em produtos com problemas de qualidade, e em um quarto e último passo o potencial de lucro foi reduzido para aproximadamente US$ 10 milhões devido a custos envolvidos com reparos associados aos retornos em garantia de produtos com problemas de qualidade.

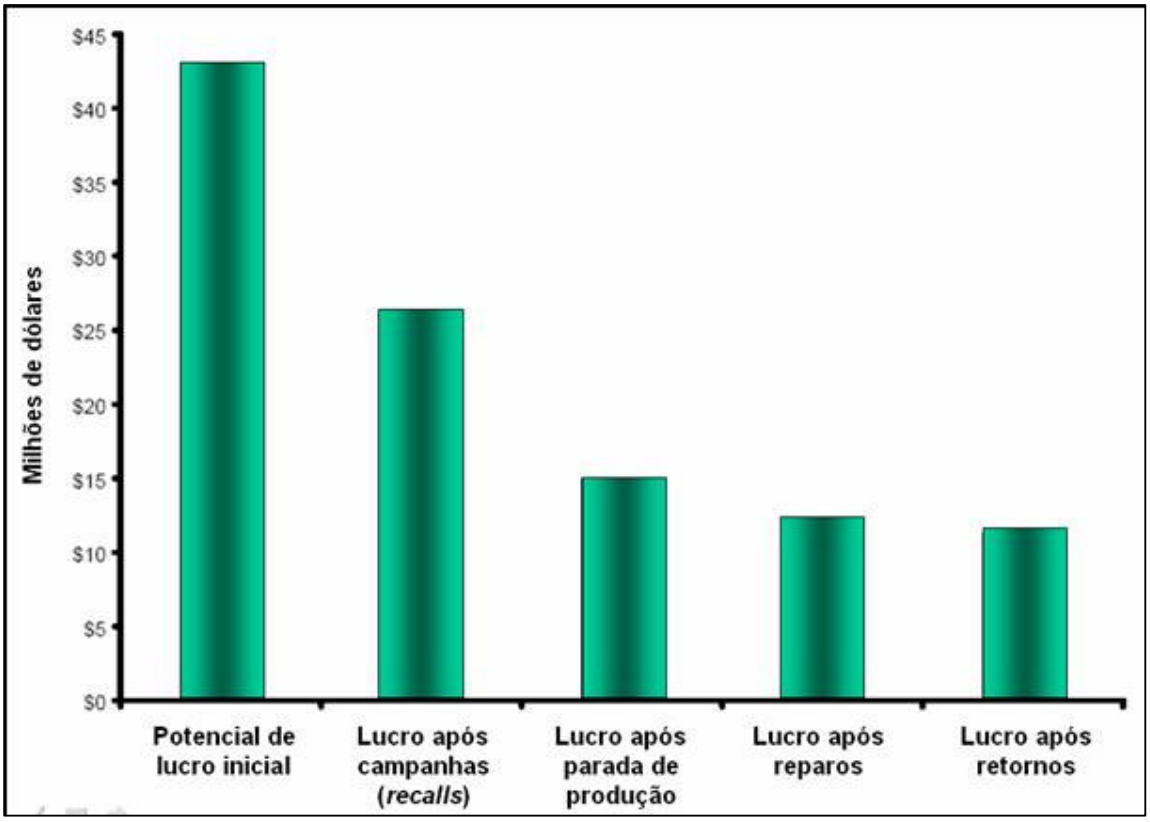


Figura 4 – Efeitos da má confiabilidade nos lucros de uma empresa
(Fonte: Dodson & Johnson, 2002)

Segundo Dodson & Johnson (2002), um programa de confiabilidade deficitário pode como conseqüência gerar alto custo de garantia o qual contribui para a redução do lucro da empresa.

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 anualmente aproximadamente 13 milhões de veículos na América do Norte, resultando em um total de $6 bilhões de dólares gastos 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 ao investimento para instalação de três plantas montadoras de veículos 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 com o objetivo de ocuparem o primeiro lugar em vendas no mercado doméstico. Para tanto estas realizam promoções de vendas em suas respectivas plantas, em supermercados, em *shopping centers* e ainda oferecem descontos e bônus para funcionários, parentes de funcionários e até mesmo amigos dos mesmos.

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 mesmo 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 for detectado as falhas, mais rápido o componente que estiver falhando poderá ter o seu problema corrigido, evitando assim maiores perdas financeiras das associadas aos custos de reparo.

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 falha durante o período de garantia, 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 raíz do mesmo com a conseqüente implementação da ação corretiva, o montante do custo de garantia pode ser reduzido (linha tracejada).

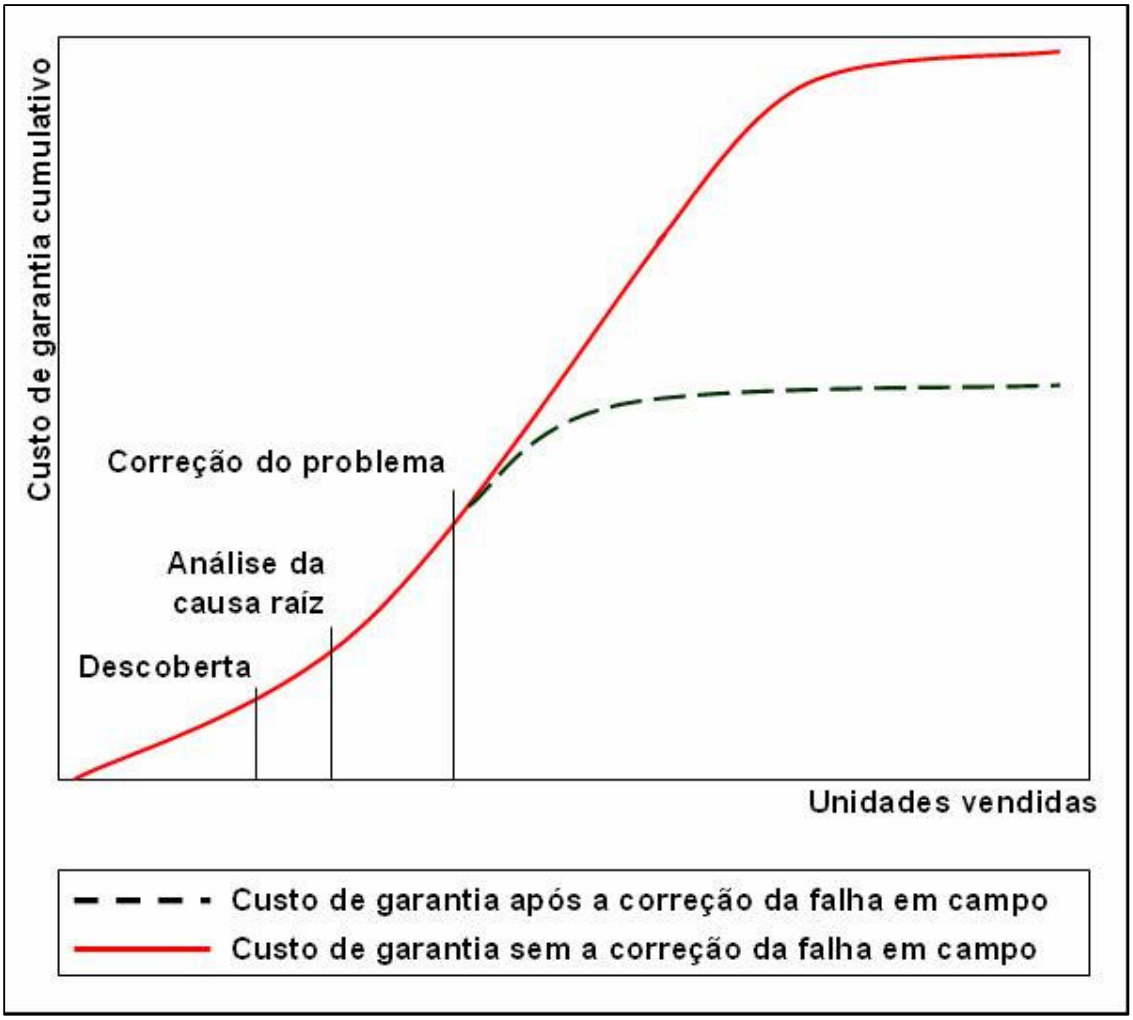


Figura 5 – Tempo de detecção de falhas versus custo de garantia
(Fonte: Barkai, 2004)

Além da agilidade no retorno dos dados de campo, um outro aspecto a ser considerado é quanto à qualidade da informação recebida do campo. Segundo Barkai (2004), apesar desta informação ser transmitida de várias formas como centros de atendimentos aos clientes, registros de garantia, *JDPower*, QAS e outros, às vezes o volume de dados obtido não é suficiente para uma boa análise de causa raiz. Conseqüentemente um trabalho adicional é requerido como por exemplo realizar ligações para a concessionária para entrevistar o profissional que realizou a reparação do veículo, ou realizar entrevista com os clientes para entender o problema por ele mencionado. Este trabalho adicional acarreta mais tempo para a solução do problema, implicando em um maior custo de garantia pois novas

unidades do veículo continuam sendo vendidas e as reclamações continuam ocorrendo.

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. Estes requisitos podem ser classificados em requisitos legais, que são características da legislação de cada país, requisitos dos clientes que podem ser definidos pela empresa importadora tais como 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 como as executadas pelo QAS e *JDPower*.

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 a irradiação solar, as 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.

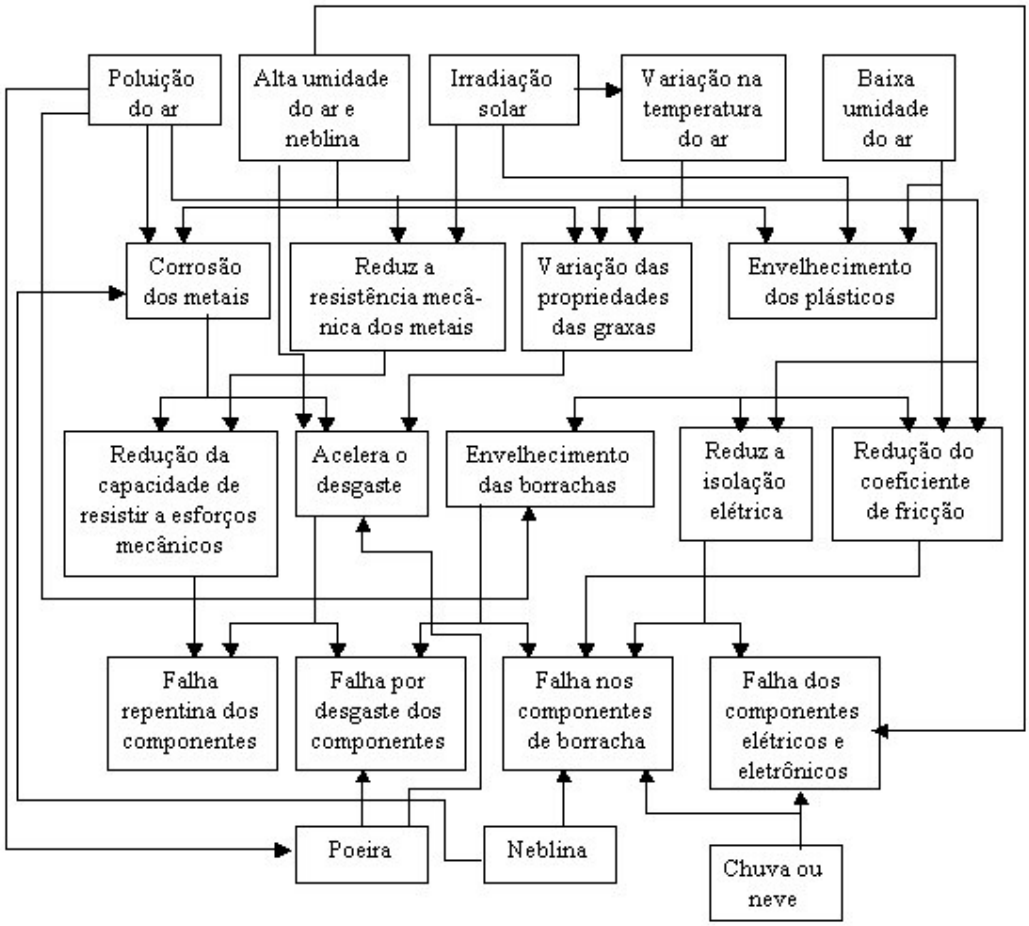


Figura 6 – Diagrama de influências climáticas básicas e dos fenômenos atmosféricos nas propriedades dos materiais e na confiabilidade das máquinas
(Fonte: Klyatis, 2002)

Os fatores climáticos são responsáveis por acelerar vários modos de falhas, principalmente nos produtos que durante o uso estão diretamente expostos ao meio ambiente. Para mitigar esta influência se buscam modificações de projeto e/ou melhorias nas propriedades físicas e químicas dos materiais empregados na fabricação de componentes presentes em automóveis.

2.2.1 Radiação solar

O resultado da ação da irradiação solar sobre os componentes está basicamente no acréscimo da temperatura dos mesmos e o acréscimo da temperatura do ar que envolve ou entra em tais componentes (carroceria do veículo, radiador, entre outros). O efeito desta irradiação sobre os materiais plásticos gera um envelhecimento mais rápido dos mesmos.

A irradiação solar é avaliada pela taxa de energia solar radiante que atinge uma superfície, sendo expressa em W/m^2. O aumento da temperatura de um corpo devido a ação da irradiação solar depende da intensidade de irradiação solar e da capacidade absortiva e transmissiva da superfície do corpo. A capacidade absortiva depende da cor bem como da rugosidade da superfície. Se o corpo receber irradiação solar conseqüentemente ele se torna uma fonte de radiação devido à reflexão da mesma, além da sua própria emissão. A sua temperatura resulta de um balanço das formas de transferência de calor envolvidas, incluindo a radiação térmica.

Atualmente as montadoras têm buscado reduzir custo e o peso dos automóveis, e para isto tem introduzido componentes plásticos nos veículos em substituição a 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 setores da indústria. Um processo fotoquímico ocorre nos plásticos, borrachas e suas combinações sob a ação da irradiação solar, e este processo decompõe as estruturas químicas dos materiais. A irradiação solar, especificamente os raios ultravioleta podem destruir as uniões das moléculas de plástico. A irradiação solar pode ainda acelerar o envelhecimento dos componentes plásticos acelerando a ocorrência de trincas, a perda da coloração natural, entre outros.

2.2.2 Poluição

Segundo Klyatis (2002), a poluição química e física (poeira, e outros materiais particulados) contribui para que ocorra a corrosão dos metais, alterando ainda as propriedades das graxas, reduzindo o poder lubrificante, bem como contribui para que ocorra o envelhecimento das borrachas, etc.

Segundo Liu (1999), as fontes de poluição do ar podem ser classificadas de acordo com a sua origem, a distribuição no espaço e o tipo de emissão. A figura 7, mostra a classificação das fontes de poluição do ar.

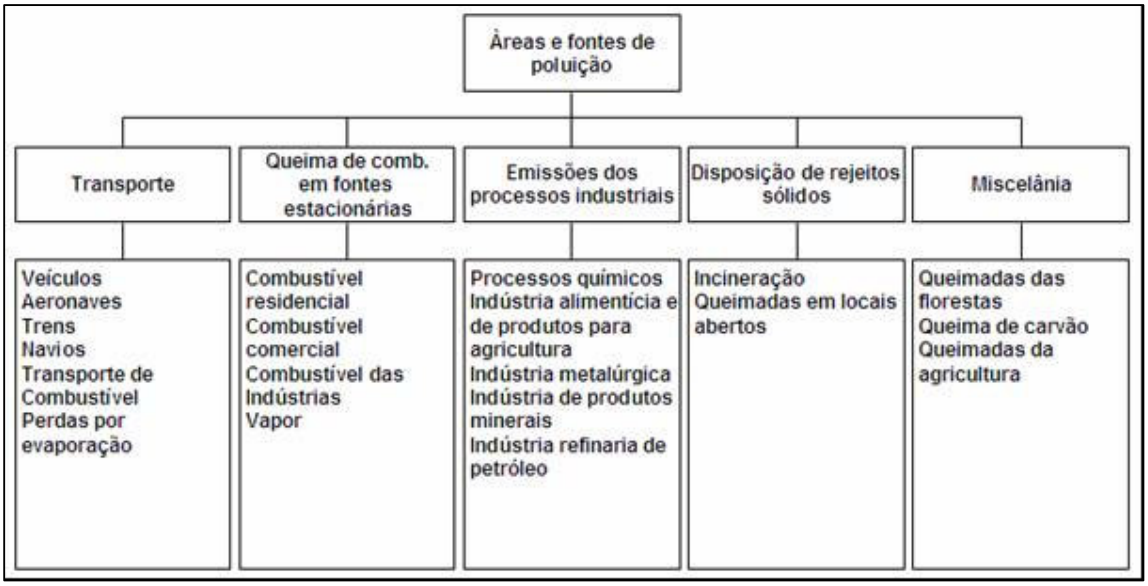


Figura 7 – Àreas e fontes de poluição

(Fonte: Liu, 1999)

Segundo Liu (1999), a poluição atmosférica tem efeito sobre a deterioração dos materiais que estão diretamente expostos ao meio ambiente. As formas de incluem a corrosão dos metais, escurecimento das pinturas em cores claras, aceleração do crescimento 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.

2.2.3 Temperatura

A temperatura dos materiais é aumentada como resultado de influências diretas da irradiação solar ou da ação de outras fontes de calor que em um veículo em funcionamento podem, por exemplo, 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, e eletrônicos. 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 elongamento 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.

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 têm demonstrado que mais de 75% de falhas em equipamentos eletrônicos podem estar relacionadas com a temperatura de operação.

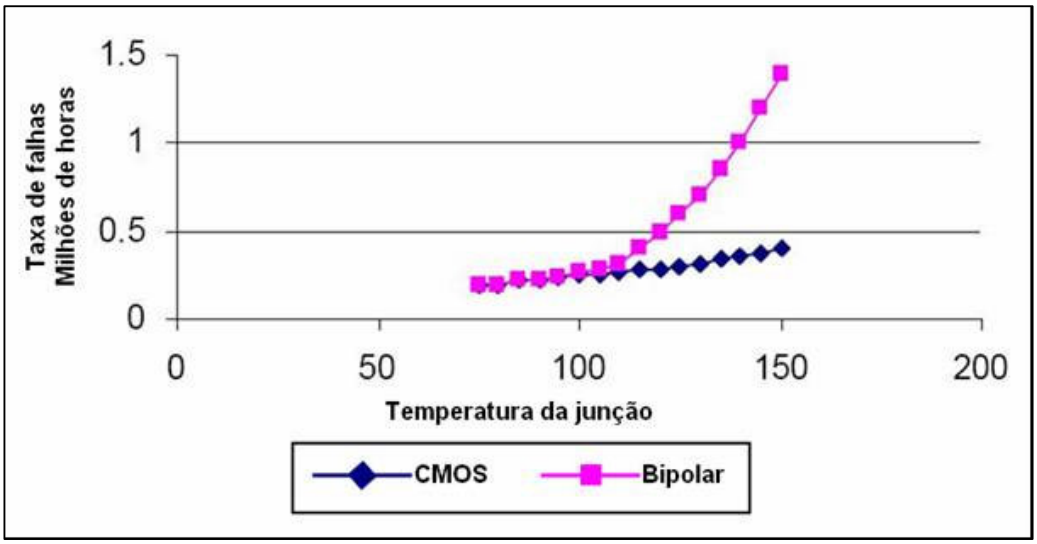


Figura 8 – Efeito da temperatura de operação e a taxa de falhas
(Fonte: Klyatis, 2002)

Uma prática comum na indústria é manter a temperatura média dos equipamentos eletrônicos 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. A máxima temperatura de operação de componentes eletrônicos é sugerida pelos fabricantes, sendo em função da potência dissipada e da confiabilidade requerida.

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 radiação. No caso dos componentes de um motor, emprega-se sistemas de resfriamento para controlar a temperatura dos mesmos, evitando que haja influência da temperatura sobre a resistência mecânica dos materiais empregados na fabricação destes componentes.

Em um veículo outras fontes de energia térmica 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 indicação na figura 9. 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 apresentar temperatura de 190°C. Desta forma, deve-se ter cuidado na seleção do material do disco para não haver perda de resistência mecânica em função da temperatura de operação.

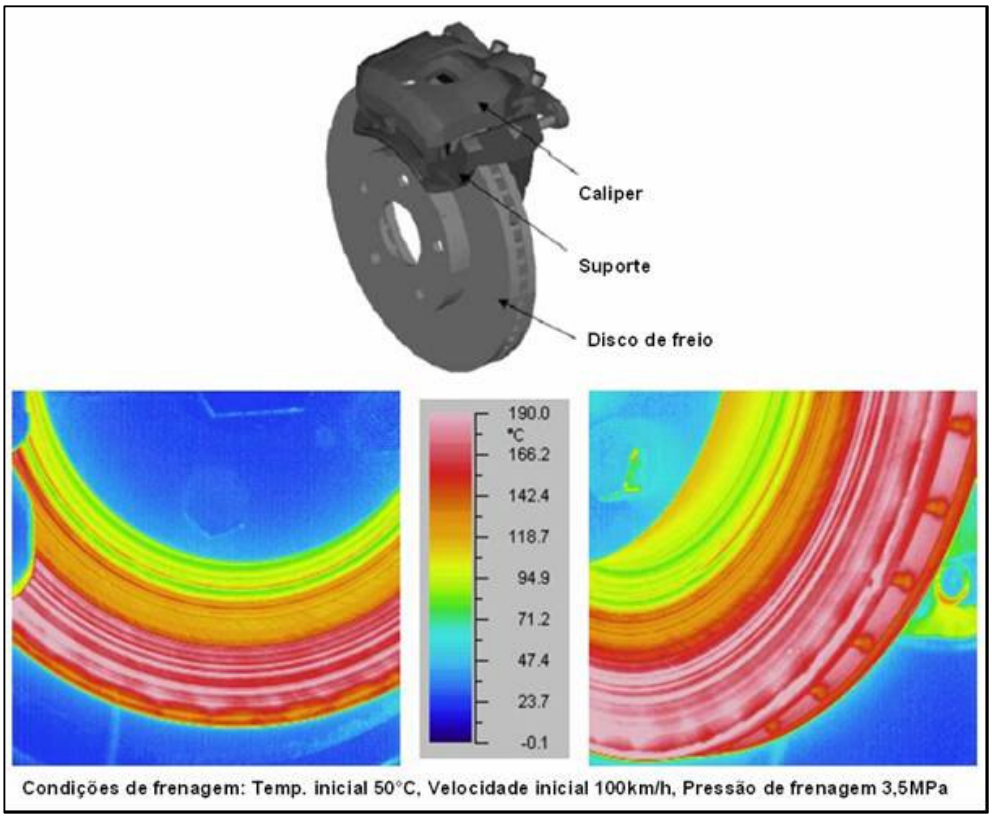


Figura 9 – Temperatura superficial em um disco de freio ventilado

(Fonte: Nagayoshi, Inoue e Hara, 2004)

Os materiais isolantes dos condutores elétricos (cabos, chicotes, cobertura de equipamentos elétricos, etc) absorvem calor do meio ambiente e o próprio calor gerado na operação 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 magnitude da sua temperatura de operação.

A viscosidade das graxas e solventes, 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, causando 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 componentes de motores hidráulicos e cilindros de freio resultando assim no vazamento dos fluidos. Segundo Klyatis (2002), o processo de oxidação e envelhecimento dos óleos é intensificado sob temperaturas altas.

2.2.4 Flutuações de temperatura e outras mudanças bruscas dos fatores climáticos

Segundo Klyatis (2002), as temperaturas altas e baixas exercem influências opostas no comportamento mecânico dos materiais, sendo que mudanças bruscas de temperatura (durante um dia ou algumas horas) contribuem no processo de envelhecimento dos mesmos, representado pelo crescimento de trincas associadas a ação de carregamento ciclico. 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 influencia a degradação dos materiais, como mostrado na tabela 7. Em umidades elevadas (mais de 90%), se reduz a qualidade do material, pois há uma penetração de umidade no componente ou cria-se uma camada de vapor na superfície do material, podendo causar corrosão ou, em caso de componentes eletrônicos, gerar curto circuito. Se a quantidade de vapor no ar é baixa (inferior a

50%), o vapor contido nos materiais evapora e resulta em modificações internas dos materiais tornando-os frágil (Fonte: Klyatis, 2002)

Os materiais higroscópicos absorvem umidade e/ou vapor do ar ambiante, 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 dos 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 do óleo empregado no interior de sistemas mecânicos, tais como motor e caixa de câmbio.

Já a baixa umidade do ar, causa a secagem dos materiais os quais podem trincar e/ou deformarem-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 de um orifício no interior do 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.

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.

Nos automóveis também ocorre a eletrização quando estes são submetidos a grandes velocidades em ambientes de baixa umidade, podendo seus ocupantes, ao sair ou entrar no veículo, sentirem uma descarga elétrica.

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, por exemplo.

A questão fatores climáticos é difícil de ser abordada, todavia muitas condições e combinações de fatores podem ser estudadas em laboratório, avaliando sua influência sobre 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. 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 e 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 falha “ruído” nos veículos, os engenheiros de produto devem levar em consideração fatores associados ao ambiente externo ou meio ambiente onde o produto será utilizado e/ou exposto para então a entender sua ocorrência, entre os quais pode-se citar:

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

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 exigência de legislação, os motoristas são obrigados a buzinar 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 à exportação.

Um ponto não menos importante, que deve ser levado em consideração pelos engenheiros de produto é quanto à condição de uso dos clientes em cada país. Estes possuem sua própria cultura e que influencia a forma dos motoristas dirigirem e conduzirem os veículos, influenciando a ocorrência de desgaste em alguns componentes dos veículos, como pneus, elementos da suspensão, freios e outros. Um outro aspecto é quanto à quilometragem média rodada, que pode variar de um país para outro e conseqüentemente a durabilidade de alguns itens também pode variar de um país para outro.

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 em função de especificações de projeto, cada país tem sua legislação sobre a forma de monitorar a qualidade dos combustíveis.

Segundo Jarrett (2006), a qualidade do combustível tende a piorar quando ocorre aumento de preço do mesmo, pois o combustível que normalmente seria descartado é vendido. Este fato aumenta o risco da presença de contaminantes (àgua, sujeira, particulas biológicas) no combustível vendido aos consumidores.

Um outro aspecto relevante é que o tipo de combustível afeta as emissões veiculares, 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 um maior volume de 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 para a atmosfera.

Segundo Rangel e Carvalho (2002), para os 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 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 significantemente mais HC e CO quando a

mistura é rica, enquanto NO_x é baixo para uma mistura muito pobre, passando por um máximo para uma relação ar combustível da ordem de 16.

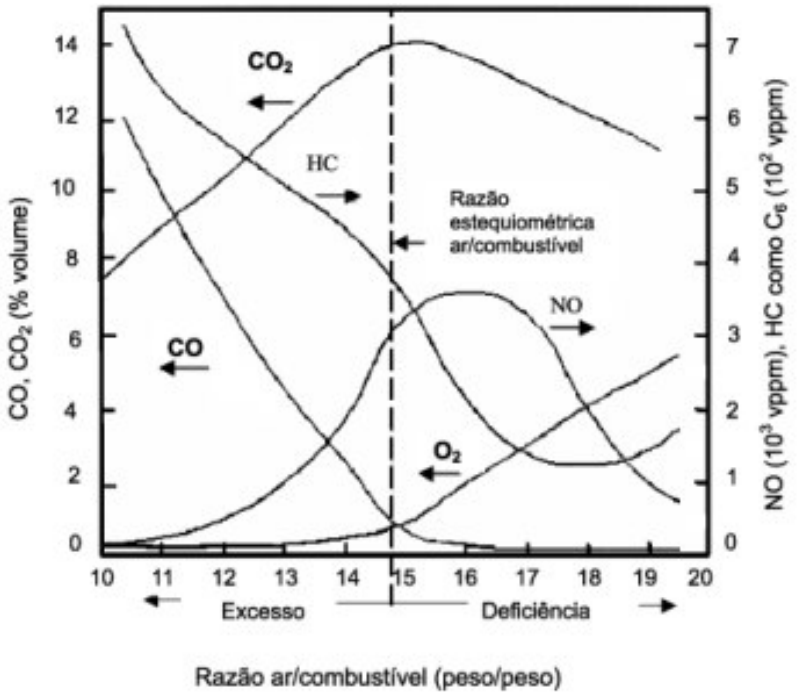


Figura 11 – Emissões de um motor a gasolina em função da razão ar/combustível (Fonte: Rangel e Carvalho, 2002)

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

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.

Ainda segundo Cruz (2004), os limites de emissões para veículosde passageiros e veículos comerciais leves, e pesados podem ser vistos nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Limites de emissões em veículos de passageiros 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)			
	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)		0,08	
	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 máximo superior a 2000kgf.

Data	Aplicação	Ensaio	Limites de Emissões (g/kWh) – Opacidade (m^{-1})						
			CO	THC	NMHC	NOx	CH4(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 dm^3 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 resíduos da corrosão dos tanques de armazenamento dos próprios postos de combustível.

Segundo a ANP (2006), a adulteração é a mistura de qualquer substância diferente ou acima dos valores permitidos nas especificações, originando um produto de qualidade inferior. A gasolina pode ser adulterada de vários modos, e os mais comuns são a adição de álcool acima da quantidade especificada ou a adição de vários tipos de solventes, como o tolueno, metanol ou benzeno 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), os primeiros sintomas observados quando da utilização de gasolina contaminada são falhas repentinas no motor, irregularidades na marcha lenta, dificuldades nas partidas e motor “batendo pino” com freqüência. Algumas vezes o motor apaga ou engasga, apresentando também perda de potência.

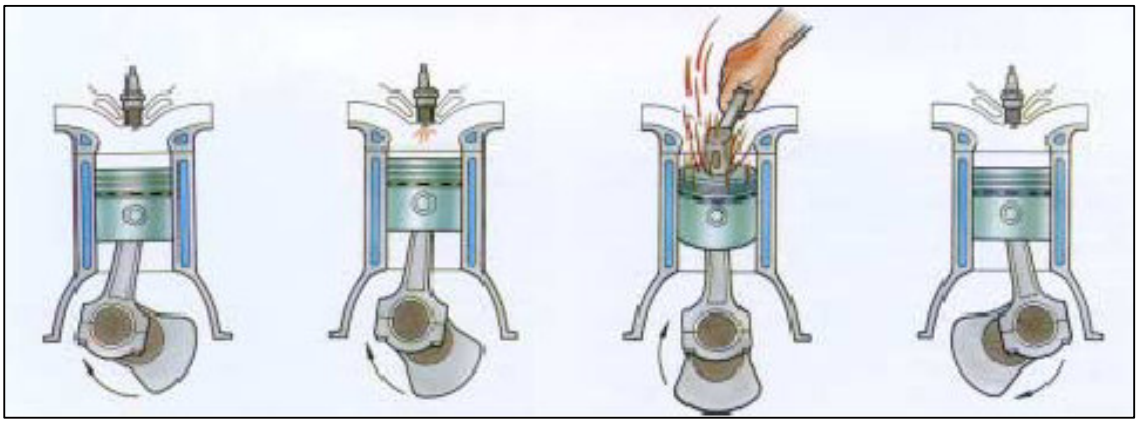


Figura 12 - Figura esquemática da batida de pino de motor
(Fonte: Zambrzycki, 2004)

Este fenômeno de batida de pino ou detonação, tal como indicado na figura 12 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 (Fonte: Arruda, 2005).

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

O uso de gasolina adulterada também causa a corrosão das válvulas e da câmara de combustão, aumenta o consumo, danifica mangueiras, danifica bomba de combustível e aumenta a carbonização de velas e válvulas. Além disso, o ataque químico forma uma massa preta, que entope o bico injetor e impede a lubrificação dos anéis, danificando componentes como o virabrequim e o comando de válvulas, podendo causar falha do motor, conforme mostra figura 13.

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

Segundo Arruda (2005), para demonstrar 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 esta limpeza é recomendada a cada 30 mil km.

De forma resumida, os principais problemas causados pelo uso de gasolina adulterada são:

Falhas repentinas no motor;
Marchas lentas irregulares;
Dificuldades nas partidas;
Motor “batendo pino” com freqüência;
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. No anexo A são mostradas pesquisas realizadas em 2006 sobre a qualidade dos combustíveis (gasolina) nos países onde a confiabilidade dos veículos é estudada no presente trabalho.

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% do volume dependendo da disponibilidade de álcool no mercado. No momento da elaboração deste texto o teor de álcool amidro na gasolina é de 20%.

A gasolina comum, é a gasolina mais 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 com injeção eletrônica, como é o caso da maioria dos carros atualmente produzidos no Brasil.

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 cm^3, alguns destes carros possuem alta taxa de compressão e se beneficiam do uso desta gasolina, obtendo-se com seu uso um maior desempenho do motor.

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, 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 o tradicional processo de destilação e craqueamento. 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 que exigem combustivel de maior desempenho

antidetonante e que possibilite atingir potência máxima prevista em seus projetos, causou o desenvolvimento da gasolina premium.

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 estes países 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. O 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 inicio 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. 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.

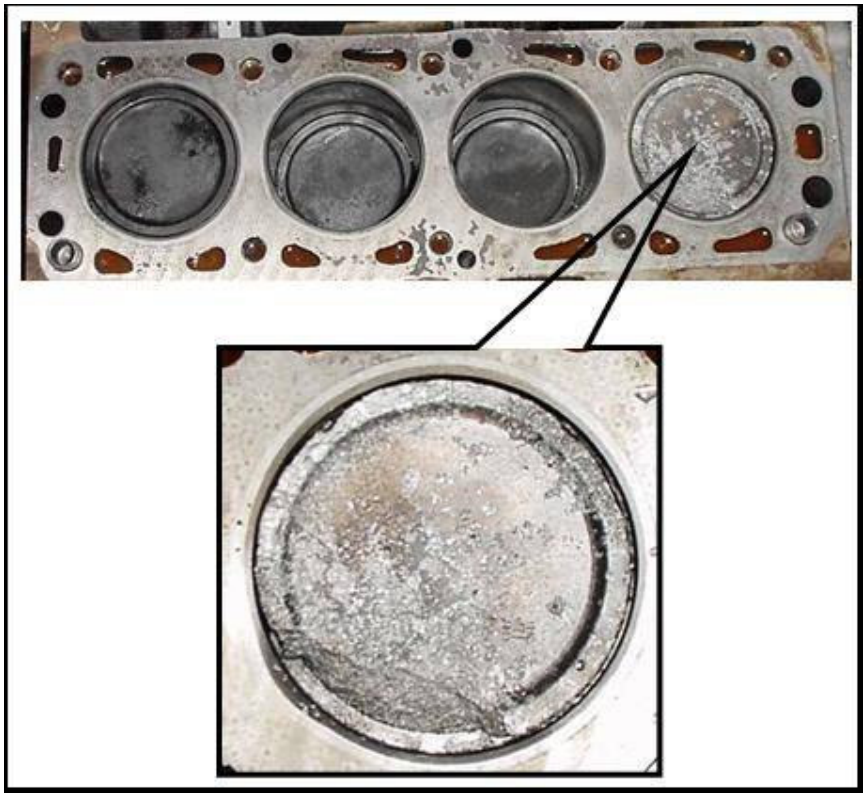


Figura 14 – Cilindro do motor danificado devido ao uso de combustível com baixa octanagem
(Fonte: Garcia, 2003)

Para a avaliação da octanagem das gasolinas automotivas, encontram-se disponiveis dois métodos (Fonte: Petrobrás, 2006):

- **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 veiculo 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 numero 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 combustivel do país onde são fabricados. Geralmente necessitam de uma gasolina de maior octanagem como a gasolina Premium que apresenta o indice antidetonante (IAD = 91, mínimo).

- **Indice 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 numero de octanagem MON ou RON, o índice antidetonante (IAD) como representativo do desempenho antidetonante do combustível. 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 1:

$$IAD = \frac{(MON + RON)}{2} \tag{1}$$

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.

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 neste produto 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.

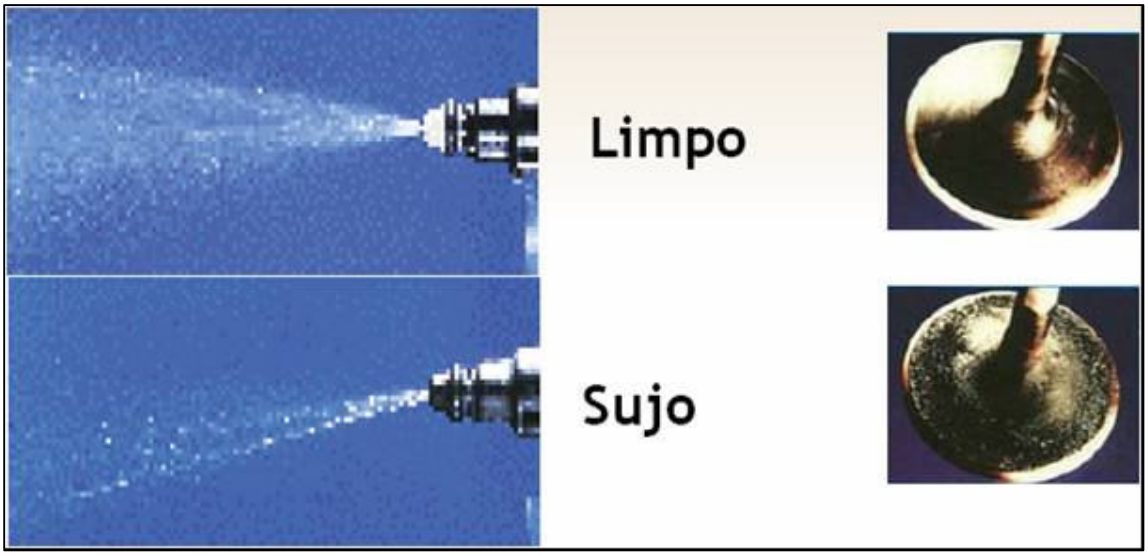


Figura 15 - Efeitos da formação de goma nos bicos injetores
(Fonte: Stragevitch, 2005)

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 (Fonte: Petrobrás, 2006).

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.

2.4.5 Enxofre

O enxofre é um elemento químico de 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 (Fonte: Petrobrás, 2006).

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

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), 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.

Devido ao alto teor de enxofre na gasolina e no 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 às respectivas normas de meio ambiente, para que resultem em produtos menos agressivos ao meio ambiente e à saúde pública.

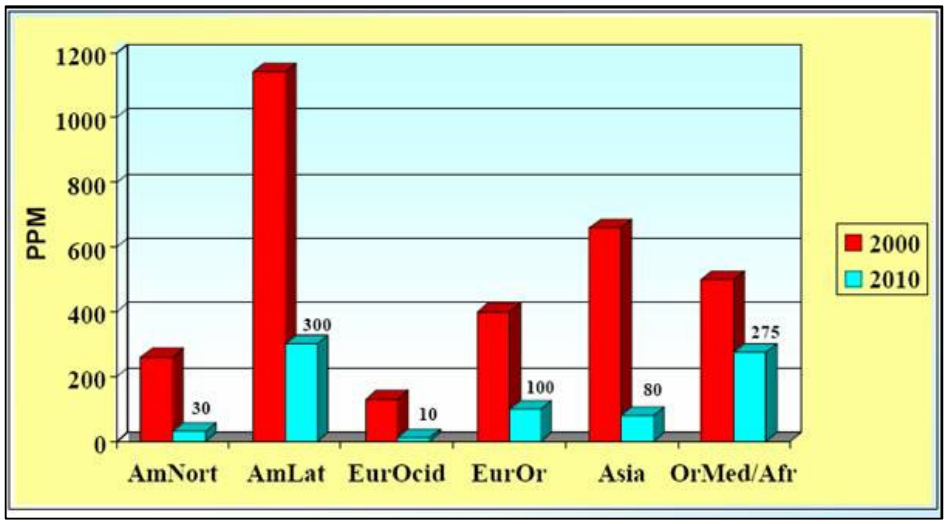


Figura 16 – Evolução do teor de enxofre na gasolina

(Fonte: Szwarc, 2004)

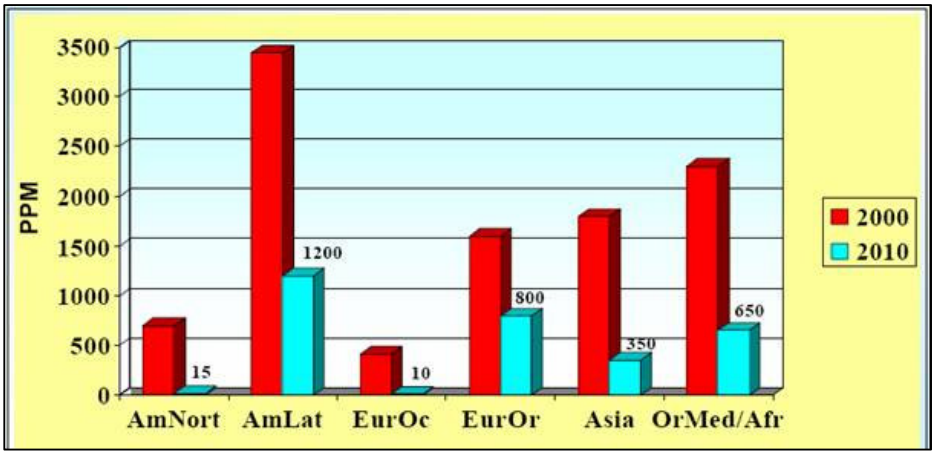


Figura 17 – Evolução do teor de enxofre no óleo diesel

(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 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 a adição de etanol é obrigatória por lei. Atualmente, o valor estabelecido para adição é de 20% em volume.

Por ser extremamente tóxico, o metanol não é utilizado como combustível no Brasil. Foi utilizado durante uma época em substituição temporária ao etanol, em virtude de uma grande falta deste produto 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.

O etanol é líquido até uma temperatura mais baixa, -114°C. Não é tão venenoso, em comparação com o metanol, e pode ser utilizado como combustível em automóveis bem como insumo da indústria de bebidas alcoólicas. Quando misturado na gasolina causa um aumento no índice de octanagem, por ser antidetonante.

2.4.8 MTBE - *Methyl Tertiary-Butyl Ether*

Segundo o centro de pesquisas da Petrobras (2006), o MTBE é outro produto oxigenado, 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.

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 é permitido o uso de 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 e de 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. 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. Atualmente, este desenvolvimento 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. Este processo foi modificado para um processo dinâmico onde se estabelecem 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 estas 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 e resultados de análise com o emprego de modelos matemáticos.

Segundo Heim, Fischer e Sonsino (2006), os requisitos de projeto são difundidos e validados por testes físicos, sendo que tais testes são necessários para poder avaliar o desempenho dos componentes em condições que não podem ser adequadamente analisados com o uso de modelos matemáticos e/ou simulação virtual. Há por exemplo características como desgaste, corrosão, fadiga os quais podem ocorrer em componentes ou subsistemas e podem ser introduzidos por falhas nos processo de manufatura e montagem ou devido a uma condição de uso não prevista em projeto.

Segundo Heim, Fischer e Sonsino (2006), os testes iniciais de validação são benéficos para avaliar os atributos do veículo, podendo avaliar a durabilidade de subsistemas. Já os ensaios de NVH e colisão "*crash test*" devem ser realizados com o veículo montado de forma a avaliar os requisitos de integridade estrutural do veículo. 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, testes com protótipos também poderão ser realizados e assim validar mais outros atributos do veículo.

Uma 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 do novo veículo 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*). Tais conceitos podem ser encontrados não somente na indústria automotiva, mas também em organizações nos Estados Unidos 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 (*gemba*).
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 (*kaizen*) 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. Deve-se garantir a interação entre qualidade, confiabilidade, durabilidade e manutenabilidade como componente de um mesmo sistema integrado conforme figura 18.

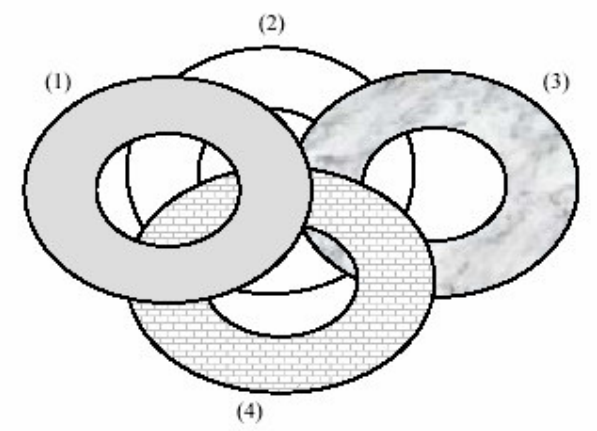


Figura 18 – Sistema de integração entre a qualidade e confiabilidade (durabilidade/manutenabilidade) com um sistema de normas e responsabilidades: (1)Qualidade, (2)Normas/Responsabilidades, (3)Sistema, (4)Confiabilidade (Durabilidade e manutenabilidade)
(Fonte: Klyatis e Klyatis, 2006)

Segundo Klyatis e Klyatis (2006), há uma grande variedade textos técnicos 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 técnicos de avaliação de resultados de ensaio com acurácia e predição, em situações de desenvolvimento acelerado visando a melhoria da confiabilidade, durabilidade e manutenabilidade. Todavia esta deficiência pode ser a razão pela qual, no campo, a confiabilidade e manutenabilidade 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 manutenabilidade, 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.

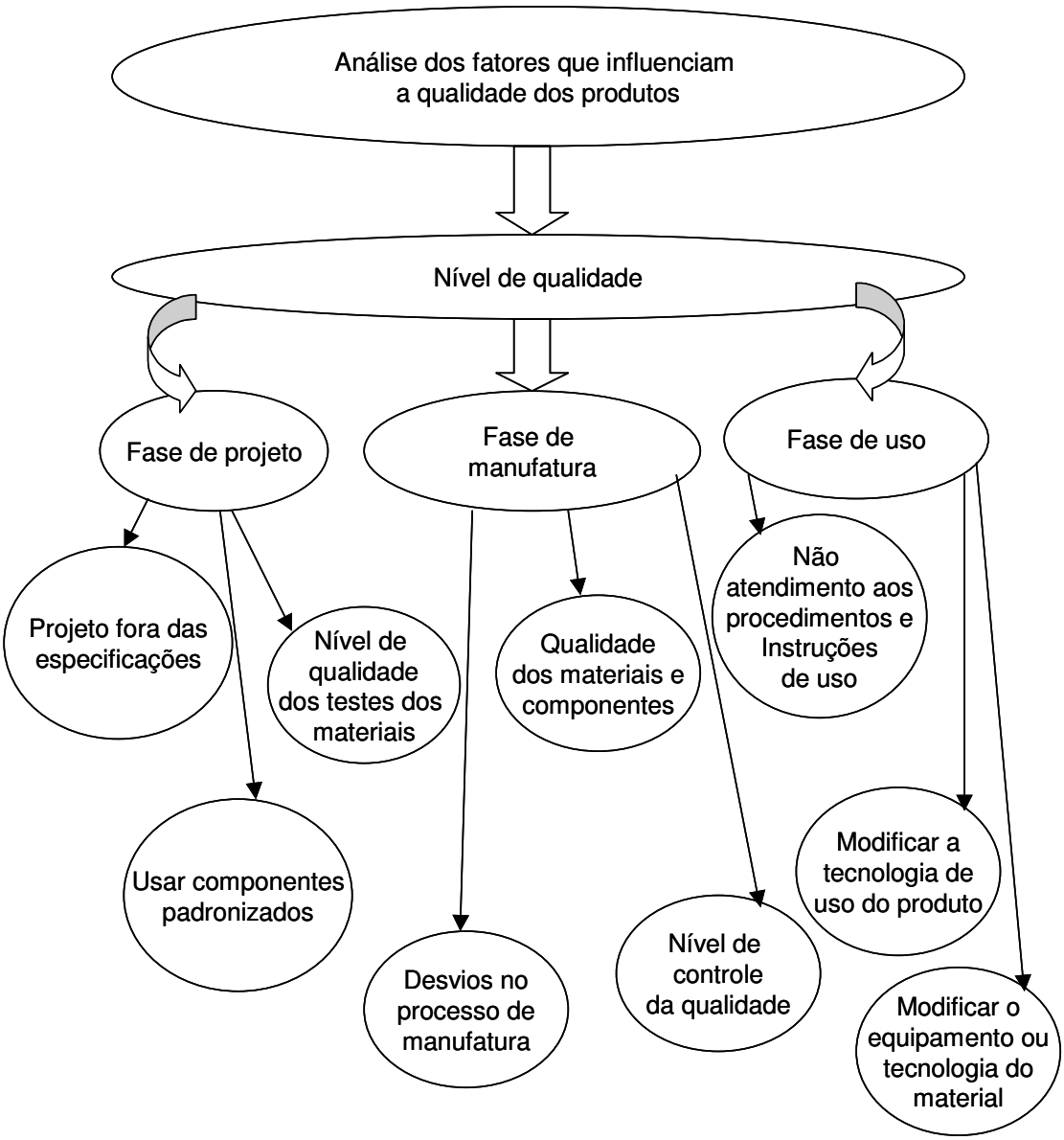


Figura 19 – Esquema complexo de análise dos fatores que influenciam a qualidade do produto as fases de projeto, manufatura e uso.
(Adaptado de Klyatis e Klyatis, 2006)

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.

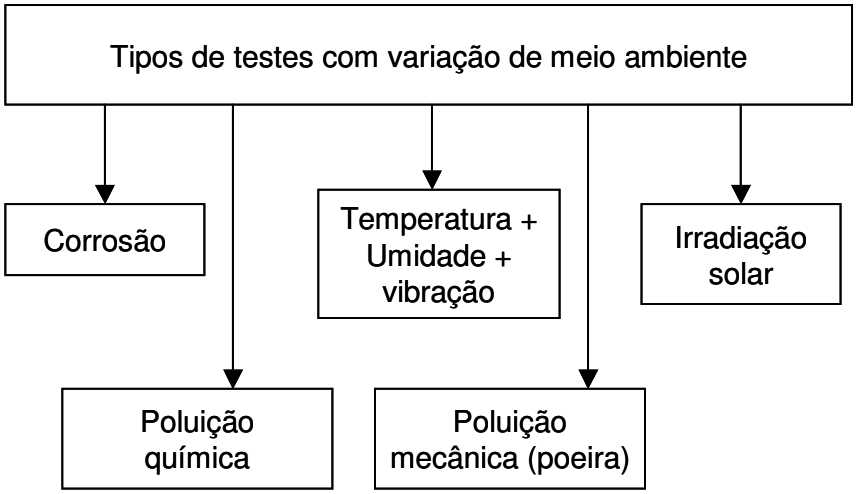


Figura 20 – Tipos corrente de testes com variação de meio ambiente para avaliação de confiabilidade.

(Adaptado de Klyatis e Klyatis, 2006)

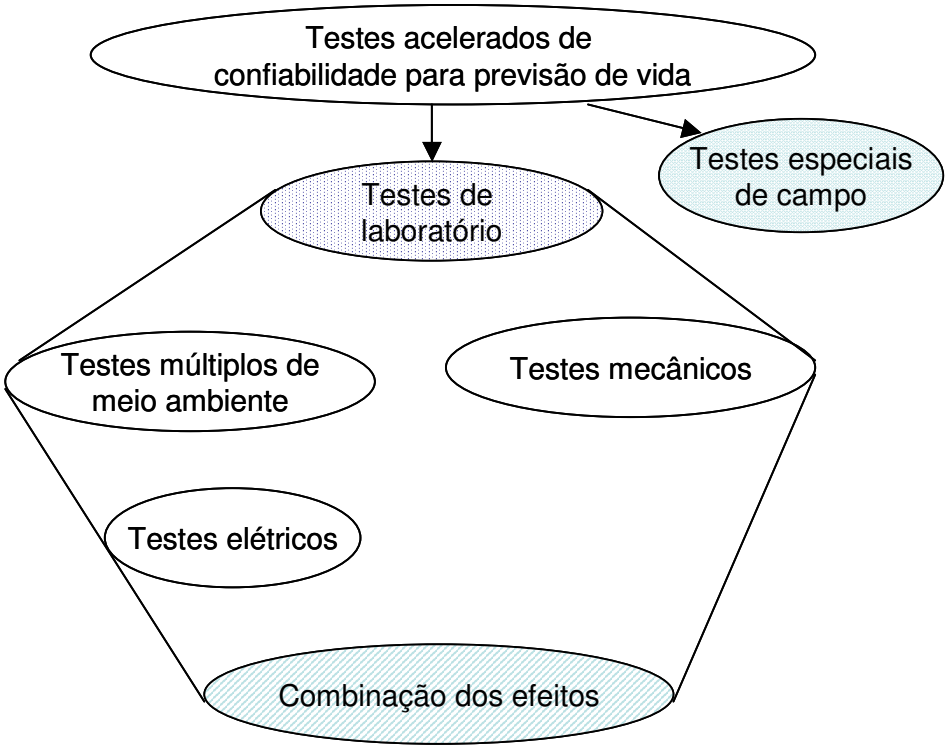


Figura 21 – Exemplo de testes acelerados de confiabilidade para previsão da vida do componente automotivo.

(Adaptado de 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 requisios 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. Número de ciclos de operação 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. Banco de dados provenientes de entidades como *JDPower* e 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 período de manufatura do veículo
4. Projeto inteligente
    a. Usar guia de projeto. Todas as lições aprendidas com os incidentes passados devem ser consideradas 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 os 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 deve 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 certa taxa de produção, e obter um C_{pk} [4] 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%

[4] 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 processos críticos que podem afetar as especificações do projeto. Cada um destes processos deve ser monitorado 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 significantemente 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 requisitos dos clientes.

Embora tais requisitos 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.

No tocante à validação dos veículos destinados ao mercado nacional versus exportação, uma vez conhecidos e/ou definidos os requisitos 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 Àfrica do Sul normalmente os veículos utilitários tipo "*pick-up"* são usados para fazer transporte de pessoas na caçamba;
- A 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 os veículos são usados com super lotação no 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 apresentada no fluxograma conforme indicado na figura 16.

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 veículos operando em diversos países considerando as falhas ocorridas em campo, visando a avaliação da necessidade de possíveis alterações no projeto a fim de atender aos requisitos de confiabilidade. O custo destas alterações 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 extender a garantia, neste método leva-se em consideração os veículos em seu período de garantia normal, ou seja, 1 ano ou 15000km.

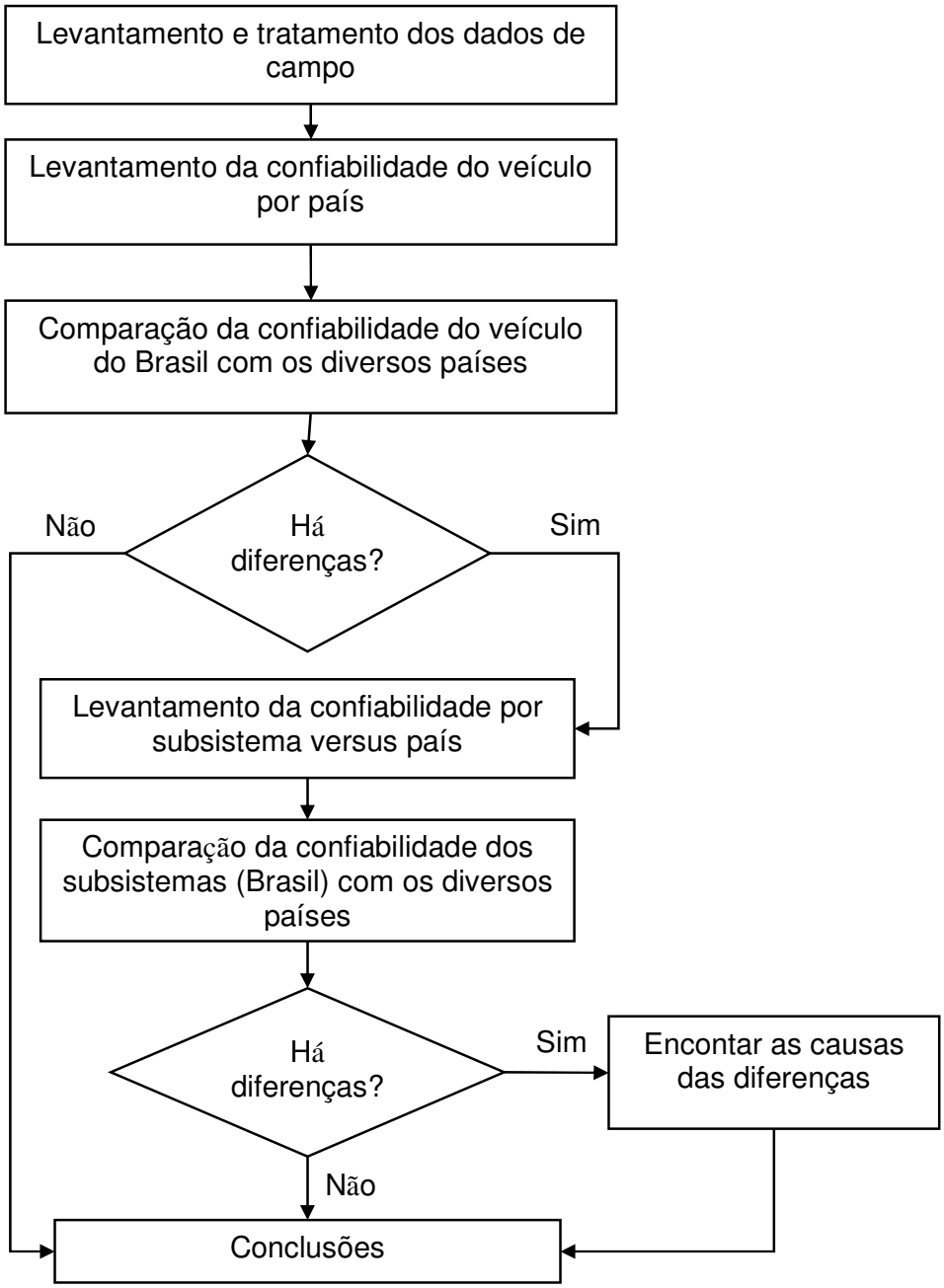


Figura 24 – Fluxograma de metodologia de avaliação da confiabilidade

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 fabricação, local de manufatura, data de venda

do veículo, data da manutenção, quilometragem no momento do reparo, 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 com maior incidência de falhas no campo durante o período de garantia de um ano ou 15000km.

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 realizada 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:

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

Propõe-se, para a análise de confiabilidade, que sejam considerados os 100 itens com maior incidências de reclamações em campo registradas durante o período de garantia.

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, correspondendo ao período em que a garantia é válida. 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, pois está ligada intrinsecamente com o conhecimento das causas dos diversos modos de falhas bem como as respectivas ações corretivas.

Segundo O'Connor (1991), a taxa de falhas $\lambda(t)$ pode variar com o tempo e indica as possíveis causas 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 podem ser 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 falhas aleatórias estão localizadas na região central da curva da banheira, local onde a taxa de falha é aproximadamente constante, sendo usualmente, o menor valor para a taxa de falha ao longo da vida do produto.

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 indicado nas figuras 25 e 26, é crescente com o tempo e segundo Martha de Souza (2002), sua origem está no próprio desgaste do equipamento associado a mecanismos físicos que acumulam dano ao longo da operação do equipamento. Nesta fase, as falhas são relacionadas com efeitos cumulativos tais como corrosão, trincas por fadiga, desgaste por atrito, dentre outros.

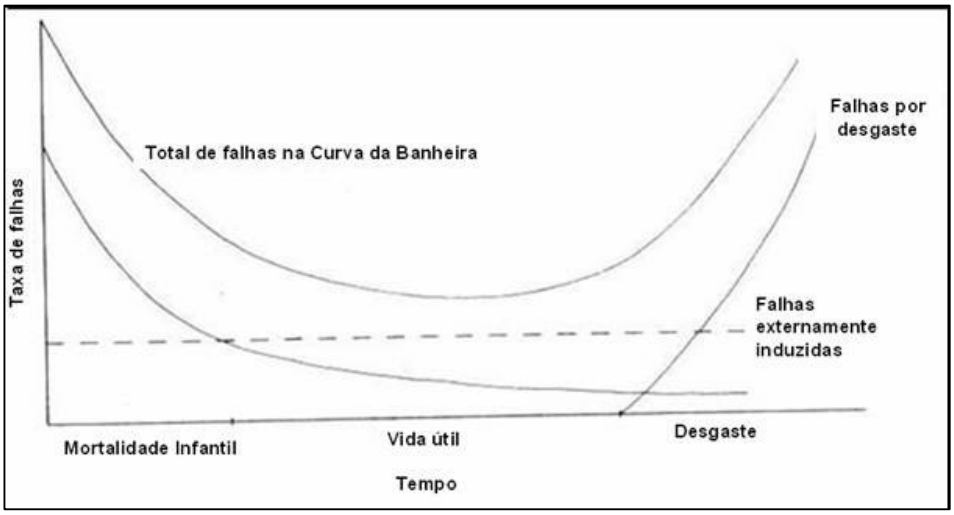


Figura 25 – Curva da banheira

(Fonte: O'Connor, 1991)

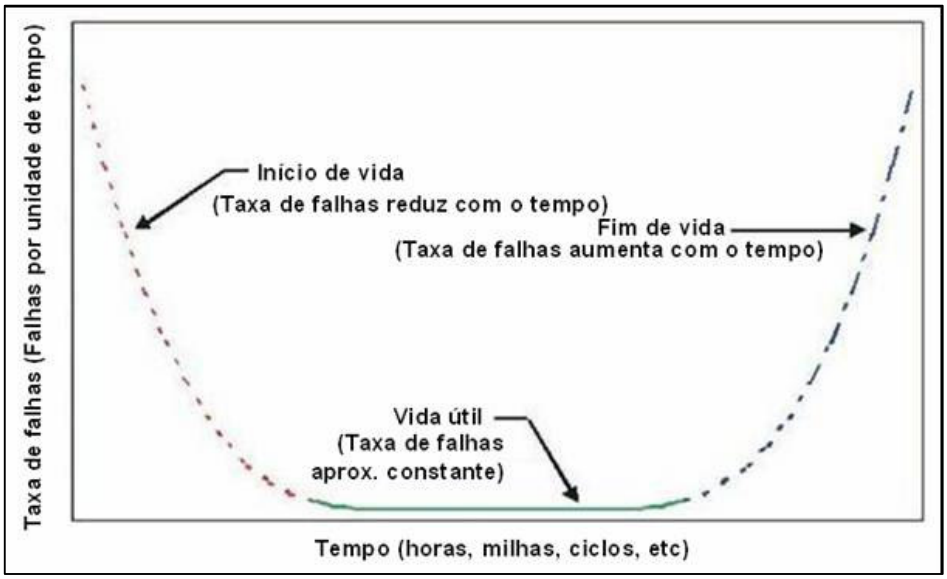


Figura 26 – Características da curva da banheira

(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 predizer a confiabilidade sugere-se fazê-la 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.

Ainda 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 que executou o reparo, 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 baseada nos dados de campo. Neste trabalho será utilizada a distribuição de Weibull para análise dos dados de campo dos países ora estudados com o objetivo de estimar a confiabilidade dos veículos

Segundo Luko (1999), durante a década de 40 e início dos anos 50, Wallodi Weibull, cientista de nacionalidade sueca, 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) da distribuição de Weibull é mostrada na equação (2).

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}.\exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2)$$

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 função distribuição acumulada, F(t), representa a probabilidade do produto apresentar falha até um certo tempo de operação, sendo expressa pela relação:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (3)$$

A confiabilidade, R(t), é expressa por:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (4)$$

A taxa de falhas $\lambda(t)$ é calculdada pela relação entre a função densidade de probabilidade e a confiabilidade, sendo expressa pela relação:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (5)$$

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.

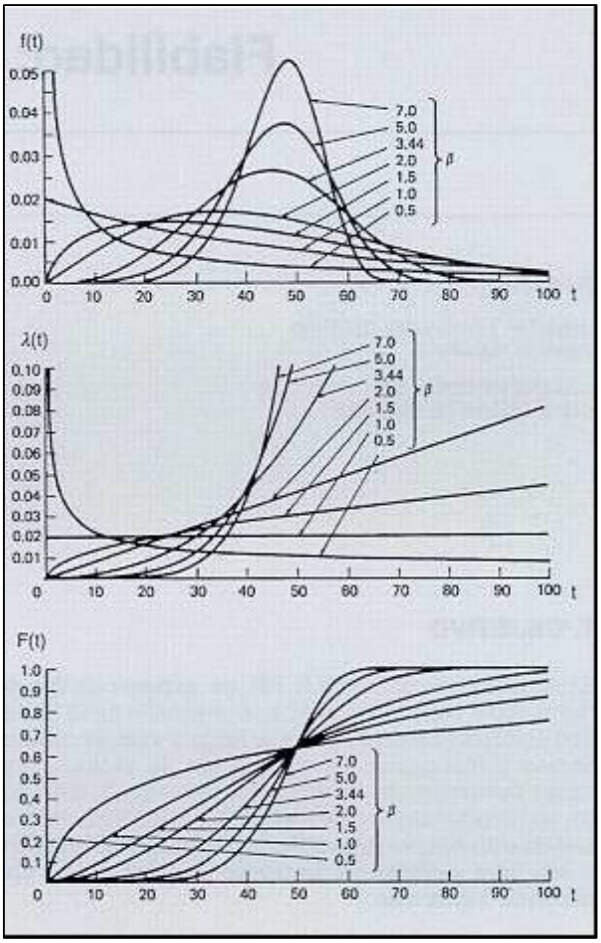


Figura 27 – Distribuição de Weibull com variação da constante de forma β
(Fonte: Martha de Souza, 2002)

Conforme pode ser verificado na figura 27, a forma da função densidade de probabilidade da distribuição 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:

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

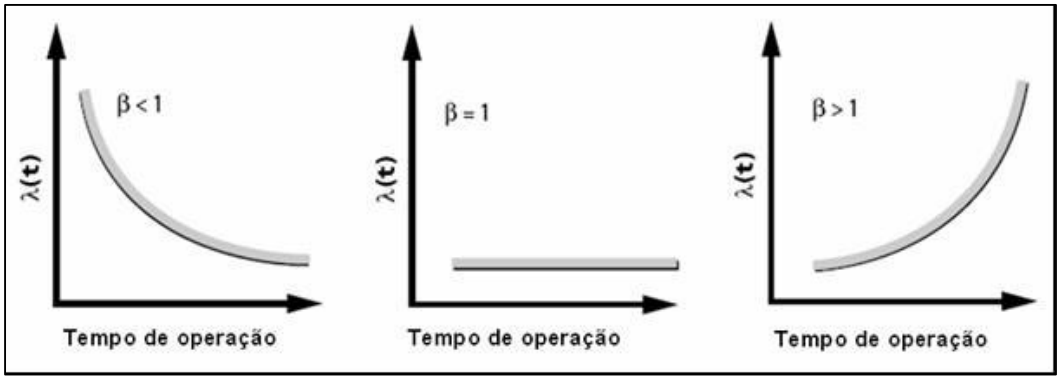


Figura 28 – Valores de β

(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:

a. Critérios de ordem prática ou econômica não permitiram rodar o teste até que todas as unidades falhassem;
b. Algumas unidades perderam-se, por um motivo ou outro, durante o teste;
c. 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 ou suspenso, 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, existem registros sobre os dados dos veículos que falharam, porém não são registradas informações sobre os veículos que não falharam ao longo do período de garantia, nem mesmo a quilometragem ao final deste período.

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 devem ocorrer em algum momento após 30 dias.

Em ensaios de confiabilidade, três tipos de censura à direita ocorrem com freqüência. 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 sua operação acompanhada 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;
- 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 defindo *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 obervados e (n – r) tempos até a falha censurados. O tempo t_r de término de teste é aleatório. Conseqüentemente, existe grande dificuldade na previsão de 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.

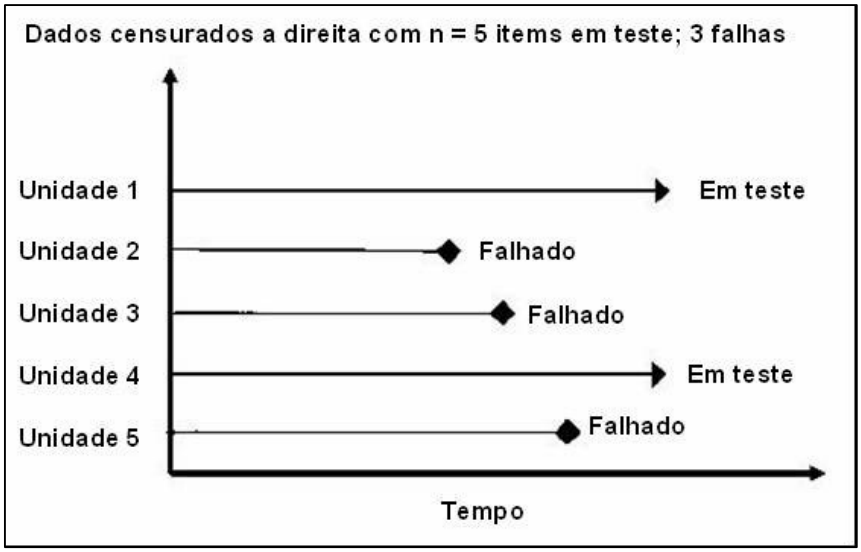


Figura 29 – Dados censurados a direita
(Fonte: Wasserman, 2002)

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 contrapartida, crianças que não haviam aprendido a realizar a tarefa quando da partida do antropólogo serão observações censuradas à direita (Fonte: Wasserman, 2002).

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

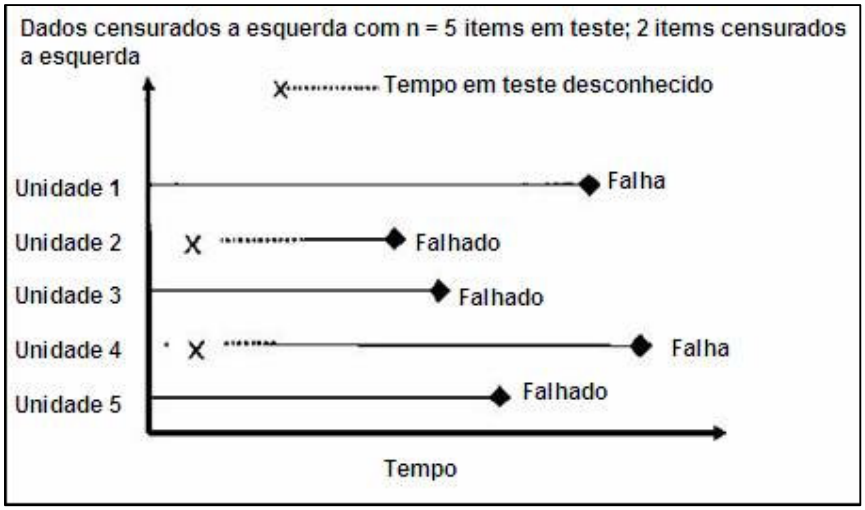


Figura 30 – Dados censurados a esquerda

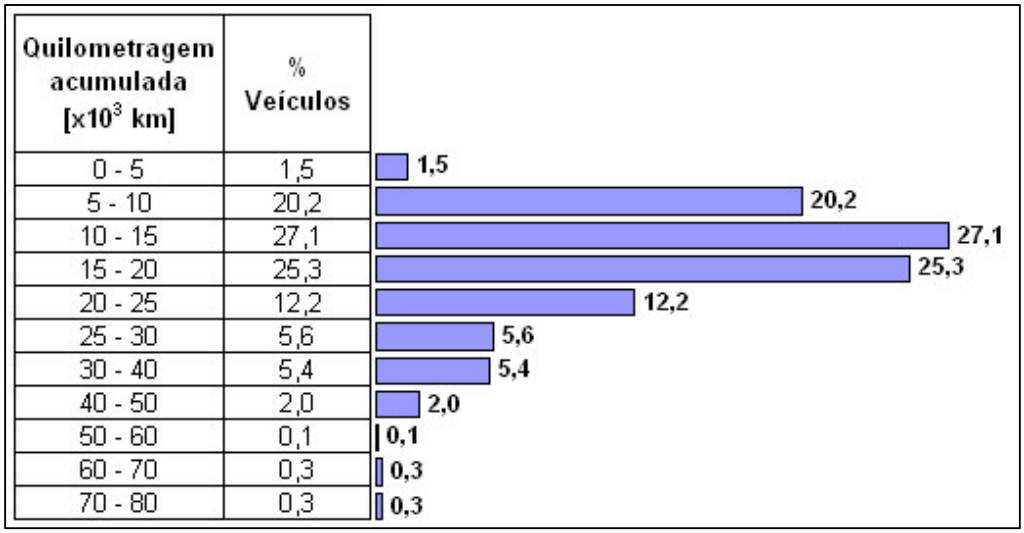
(Fonte: Wasserman, 2002)

No caso de intervalo censurado, os dados de 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 (Fonte: Wasserman, 2002).

Sendo assim, para levantamento da confiabilidade do veículo para todos os países estudados serão avaliados os dados de campo considerando-os como 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 nos dados de garantia.

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.



Quilometragem acumulada [x10^3 km]	% Veículos
0 - 5	1,5
5 - 10	20,2
10 - 15	27,1
15 - 20	25,3
20 - 25	12,2
25 - 30	5,6
30 - 40	5,4
40 - 50	2,0
50 - 60	0,1
60 - 70	0,3
70 - 80	0,3

Figura 31 – Distribuição de quilometragem para veículos eu 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. Para o estudo de confiabilidade executado neste trabalho considerar-se-á que a distribuição de quilometragem dos veículos que foram produzidos no período de estudo e que não falharam no período de garantia é similar ao apresentado na 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, considerando as 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. Para um subsistema específico, são tomados os diversos códigos de mão-de-obra relacionados com o subsistema em questão e as respectivas quilometragens relacionadas a cada falha registrada no banco de dados.

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 apresentou falha no subsistema estudado.

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 a confiabilidade do veículo vendido nos diversos países e o veículo vendido no Brasil.

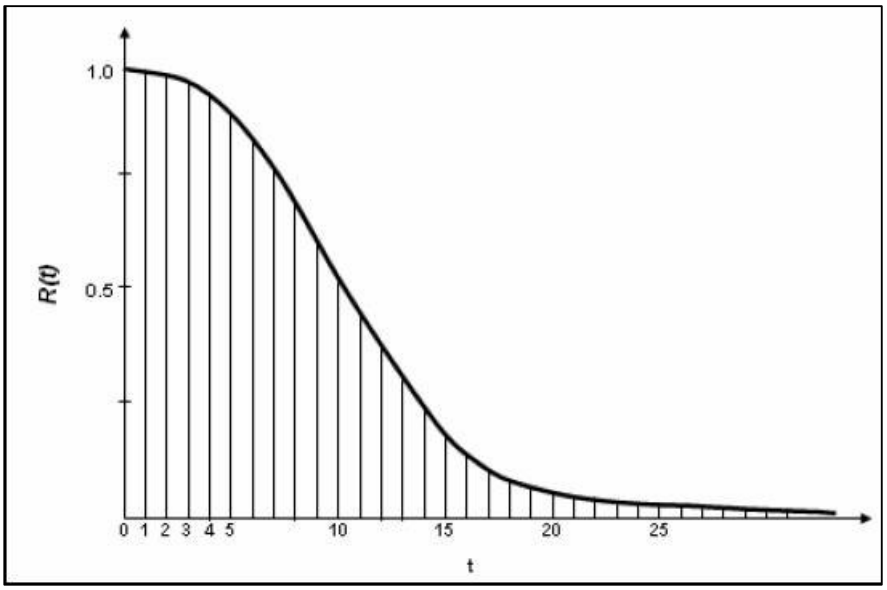


Figura 32 – Função de Confiabilidade R(t)

(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 bem como 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 de manufatura do mesmo. 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, ou das condições climáticas locais.

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:

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

Sendo:

H_0: hipótese inicial, vigente sobre o parâmetro.

H_1: hipótese alternativa.

θ : parâmetro de interesse.

1,2: índice das populações de veículos comparados no teste.

A proposta de método de detecção de diferenças entre confiabilidades é no fluxograma indicado na figura 33 e posteriormente detalha-se cada elemento deste fluxograma.

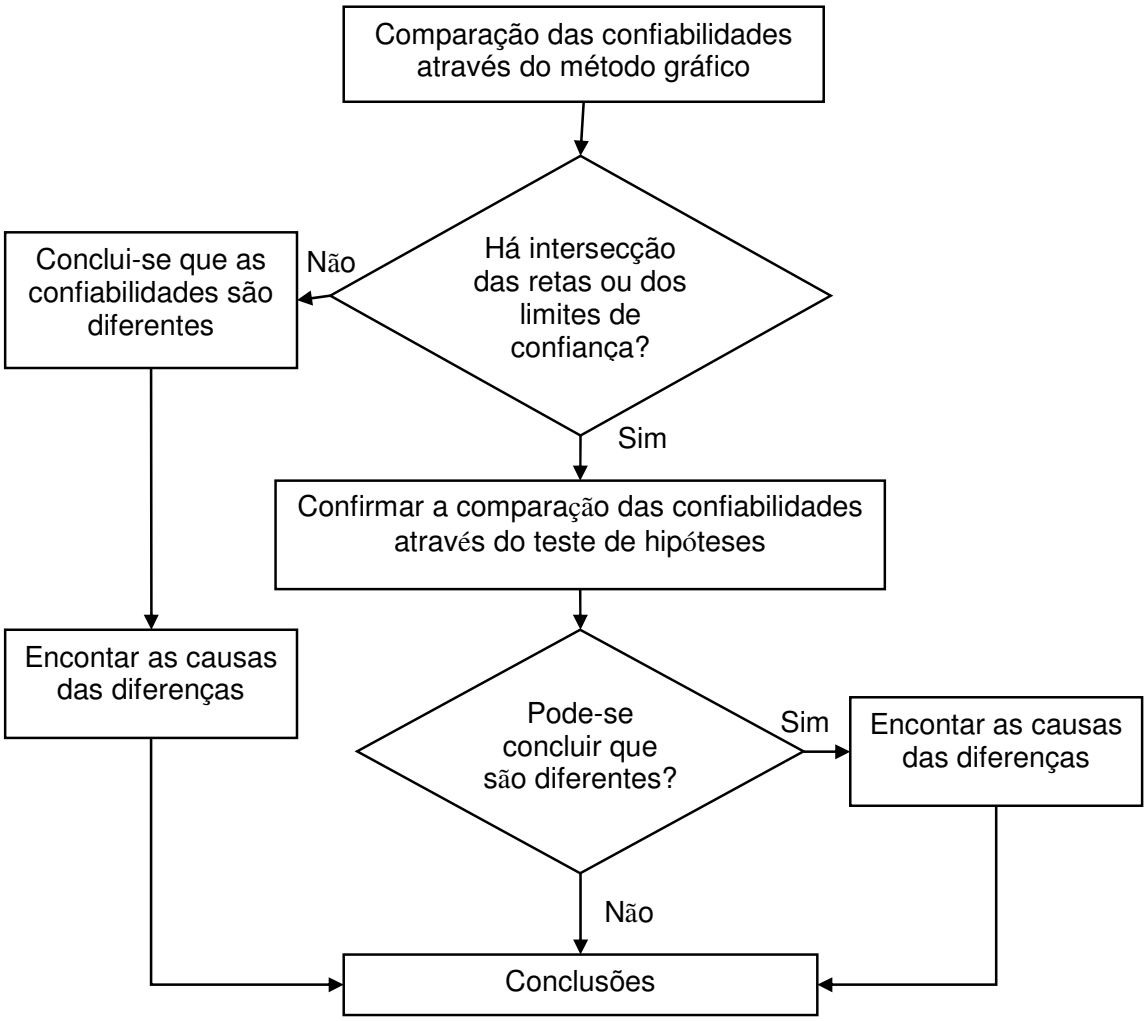


Figura 33 – Fluxograma de comparação da confiabilidade

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 transformar a curva de confiabilidade definida na figura 32, em uma reta e inserir os limites de confiança.

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

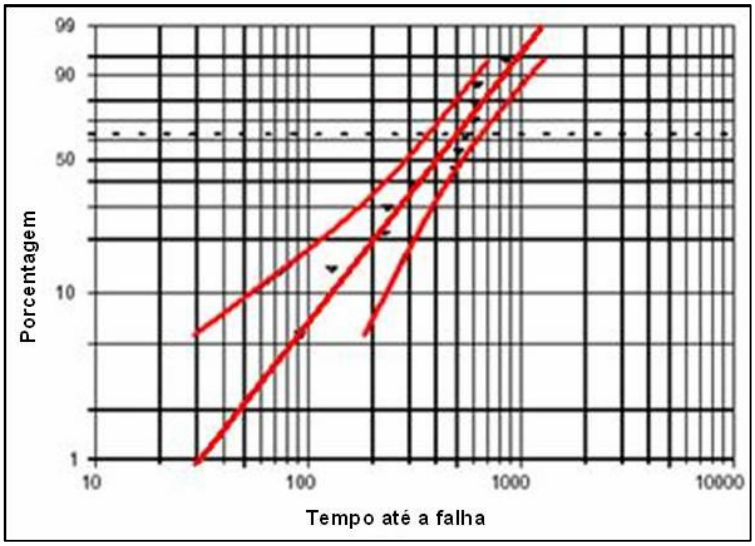


Figura 34 – Gráfico de Weibull linear com os intervalos de confiança
(Fonte: Wasserman, 2002)

Segundo Wasserman (2002), as confiabilidades das populações de veículos operando em dois países diferentes são consideradas diferentes se ambas as retas e os respectivos intervalos de confiança não se interceptarem, conforme mostra exemplo da figura 35.

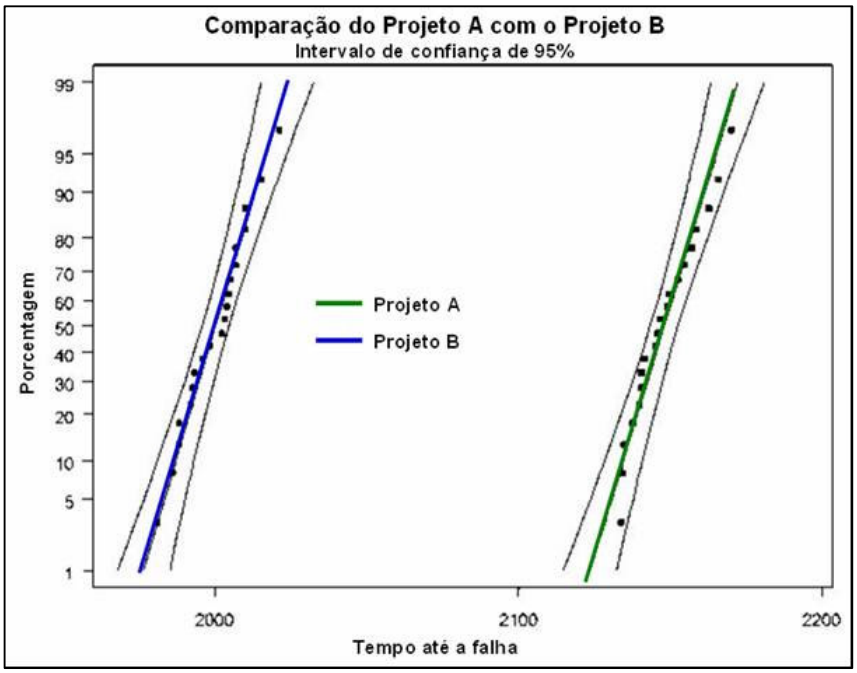


Figura 35 – Gráfico de Weibull com confiabilidades consideradas diferentes
(Fonte: Wasserman, 2002)

Todavia, se houver intersecção das retas e/ou dos intervalos de confiança, conforme mostra figura 36, então o método gráfico passa a não ser prático para destinção da diferença entre confiabilidade 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 do veículo operando em diferentes países.

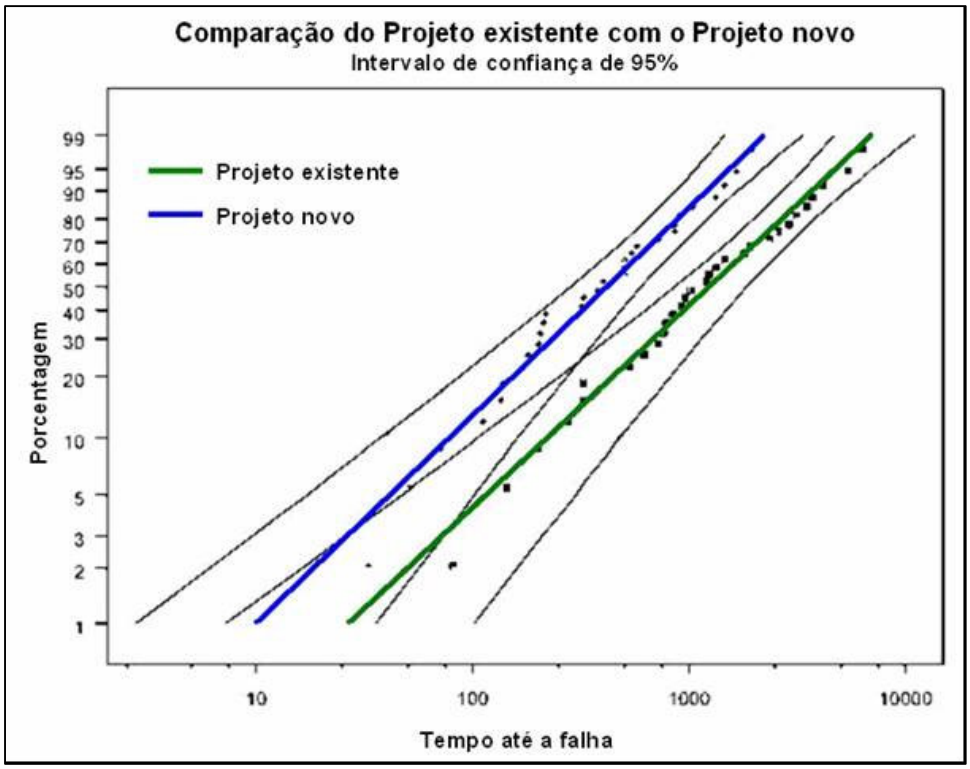


Figura 36 – Gráfico de Weibull com os limites de confiança se interceptando (Fonte: Wasserman, 2002)

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*), ou duas populações do mesmo veículo operando em dois países diferentes. 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 $S_1 = (x_{11}, x_{12}, ..., x_{1r1})$ e $S_2 = (x_{21}, x_{22}, ..., x_{2r2})$, onde x_{1i} e x_{2i} são os valores de quilometragens correspondentes às

falhas no periodo de garantia e n_1, n_2 são respectivamente os tamanhos das amostras e r_1, r_2 os respectivos pontos truncados (r_1 □ n_1, r_2 □ n_2), ou seja, a quantidade de falhas observadas nos veículos nos países designados por 1 e 2.

Considerar a seguinte hipótese:

$$H_0: \theta_1 = \theta_2$$

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

O procedimento de teste segue:

1. Calcular

$$\boldsymbol{C} = \frac{\sum_{j=1}^{r_2} (\boldsymbol{x}_{2j} - \boldsymbol{x}_{21}) + (\boldsymbol{n}_2 - \boldsymbol{r}_2)(\boldsymbol{x}_{2r2} - \boldsymbol{x}_{21})}{\sum_{j=1}^{r_1} (\boldsymbol{x}_{1j} - \boldsymbol{x}_{11}) + (\boldsymbol{n}_1 - \boldsymbol{r}_1)(\boldsymbol{x}_{1r1} - \boldsymbol{x}_{11})} \tag{6}$$

2. Calcular

$$\boldsymbol{F_c} = \frac{(\boldsymbol{r}_1 - 1)}{(\boldsymbol{r}_2 - 1)} \boldsymbol{C} \tag{7}$$

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

$F_c >$ —

```
ERROR: rangecheck
OFFENDING COMMAND: .buildcmap

STACK:

-dictionary-
/WinCharSetFFFF-V2TT9BF4ACCAt
/CMap
-dictionary-
/WinCharSetFFFF-V2TT9BF4ACCAt
```