

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ARTHUR FRICKS GOMES  
JULIO GALVES GENARO

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE CRITICIDADE PARA AVALIAÇÃO DE  
PROBLEMAS DE QUALIDADE DE PÓS-VENDA DA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2014

ARTHUR FRICKS GOMES  
JULIO GALVES GENARO

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE CRITICIDADE PARA AVALIAÇÃO DE  
PROBLEMAS DE QUALIDADE DE PÓS-VENDA DA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Me. Tiago Rodrigues Weller  
Co-orientador: Prof. Dr. Walter Luis Mikos

CURITIBA  
2014

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a Monografia do Projeto de Pesquisa PROPOSTA DE UM ÍNDICE DE CRITICIDADE PARA AVALIAÇÃO DE PROBLEMAS DE QUALIDADE DE PÓS-VENDA DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA, realizado pelos alunos Arthur Fricks Gomes e Julio Galves Genaro, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Mestre Tiago Rodrigues Weller  
DAMEC, UTFPR  
Orientador

Prof. Dr. Walter Luis Mikos  
DAMEC, UTFPR  
Co-orientador

Prof. Dr. Paulo Antonio Reaes  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Prof. Mestre Edmar Hinckel  
DAMEC, UTFPR  
Avaliador

Curitiba, 18 de novembro de 2014.

## RESUMO

Os problemas de qualidade do setor automobilístico que ocorrem em campo durante o uso do veículo afetam diretamente a satisfação do cliente e, portanto, devem ser solucionados com a maior prontidão possível. Entretanto, no cenário atual das organizações há invariavelmente mais problemas do que capital humano para resolvê-los. Portanto, compreender a criticidade de cada problema é fundamental para que a solução deles seja corretamente priorizada. Para se avaliar de uma forma objetiva quais casos devem ser priorizados, um índice de criticidade deve ser aplicado nos problemas reportados pelo mercado consumidor. Esse índice permite que a criticidade dos problemas seja mensurada com base em diversos fatores e posteriormente comparada. O presente trabalho visa analisar alguns dos principais índices de criticidade utilizados pela indústria e com base nas oportunidades de melhoria detectadas propor um novo índice. Para tal objetivo foi realizado um levantamento dos índices de referência assim como a fundamentação teórica necessária para compreender os mesmos. Após isso, foi aplicada uma análise SWOT nos índices atuais. Foram detectados três grupos de critérios que compõem o índice proposto, os qualitativos, quantitativos e de detecção. Nos aspectos da detecção de problemas foi utilizada a análise de confiabilidade, não considerada anteriormente por outros índices de criticidade. Foi realizada a comparação par-a-par de todos os critérios para ponderar o peso que cada um deles possuirá no índice. Por fim, o índice proposto foi verificado por meio da aplicação em casos reais da indústria automobilística e comparado com a percepção de criticidade atual de uma montadora de veículos. Nos casos analisados o novo índice identificou problemas com difícil detecção e com maior impacto ao cliente, em comparação com a visão de criticidade da montadora. A nova visão de criticidade foi considerada teoricamente válida pela montadora de veículos pesados.

**Palavras-chave:** Índice de criticidade, problemas de qualidade de campo, indústria automobilística.

## **ABSTRACT**

The field quality issues, which occur during the product utilization, are the most direct responsible for damage on the customer satisfaction and should be treated with absolute promptness. However, in actual business scenario, companies have more issues than manpower to solve them. Therefore, the correct understanding of the criticality of each problem is paramount for the right prioritization of their solution. To evaluate in an objective way which cases should be prioritized, a criticality index should be applied to issues reported by the consumer market. This index allows the criticality of the issue to be measured based on many factors and to be compared. This work aims to analyze some of the main criticality indexes used by the industry and based on the identified opportunities of improvement a new index is going to be proposed. In order to do it, the applied methodology was to summarize the benchmark criticality indexes and also the theoretical background needed to understand those indexes. The SWOT analysis was applied on the current indexes to identify improvement opportunities. Three groups of criteria, which are going to compose the new index, were identified, concerning qualitative, quantitative and detection items. On the detection group the reliability was included, which was not taken into account before. A Pairwise Comparison was done with all selected criteria in order to establish the weight of each one on the new index. Finally, the new index is going to be applied on real field quality issues from the automotive industry and compared to the industry current criticality understanding. On the analyzed cases the new index highlighted issues that are hardly detected and with bigger impact for the customer, comparing to the current criticality index used by the automaker. The heavy duty vehicle company considered the new criticality view theoretically valid.

**Keywords:** Criticality index, field quality issues, automotive industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenho Esquemático da Metodologia 8D .....	20
Figura 2 - Desenho Esquemático do <i>Quality Journal</i> .....	25
Figura 3 - Exemplo da planilha do FMEA para um Circuito de Iluminação .....	27
Figura 4 - Alguns dos elementos mais utilizados da Casa da Qualidade.....	34
Figura 5 - Exemplo de preenchimento da comparação par-a-par .....	35
Figura 6 - Exemplo de Matriz SWOT .....	36
Figura 7 - Desenho Esquemático da Metodologia.....	39
Figura 8 - Desenho esquemático função da tabela de pesos .....	49
Figura 9 - Critérios elevados a seus respectivos critérios .....	53
Figura 10 - Formato geral do índice de criticidade .....	54
Figura 11 - Desenho Esquemático Bomba de Óleo .....	60
Figura 12 - Desenho Esquemático Sistema de Arrefecimento.....	63
Figura 13 - Desenho Esquemático do Turbocompressor .....	66
Figura 14 - Desenho do Tubo Flexível do Escapamento .....	68
Figura 15 - Desenho do Disco de Embreagem .....	71
Figura 16 - Desenho Esquemático da Biela .....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz Comparação Par a Par .....	47
Tabela 2 - Tabela de Pesos Critério Facilidade de Detecção .....	50
Tabela 3 - Tabela de Pesos Critério Confiabilidade .....	50
Tabela 4 - Tabela de Pesos Critério Influência do Mercado.....	51
Tabela 5 - Tabela de Pesos Critério Custo Médio de Reparo .....	52
Tabela 6 - Tabela de Pesos Critério Severidade.....	52
Tabela 7 - Avaliação do Caso I sob a ótica dos critérios.....	62
Tabela 8 - Avaliação do Caso II sob a ótica dos critérios.....	65
Tabela 9 - Avaliação do Caso III sob a ótica dos critérios.....	67
Tabela 10 - Avaliação do Caso IV sob a ótica dos critérios .....	70
Tabela 11 - Avaliação do Caso V sob a ótica dos critérios .....	72
Tabela 12 - Avaliação do Caso VI sob a ótica dos critérios .....	75
Tabela 13 - Comparativo dos índices para Caso I .....	77
Tabela 14 - Comparativo dos índices para Caso II .....	78
Tabela 15 - Comparativo dos índices para Caso III .....	79
Tabela 16 - Comparativo dos índices para Caso IV .....	80
Tabela 17 - Comparativo dos índices para Caso V .....	81
Tabela 18 - Comparativo dos índices para Caso VI .....	82
Tabela 19 - Estimativa de Custos.....	88

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Efeito do parâmetro de forma $\beta$ na distribuição de Weibull .....	33
Gráfico 2 - Distribuição de Weibull para o Caso I.....	61
Gráfico 3 - Distribuição de Weibull para o Caso II.....	64
Gráfico 4 - Distribuição de Weibull para o Caso III.....	67
Gráfico 5 - Distribuição de Weibull para o Caso IV .....	69
Gráfico 6 - Distribuição de Weibull para o Caso V .....	72
Gráfico 7 - Distribuição de Weibull para o Caso VI .....	74
Gráfico 8 - Índices de criticidade aplicado aos casos reais da montadora.....	76

## LISTA DE SIGLAS

5W2H	<i>Who, What, When, Where, Why, How and How many</i> (Quem, O que, Quando, Onde, Porque, Como e Quantos)
8D	Oito Disciplinas
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CR	<i>Criticality Number</i> (Número de Criticidade)
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos)
PIB	Produto Interno Bruto
PROCONVE	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROTUS	<i>Prototype Follow-Up System</i> (Sistema de Acompanhamento de Protótipos)
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da Função Qualidade)
QJ	<i>Quality Journal</i> (Relatório da Qualidade)
QSP	<i>Quick Solving Process</i> (Procedimento de Solução Rápida)
RPN	<i>Risk Priority Number</i> (Número de Prioridade de Risco)
SWOT	<i>Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats</i> (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças)
TOPS	<i>Team Oriented Problem Solving</i> (Resolução de Problemas Orientada por Equipe)

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
1.1	Contexto do tema .....	13
1.2	Caracterização do problema .....	14
1.3	Objetivos .....	14
1.4	Justificativa .....	15
1.5	Delimitação do trabalho .....	16
2	Fundamentação Teórica .....	17
2.1	Método 8D .....	17
2.1.1	Montar a equipe .....	18
2.1.2	Descrever o problema .....	18
2.1.3	Aplicar e verificar as ações interinas de contenção do problema .....	18
2.1.4	Identificar e verificar a causa raiz .....	19
2.1.5	Eleger e verificar as ações corretivas .....	19
2.1.6	Aplicar e validar as ações corretivas permanentes em execução .....	19
2.1.7	Prevenir a repetição do problema .....	19
2.1.8	Congratular a equipe .....	19
2.2	Processo <i>Quality Journal (QJ process)</i> .....	20
2.2.1	Identificando novos QJs .....	21
2.2.2	Abrindo um novo QJ .....	22
2.2.3	Ação de contenção .....	23
2.2.4	Investigação do QJ .....	23
2.2.5	Desenvolvimento da solução .....	24
2.2.6	Implantação da solução final .....	24
2.3	Avaliação de problemas .....	25
2.4	Critérios para avaliar problemas na indústria automotiva .....	29
2.4.1	Riscos a segurança .....	29
2.4.2	Não conformidade com requisitos legais .....	29
2.4.3	Ocorrência de parada não planejada .....	30
2.4.4	Frequência de falha .....	30
2.4.5	Custos de Garantia .....	31
2.4.6	Confiabilidade .....	31
2.5	Método QFD – Desdobramento da função qualidade e a comparação par-a-par .....	34
2.6	Análise SWOT .....	35
3	Metodologia .....	37
3.1	Descrição da Metodologia .....	37
3.2	Produtos do Projeto .....	39
4	Análise dos Índices De Criticidade Atuais .....	41
4.1	Análise SWOT dos Índices de Criticidade .....	41
4.1.1	Análise SWOT do <i>C-value</i> .....	41
4.2	Identificação de Oportunidades de Melhoria .....	44
5	Desenvolvimento do novo Índice de Criticidade .....	45
5.1	Seleção dos critérios que comporão o novo Índice .....	45
5.2	Ponderação dos Critérios Selecionados .....	47
5.3	Formulação do Novo Índice .....	49
5.3.1	Facilidade de Detecção .....	49
5.3.2	Confiabilidade .....	50

5.3.3	Influência do Mercado .....	51
5.3.4	Custo Médio de Reparo.....	51
5.3.5	Severidade.....	52
5.3.6	Grupo Quantitativo.....	54
5.3.7	Grupo Qualitativo.....	55
5.3.8	Grupo Detecção.....	55
6	Aplicação do Novo Índice de Criticidade nos Casos da Montadora de Veículos.....	57
6.1	Análise de confiabilidade dos casos .....	57
6.2	Aplicação do índice de criticidade em casos reais da montadora.....	58
6.2.1	Caso I – Bomba de óleo .....	59
6.2.2	Caso II – Bomba de líquido de arrefecimento .....	62
6.2.3	Caso III – Turbocompressor .....	65
6.2.4	Caso IV – Tubo flexível do escapamento .....	68
6.2.5	Caso V – Disco de embreagem.....	70
6.2.6	Caso VI – Biela.....	73
7	Comparação dos Índices de Criticidade.....	76
7.1	Análise do Caso I – Bomba de Óleo .....	77
7.2	Análise do Caso II – Bomba do Líquido de Arrefecimento.....	78
7.3	Análise do Caso III – Turbocompressor .....	79
7.4	Análise do Caso IV – Tubo flexível do escapamento.....	80
7.5	Análise do Caso V – Disco de embreagem.....	81
7.6	Análise do Caso VI – Biela.....	81
7.7	Considerações .....	82
8	Considerações finais .....	84
8.1	Conclusão .....	84
8.2	Estimativa de custos das horas investidas na elaboração do trabalho.....	87
8.3	Sugestões para trabalhos futuros .....	88
	REFERÊNCIAS .....	89

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente processo de globalização da economia aliada ao desenvolvimento de novas tecnologias e abertura de novos mercados são responsáveis por uma nova tendência mundial. Nunca como agora, o acirramento da concorrência entre as empresas estimulou tanto a elevação dos níveis de padrão da qualidade (DIAS, 2006). Nesse aspecto, o setor automotivo não difere das outras indústrias (ROY; SOUCHOROUKOV; SHEHAB, 2011).

Segundo Terner (2008), o cliente não busca somente a diferenciação pelo preço do produto, mas sim pelo seu valor, que pode ser compreendido pelo padrão de qualidade oferecido.

Os problemas de qualidade na indústria automotiva que mais causam impacto direto ao cliente são os problemas originários de campo, que ocorrem quando o veículo está de fato em operação. Por isso, segundo Larsson e Norén (2011), as empresas querem resolver esses problemas o mais rápido possível e da forma mais assertiva para manter os seus clientes satisfeitos.

Esses problemas possuem várias características que ditam a sua importância e criticidade, e conseqüentemente o seu impacto na satisfação do cliente. Dentre esses fatores cita-se a frequência de falha, ocorrência de paradas não planejadas, risco à segurança, não conformidade com requisitos legais e custos de reparo (LARSSON; NORÉN, 2011).

Define-se criticidade como a medição das conseqüências de um modo de falha, ou seja, o quão grave são os efeitos da falha de um componente (DEPARTMENT OF DEFENCE, 1980).

Para que os recursos humanos e financeiros das organizações possam ser utilizados de forma otimizada, esses fatores devem ser mensurados para se compreender a gravidade do problema. Com isso, ainda de acordo com esses autores, deve-se então optar pelo processo mais adequado de solução. Isso pode compreender desde a simples substituição de uma peça defeituosa até a mudança completa do projeto de um componente.

## 1.1 Contexto do tema

Ferramentas de análise e solução de problemas de qualidade são muito utilizadas na indústria automotiva. Além da ferramenta 8D, que é um método de resolução de problemas em equipe, criada pela Ford, outras montadoras desenvolveram seus próprios métodos de resolução de problemas. A General Motors desenvolveu a metodologia *Drill Deep* baseada nos cinco Por quês, a Toyota o formulário A3, que leva este nome porque toda a análise, ação e conclusão devem ser preenchidas em uma folha deste tamanho de papel (TERNER, 2008). A Daimler Chrysler desenvolveu o Processo de Solução de Problemas (PSP), cuja estrutura permite o gerenciamento do problema em sua totalidade, seja do ponto de vista da incidência, da evolução das ações corretivas, da eficácia destas ações e do feedback aos sensores (DIAS, 2006).

No Brasil, segundo o anuário da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) do ano de 2014, há 29 empresas automobilísticas. Destaca-se a montadora de veículos pesados da região Sul, que servirá de base para o presente trabalho.

A ferramenta de resolução de problema utilizada por uma montadora de veículos da região Sul é o *Quality Journal*, cuja base é o método 8D. O método 8D tem suas raízes históricas no MIL-STD 1520 *Corrective Action and Disposition System for Nonconforming Material* (Ações Corretivas e Sistemas de Descarte para Matérias não Conformes), padrão de qualidade utilizada pelo exército americano. Introduzido em 1974, tinha como principais objetivos identificação de erros, análise da causa-raiz, controle do desperdício, prevenção de falhas recorrentes, redução de custo na produção e aumento geral da qualidade.

Fundamentando-se nessas diretrizes a Ford desenvolveu o TOPS (Resolução de Problemas Orientada por Equipe) com o objetivo de reforçar o sistema de resolução de problemas. Esse método também passou a ser conhecido por 8D, porque era dividido em 8 disciplinas (LARSSON; NORÉN, 2011). Ford ainda introduziu o sua metodologia 8D na Motorola em 1989, e fez questão de que a Motorola o utilizasse em todo os problemas envolvendo produtos da Ford (WHITFIELD; KWOK, 1996). Posteriormente o 8D passou a ser adotado especialmente pela indústria automotiva para resolução de problemas (PUNNAKITIKASHEM et al., 2010).

## 1.2 Caracterização do problema

Levam-se muitos anos de trabalho árduo para que uma companhia obtenha boa reputação no mercado e consiga credibilidade nos clientes em seus produtos (AL-NAJJAR, 2001). Dessa forma, quando surgem problemas no pós-venda, a companhia tem de tratá-los com extrema dedicação e agilidade, afim de não prejudicar sua posição competitiva no mercado.

Dentro desse contexto, ferramentas de análise e solução de problemas do pós-venda tem de ser constantemente desenvolvidos. Neste trabalho foi estudado uma montadora da região Sul que desenvolveu seu próprio método, o *Quality Journal* (QJ), baseado no 8D. Segundo Larsson e Norén (2011), o objetivo do QJ é solucionar problemas o mais rápido possível com a máxima precisão, a fim de manter a satisfação dos clientes. Porém, ele é um processo extremamente oneroso em termos de recursos financeiros, portanto não deve ser aplicado a qualquer problema de qualidade, apenas aos mais críticos.

Dessa forma, os problemas de qualidade de campo precisam ser classificados com base em suas características, como causa-raiz, frequência de falha, custo de garantia e criticidade, para que possam ser priorizados e posteriormente encaminhados ao QJ.

A partir da ponderação dessas características, toma-se a decisão de abrir ou não um QJ, com objetivo de garantir a alocação correta de recursos para solucioná-los. Se o problema não é severo ou urgente o bastante, o problema não deve ser resolvido através do método QJ (LARSSON; NORÉN, 2011).

## 1.3 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar os critérios empregados para caracterizar problemas de qualidade de pós-venda de uma montadora de veículos pesados da região Sul. Em adição, irá se propor um novo índice de criticidade para avaliação dos problemas.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Expor a fundamentação teórica necessária para o entendimento das ferramentas de análise e solução de problemas de qualidade de pós-venda na

indústria automobilística e levantar os índices utilizados atualmente para avaliar a criticidade de problemas;

- Avaliar os índices identificados com base na metodologia SWOT;
- Propor um novo índice de criticidade para avaliação dos problemas de qualidade em campo baseado nas fraquezas identificadas na análise SWOT e na ponderação obtida pela comparação par-a-par;
- Aplicar o novo índice de criticidade em casos reais da indústria automobilística e avaliar o seu desempenho.

#### **1.4 Justificativa**

Segundo Desatnick (1989), 90% dos clientes insatisfeitos com a qualidade de um produto irão evitar o mesmo no futuro. Além disso, cada um desses clientes irá compartilhar a sua insatisfação com no mínimo mais nove pessoas. Esses valores demonstram a importância de tratar adequadamente os problemas de qualidade de campo para não prejudicar a imagem e as vendas das empresas.

Entretanto, segundo Bohn (2000), no cenário atual das organizações há invariavelmente mais problemas do que pessoas com tempo suficiente para resolvê-los. Portanto a priorização é essencial para decidir quais problemas são mais críticos e necessitam de maiores recursos alocados.

Para isso, Larsson e Norén (2011) salientam que a priorização dos projetos de melhoria de qualidade não deve ser feita somente por um palpite, mas sim por meio de critérios mensuráveis e que possam ser posteriormente comparáveis.

Segundo o anuário da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) do ano de 2014, a indústria automobilística teve em 2012 18,7% de participação no PIB industrial brasileiro, apresentando crescimento de 45% em relação a 2002.

A produção de veículos em 2013 apresentou crescimento de 8,9% em relação ao ano anterior, sendo que a produção de veículos pesados, como ônibus e caminhões registrou um aumento de 32,9% no mesmo período (ANFAVEA, 2014).

Devido à representatividade na economia brasileira e do intenso uso das ferramentas da qualidade, a indústria automobilística foi escolhida como alvo de estudo deste trabalho.

Além disso, os índices de criticidade disponíveis na literatura não são direcionados a problemas da indústria automobilística. Cada montadora possui seu próprio índice que não é aberto ao público, por questões de sigilo industrial. Por isso, esse trabalho visa formular um índice disponível ao público, que pode ser utilizado por quem necessite priorizar adequadamente a solução dos problemas de qualidade de produto.

### **1.5 Delimitação do trabalho**

Esse trabalho visa abordar o processo de solução dos problemas de qualidade com enfoque somente na sua etapa inicial, onde os problemas reportados pelo campo são avaliados quanto a sua criticidade, para então serem adequadamente priorizados e encaminhados aos responsáveis pela sua solução. Não faz parte do escopo analisar profundamente o restante do processo de solução de problemas. A metodologia proposta é baseada em revisão da literatura, pareceres de profissionais da área de solução de problemas e informações obtidas junto a uma montadora de veículos da região Sul.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta uma síntese da pesquisa teórica em ferramentas de análise de problemas de qualidade. Primeiramente, estudaram-se os métodos utilizados na prática na indústria, especialmente o utilizado pela montadora de veículos pesados da região Sul. Assim, nos dois primeiros capítulos, descreve-se o processo QJ, e sua base, o método 8D.

Posteriormente, buscou-se na literatura como se avaliam problemas de qualidade em geral. Após isso, procuraram-se quais critérios são utilizados para avaliação de problemas na indústria automotiva.

Por fim, fez-se um breve relato sobre o método QFD, com enfoque na ferramenta de comparação par-a-par, pois ela será utilizada como parte da metodologia. Também, apresentou-se brevemente a análise SWOT, porque, da mesma forma, ela será empregada em umas das etapas da metodologia.

### **2.1 Método 8D**

De acordo com Larsson e Norén (2011), a proposta de solução de problemas através do método das oito disciplinas é uma abordagem multidisciplinar que foi integrada a abordagem tradicional de solução de problemas com ênfase ao trabalho em equipe. Um dos principais aspectos da metodologia é a forma que a equipe deve trabalhar a fim de obter bons resultados.

Rambaud (2006) descreve que essa ferramenta é útil para identificar, corrigir e eliminar a repetição de problemas com o objetivo de melhorar produtos e processos. Paris (2003), ainda define em quais condições ela deve ser empregada:

- a causa do problema é desconhecida;
- a resolução do problema está além das capacidades duma só pessoa;
- a gravidade do problema exige que haja uma equipe envolvida.

As oito disciplinas do método são descritas a seguir, de acordo com Rambaud (2006).

### 2.1.1 Montar a equipe

Deve-se reunir uma equipe multidisciplinar, cujos membros tenham conhecimento do processo e do produto, e definir um líder com tempo, autoridade e habilidade para solucionar o problema e efetuar as ações corretivas necessárias. Segundo Adebajo e Kehoe (1999), a liderança e a gestão de pessoas são componentes chave para uma cultura de qualidade. O enfoque na capacidade do líder é crucial para o sucesso de métodos de solução de problemas de qualidade (KUMAR et al., 2008). Outro ponto fundamental nessa etapa é a definição de metas, que são os resultados a serem alcançados no final do processo (RAMBAUD, 2006).

### 2.1.2 Descrever o problema

Nessa fase é importante entender e mapear o problema em termos mensuráveis. Segundo Dias (2006) pode-se definir problema como sendo o não atendimento das necessidades do cliente, pois um produto é feito para atender essas necessidades. O problema pode ser descrito em termos dos 5W2H (*Who, What, When, Where, Why, How and How many*) a fim de descrevê-lo quantitativamente. O time deve ainda analisar dados históricos da empresa para encontrar indícios de razões da falha.

### 2.1.3 Aplicar e verificar as ações interinas de contenção do problema

Nessa etapa define-se e aplicam-se ações de contenção provisórias até que as ações corretivas permanentes sejam executadas. Segundo Larsson e Norén (2011) ação de contenção é aquela que visa mitigar os efeitos do problema a curto prazo, enquanto se aguarda pela solução definitiva. Através de dados, verifica-se a efetividade dessas ações de contenção. Dependendo das consequências do problema, as ações requeridas têm diferentes proporções. Em alguns casos, a ação de contenção pode ser apenas informar o cliente, mas, em outros casos, pode ser necessário parar a produção e fazer um *recall* de todos os produtos no mercado.

#### 2.1.4 Identificar e verificar a causa raiz

Segundo Dias (2006), a causa raiz é a causa com a maior probabilidade de ser a origem do problema analisado. Nesta etapa, identificam-se todas as possíveis causas que podem explicar porque o problema ocorreu, e posteriormente confrontar cada uma com o efeito e localizar as ações corretivas necessárias.

#### 2.1.5 Eleger e verificar as ações corretivas

Confirma-se que as ações corretivas selecionadas resolverão o problema, através de testes, e que não causarão efeitos secundários indesejáveis. É uma vantagem possuir múltiplas soluções que podem ser comparadas, já que algumas delas podem não funcionar ou ainda podem causar novos problemas.

#### 2.1.6 Aplicar e validar as ações corretivas permanentes em execução

Aplicam-se as ações corretivas permanentes e definem-se sistemas de controle para assegurar que a causa raiz foi eliminada. De acordo com Brandão (2011) ações corretivas são as realizadas após a ocorrência do problema e tem como objetivo reparar o sistema. Ainda deve-se monitorar os efeitos de longo prazo impondo controles e ações de contenção necessárias. O time deve desenvolver uma estratégia de aplicação, deixando claro o que vai mudar e quem é responsável.

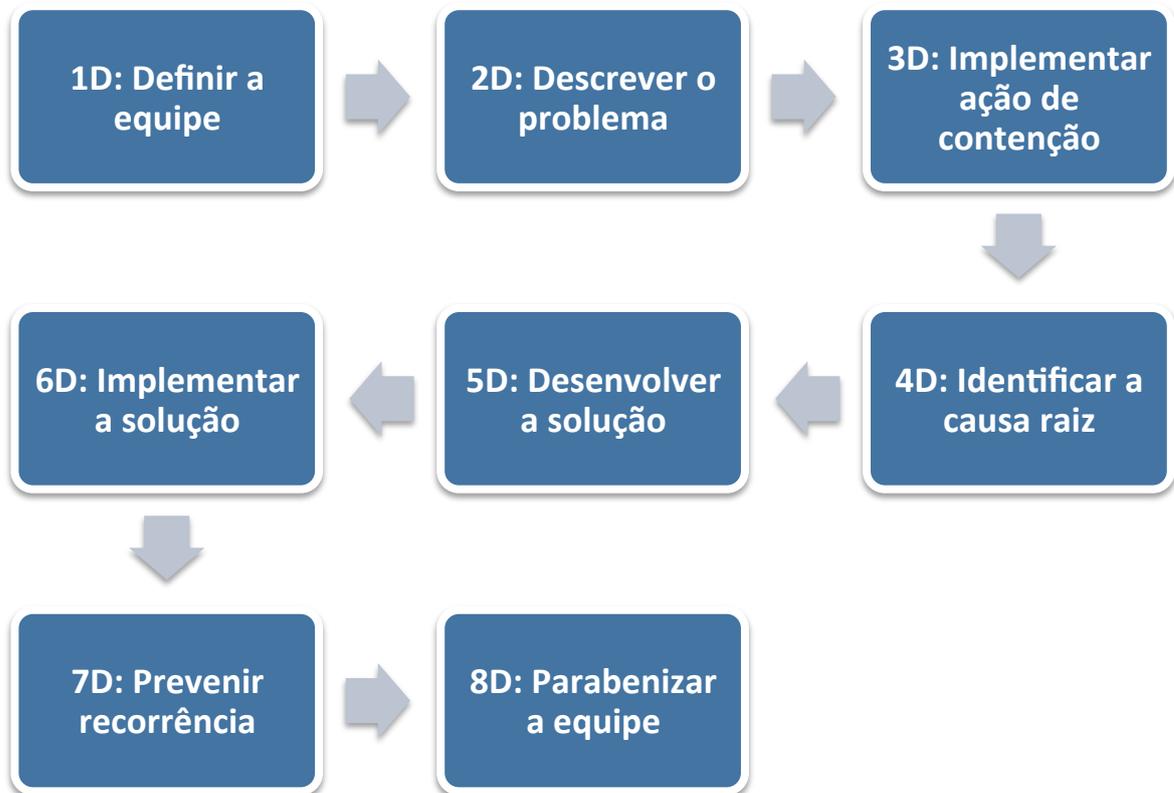
#### 2.1.7 Prevenir a repetição do problema

É fundamental identificar e determinar quais ações devem ser tomadas a fim de prevenir que o mesmo problema, ou outro semelhante, se repita no futuro.

#### 2.1.8 Congratular a equipe

Uma vez que o problema foi resolvido, é importante reconhecer o esforço e o resultado do trabalho.

A Figura 1 representa um fluxograma da metodologia 8D segundo Rambaud (2006).



**Figura 1 - Desenho Esquemático da Metodologia 8D**  
 Fonte: Adaptado de Rambaud (2006)

## 2.2 Processo *Quality Journal* (QJ process)

A fim de se conhecer como são solucionados problemas de qualidade de campo em uma empresa do setor automobilístico entre as líderes em seu seguimento, será apresentada uma revisão sobre o Processo *Quality Journal* (QJ Process).

O processo QJ foi concebido pela montadora de veículos pesados da região Sul para identificar e solucionar problemas de qualidade do produto. Um QJ pode ser aberto com base em um problema reportado pelo mercado consumidor ou identificado internamente. Esse processo é baseado na estrutura 8D, entretanto nem sempre são empregadas as mesmas etapas e a metodologia das oito disciplinas em

um QJ. O QJ deve seguir um processo definido que é compreendido pelas seguintes etapas (LARSSON; NORÉN, 2011):

**ESBOÇO (DRAFT):** Um problema de qualidade é documentado e registrado, mas ainda não foi aprovado como um QJ.

**NOVO (NEW):** Quando um problema de qualidade é aprovado, ele torna-se um QJ.

**INÍCIO (KOFF):** Etapa marcada pela reunião de início do QJ, quando a equipe envolvida começa a investigação e verificação das causas-raiz do problema.

**DECISÃO (DEC):** Baseado nos passos anteriores, uma proposta de solução para o problema é definida.

**LIBERAÇÃO (REL):** A solução final é liberada e as modificações de projeto são devidamente registradas.

**FORNECIMENTO (SUP):** Essa etapa acontece quando o fornecedor está pronto para fornecer as peças modificadas.

**INÍCIO DA PRODUÇÃO SERIADA (SPS):** Etapa marcada pelo início da produção em série das peças tratadas pelo QJ.

**MERCADO PREPARADO (MP):** O mercado está preparado para aplicar as mudanças. As novas peças já estão disponíveis nos estoques.

**MERCADO PRONTO (MR):** A solução está completamente aplicada na produção e no pós-venda. Essa etapa caracteriza o encerramento do processo de QJ.

A seguir, será apresentada uma descrição mais detalhada do desenvolvimento do processo de QJ, com base no estudo realizado por Larsson e Norén (2011).

## 2.2.1 Identificando novos QJs

### 2.2.1.1 Criar um esboço do QJ

Quando um gestor de casos identifica um potencial problema de qualidade, ele primeiramente deve verificar se o problema pode ser conectado a algum QJ já existente. Se isso não for possível, o próximo passo será averiguar se esse problema deve ser tratado pelo processo de QJ, pois existem outros processos da

qualidade que também podem ser aplicados. Durante essa fase, um esboço com as características do problema deve ser criado.

#### 2.2.1.2 Análise inicial

Para se entender melhor o escopo do problema, algumas informações iniciais devem ser coletadas, como a frequência de falhas e os danos provocados. Essas informações serão úteis para decidir se o QJ deve ser aberto ou não, ou seja, se o problema será tratado por um *Quality Journal* ou por outro método. Nessa etapa do processo deve-se entrar em contato com o fornecedor, a manufatura e o engenheiro responsável pelo componente. Para que um problema de qualidade seja abordado por um QJ, ele deve atender a critérios pré-estabelecidos.

#### 2.2.2 Abrindo um novo QJ

##### 2.2.2.1 Decisão sobre a abertura de um QJ

Depois de fazer a análise inicial, deve-se decidir se um problema de qualidade pode ser considerado apto a se tornar um *Quality Journal* ou se mais informações sobre o caso devem ser coletadas. Essa decisão deve ser tomada em um fórum global contendo os gestores de caso e os gestores de projeto de qualidade. Caso o problema não seja aprovado como um QJ, por não atender aos pré-requisitos, ele pode ser resolvido por um dos outros processos de solução empregados por montadora de veículos, como o PROTUS ou QSP, que são processos destinados a solução de casos mais simples, com menor impacto ao cliente.

##### 2.2.2.2 Preparação para o início do QJ

Após o item ser aprovado no fórum de discussão como um novo QJ, todas as pessoas que estão associadas de alguma forma ao caso devem ser convocadas para fazer parte da equipe de solução. Ter as pessoas certas na equipe é fundamental para o sucesso do processo de solução.

### 2.2.2.3 Início do QJ

Todos os membros da equipe devem participar da reunião de início do QJ. Nessa reunião deve ser apresentado um panorama geral do caso, os resultados da pré-investigação, as estatísticas sobre o problema e o custo de garantia. Deve-se discutir se há possíveis ações de contenção e se alguma campanha deve ser realizada. O cliente também deve ser informado que a empresa está cuidando desse problema. Também se determina quais serão os próximos passos do QJ assim como o método que será utilizado para determinar a causa raiz do problema.

### 2.2.3 Ação de contenção

A ação de contenção visa resolver o problema a curto prazo, enquanto se espera pela solução definitiva. Ela pode ser mais cara que a proposta final e só tratar dos sintomas do problema, mas deve satisfazer ao menos temporariamente a necessidade do cliente com rapidez.

### 2.2.4 Investigação do QJ

#### 2.2.4.1 Identificação das possíveis causas.

Investigar e compreender a causa raiz do problema é um dos principais passos para se chegar a uma solução efetiva. A análise de causa raiz deve resultar em uma lista das possíveis causas a serem investigadas com maior profundidade. Essa lista pode ser originada de uma seção de *Brainstorming* com o auxílio das ferramentas da qualidade. As ferramentas sugeridas para essa etapa são: Diagrama Espinha de Peixe, Análise da Árvore de Falhas e Cinco Porquês. Essas ferramentas tem como objetivo auxiliar a identificação das possíveis causas do problema.

#### 2.2.4.2 Verificação das reais causas

Para se compreender melhor o problema e as suas causas, é necessário fazer uma análise mais profunda dos dados obtidos até esse momento. Nessa etapa verifica-se se as possíveis causas são realmente causas raiz do problema. Também deve se avaliar quais causas possuem maior contribuição para o surgimento do

problema, pois normalmente há mais de uma causa envolvida. Essa análise deve ser feita de acordo com um procedimento da montadora, a fim de se garantir a qualidade.

## 2.2.5 Desenvolvimento da solução

### 2.2.5.1 Proposta de uma solução para o problema

Essa fase geralmente é executada em paralelo com a verificação das reais causas, para se ganhar agilidade na entrega de uma solução final. Conforme mencionado por Baptista (2011) em seu trabalho sobre análise de causa raiz, é importante averiguar se as soluções propostas não criam novos problemas e se de fato previnem a recorrência do mesmo. As soluções devem então ser comparadas através de um *Business Case* (Análise de Rentabilidade), a fim de avaliar a viabilidade financeira e qual delas permite um maior retorno em termos monetários. Caso uma campanha seja necessária, o seu material deve ser preparado nessa etapa.

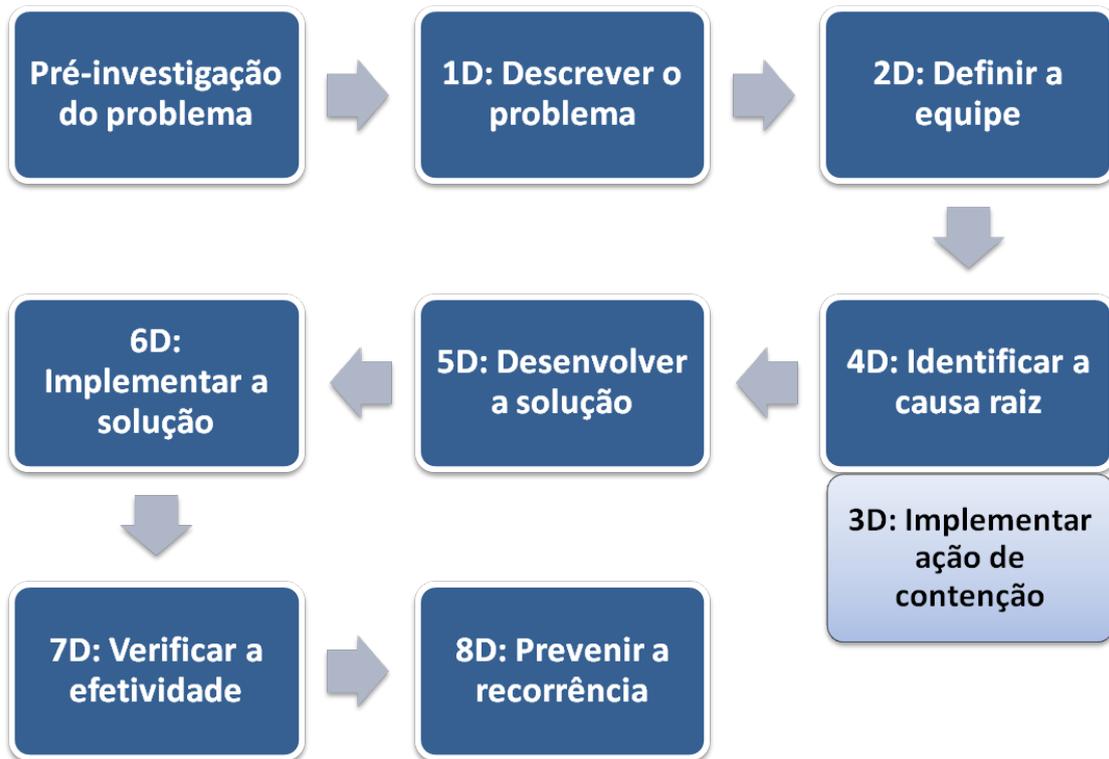
## 2.2.6 Implantação da solução final

Essa etapa compreende a preparação para as mudanças na produção e a implantação de fato. Deve-se registrar o *Breakpoint*, ou seja, quando o item velho deixou de ser produzido e a solução foi inserida na produção. Também se deve garantir que há peças de reposição disponíveis no pós-venda.

### 2.2.6.1 Mercado pronto

Essa condição denota que a solução está completamente implantada na produção e no pós-venda. Com isso considera-se que a solução está pronta e disponível ao cliente. Portanto o QJ pode ser encerrado.

A Figura 2 representa um fluxograma do Processo *Quality Journal* segundo Larsson e Norén (2011).



**Figura 2 - Desenho Esquemático do *Quality Journal***  
**Fonte: Autoria Própria**

### 2.3 Avaliação de problemas

Como apresentado na justificativa, há mais problemas do que pessoas com tempo suficiente para resolvê-los. Assim se faz necessário uma priorização, para identificar quais problemas são mais críticos. Dessa forma, nessa etapa da fundamentação teórica, expõem-se como os problemas são avaliados para sua priorização.

Normalmente para se avaliar problemas são estabelecidos primeiramente critérios. De acordo com Roy e Bouyssou (1993), critério é uma função que associa cada ação a um valor que demonstra sua oportunidade conforme produtos relacionados ao mesmo ponto de vista. Por exemplo, o critério de gravidade de um problema considera os seguintes valores: 1 (baixa gravidade), 2 (média gravidade) e 3 (alta gravidade).

Junior (2006) explica que após levantar um conjunto de critérios consistente com o contexto da decisão, deve-se separar os critérios meios dos critérios

fundamentais. Segundo ele, é nessa etapa que se define os critérios que ajudam a alcançar outros critérios e aqueles que são importantes porque direcionam para o que realmente deseja-se alcançar. Por exemplo, reduzir horas trabalhadas a primeira vista parece um critério importante, mas ele pode ser importante somente porque permite passar mais tempo com a família. Assim, “reduzir horas trabalhadas” é o critério meio, enquanto “maximizar tempo com a família” é o critério fundamental.

De acordo com Larsson e Norén (2011), os típicos critérios utilizados na avaliação de projetos são os seguintes:

- Desempenho do processo;
- Potencial de economia de custos;
- Impacto na satisfação do consumidor;
- Complexidade técnica;
- Complexidade organizacional;
- Disponibilidade de recursos humanos;

Segundo Castro (2010), uma vez identificados os critérios, deve-se analisar a relevância de cada critério. Essa relevância é representada através dos pesos atribuídos a cada critério, isto é, deve-se ponderá-los.

Uma ferramenta que trabalha utilizando essa lógica é o FMEA, uma metodologia de Análise de Modos de Falhas e seus Efeitos. FMEA é uma ferramenta de tomada de decisão para priorizar ações corretivas a fim de melhorar o desempenho de produtos ou sistemas eliminando ou reduzindo a frequência de falha (PRICE et al., 1992).

Segundo Vinodh e Santhosh (2012) FMEA considera três critérios (*inputs*) que determinam prioridade de risco (*output*). Os critérios são severidade (S), que considera a severidade dos problemas se a falha ocorrer; ocorrência (O), que está ligada a probabilidade de frequência de falha e detecção (D), que está relacionada a probabilidade da falha ser detectada antes que a consequência dela seja percebida. Multiplicando cada um desses itens, chega-se ao RPN (Número de Prioridade de Risco), que é um coeficiente que determina a prioridade de risco. Quanto maior o RPN, maior a chance de falha e conseqüentemente exige-se maior prioridade na solução. A Figura 3 apresenta um exemplo de análise FMEA de um sistema de iluminação.

Sistema/Serviço: Circuito de iluminação					Criticidade			
Descrição	Função	Modo	Efeito da falha	Causas	Ocorrência	Severidade	Detecção	C
Interruptor	Fechar circuito	Oxidação	Contato não fecha	Material inadequado	1	6	5	30
Lâmpada	Iluminar	Queimada	Não ilumina	Sobre tensão	5	10	1	50
Fonte	Fornecer energia	Falta energia	Não ilumina	Baixa carga	4	5	4	80
Fusível	Proteger circuito	Queimado	Não conduz Não ilumina	Sobre corrente	1	10	1	10

**Figura 3 - Exemplo da planilha do FMEA para um Circuito de Iluminação**

Fonte: Adaptado de Fernandes (2014).

Os valores para um dos itens podem ser ponderados conforme a escala desejada, porém eles devem ser maiores do que zero. Normalmente utilizam-se critérios de 1 a 10, onde, no caso do critério de severidade, 1 representa nenhuma severidade, isto é, não haverá consequência se a falha ocorrer ou apenas um pequena inconveniente ao operador, ao passo que 10 representa perigo sem aviso, assim a falha pode pôr em perigo o operador sem aviso.

Outra ferramenta de avaliação de problemas de qualidade é o *C-value*, utilizada pela montadora de veículos da Região Sul. Ele foi desenvolvido a fim de avaliar a criticidade levando em consideração três aspectos: influência do consumidor, influência do mercado e influência geral da empresa. O consumidor é influenciado por um problema individual em um veículo, o mercado é afetado pelo número de veículos defeituosos em relação ao número total de veículos vendidos e a empresa como todo é influenciada pela frequência de falha.

Por motivos de sigilo, a fórmula do *C-value* não será apresentada, apenas se discorrerá sobre os itens que ela considerada. Ela é definida considerando os cinco itens descritos a seguir:

1. Número total estimado de veículos por ano que serão afetadas;
2. Número total de veículos produzidos por ano para o determinado modelo de chassi em que o problema se apresenta;
3. Grau de severidade do problema. Esse item apresenta a seguinte escala crescente:
  - a. Demanda um pequeno reparo.

- b. Uma ação será necessária na próxima manutenção.
  - c. Não cumpre a legislação sendo necessária ação de correção antes da próxima manutenção.
  - d. Parada não planejada, problema relacionado a imagem da marca perante ao clientes ou impacto ao meio ambiente.
  - e. Risco à segurança.
4. Custo médio estimado de reparo;
  5. Influência do mercado. Esse item considera o número de veículos que apresentam o problema em relação ao número total de veículos em determinado mercado, calculado em porcentagem.

Como várias metodologia e técnicas de solução de problemas de qualidade tiveram sua origem no exército norte americano, como por exemplo a metodologia 8D e o FMEA, buscou-se soluções para avaliação de problemas nos documentos militares. Encontrou-se o MIL-STD-1629A do *Department of Defence* (1980), que é um padrão de procedimentos para avaliação do modo de falha, efeitos e criticidade. Ele é o documento base para formulação do FMEA. Ele define um número de criticidade para cada item, o *Criticality Number* (Cr) (Equação 1). O Cr é definido como o somatório do Cm, que é o número de criticidade para cada modo de falha (Equação 2).

$$Cr = \sum_{n=1}^j (Cm)n \quad (1)$$

$$Cm = \beta \alpha \lambda_p t \quad (2)$$

Onde:

$\beta$  = probabilidade de deixar de operar sabendo que o modo de falha ocorreu;

$\alpha$  = taxa de modo de falha. É a probabilidade, expressa em número decimal, que a peça vai falhar em um modo de falha específico;

$\lambda_p$  = taxa de falha do componente;

t = tempo expresso em horas ou número de ciclos.

## **2.4 Critérios para avaliar problemas na indústria automotiva**

A seguir serão descritos alguns critérios peculiares para descrever problemas da indústria automotiva.

### **2.4.1 Riscos a segurança**

A qualidade de um veículo não é mensurada somente pela sua estética, conforto e durabilidade, mas sim cada vez mais pela sua segurança. Esse é um dos principais fatores que a indústria automotiva leva em conta na concepção de seus veículos (UDUMA, 2000).

Segundo Ogando (2003), cada vez mais a segurança é um fator que influencia o cliente na sua decisão de compra.

De acordo com o Atlas da Acidentalidade no Transporte Brasileiro (2014), no ano de 2012 ocorreram 184.489 acidentes de trânsito nas estradas brasileiras, envolvendo mais de 380.914 pessoas. Uma das principais causas dos acidentes apresenta nesse estudo foram os defeitos mecânicos nos veículos.

Desta forma, problemas que podem comprometer a segurança do usuário do veículo possuem alta gravidade, portanto devem ser considerados com a mais alta prioridade para serem solucionados.

### **2.4.2 Não conformidade com requisitos legais**

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabeleceu em 2008 por meio da resolução n. 403 novos limites máximos de emissão de poluentes para veículos pesados fabricados a partir de 2012. Essa etapa, denominada P-7, do Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi baseada na norma europeia de controle de emissões Euro 5 e estabelece limites para a emissão de Monóxido de Carbono, Hidrocarbonetos Totais, Óxidos de Nitrogênio, Hidrocarbonetos não metano e Material Particulado (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2008).

O fabricante é obrigado a manter as respectivas emissões dentro dos limites do PROCONVE por cento e sessenta mil quilômetros rodados do veículo ou o prazo de cinco anos, o que se suceder primeiro.

A fim de cumprir com esse requisito legal, o fabricante deve garantir que problemas de qualidade não afetem a capacidade do veículo em se enquadrar nos requisitos dessa norma.

Além disso, a capacidade de frenagem, o nível de pressão sonora emitido pelo veículo, os sistemas de iluminação e sinalização dentre outros fatores devem estar dentro dos requisitos estabelecidos pelo Conselho Nacional de Transito – CONTRAN (2009).

#### 2.4.3 Ocorrência de parada não planejada

Segundo Ljungberg (1998), a indisponibilidade pode ser mensurada e classificada de diversas formas. Ericsson e Dahlén (1993) dividiram a indisponibilidade em dois grupos, as paradas planejadas e não planejadas.

As paradas não planejadas são aquelas que ocorrem de forma inesperada, muitas vezes imobilizando o veículo durante a sua operação.

Conforme sejam as condições que o veículo se encontra, esse tipo de parada pode acarretar um risco à segurança. As paradas não planejadas devem ser evitadas a qualquer custo, pois impactam significativamente o cliente tanto em termos financeiros quanto na sua satisfação com o produto.

#### 2.4.4 Frequência de falha

A frequência de falha descreve quantas vezes a falha ocorreu em uma determinada população durante um período estipulado de tempo. A Equação 3 representa esse valor.

$$FF(t) = \frac{F(t)}{N(t)} 100 \quad (3)$$

Onde  $F(t)$  é o número de falhas reportadas para um certo modo de falha no período  $t$  e  $N(t)$  é a população total que está em campo nesse período.

Na indústria automotiva se utilizam intervalos de tempo padronizados para que a comparação das frequências seja possível e para se ter um panorama da

evolução da falha ao longo do tempo. Valores usuais de tempo utilizados são os últimos 6, 12 e 24 meses.

Esse é um dos critérios sugeridos por Vinodh e Santhosh (2012) para avaliar a criticidade de diversas situações.

#### 2.4.5 Custos de Garantia

Segundo Attardi et al. (2005) normalmente todos os reparos realizados em concessionários autorizados durante o período de garantia são registrados em um banco de dados. Desta forma, os dados de garantia são fontes preciosas de informação sobre o comportamento do produto e podem ser utilizadas para a detecção precoce de altas frequências de falha.

Cada reparo implica em custos para a empresa em termos de material e de mão de obra. Para se avaliar o impacto financeiro nos custos de garantia deve se considerar o valor total dispendido em cada reparo.

#### 2.4.6 Confiabilidade

De acordo com Benbow e Broome (2008), confiabilidade é a probabilidade de um item executar a sua função sem falhas sob determinadas condições e por um período determinado de tempo.

O estudo da confiabilidade vem ganhando importância para assegurar que o produto atenda as expectativas dos consumidores. É esperado que o bem adquirido funcione sem apresentar problemas durante toda a sua vida útil, e não somente no momento da entrega. Um componente crítico do veículo, como o do sistema de freio, que tenha baixa confiabilidade pode vir a causar riscos à segurança dos usuários.

Ainda segundo Benbow e Broome (2008) comentam que falhas no produto resultam em consequências financeiras ao consumidor. Estas podem vir a ser repassadas ao fabricante por meio da utilização da garantia, cancelamento de negócios futuros, dano a imagem da empresa e processos na justiça. Portanto, melhorar a confiabilidade de um sistema leva a uma diminuição das falhas e portanto dos custos atrelados a elas.

#### 2.4.6.1 Aplicação da distribuição de Weibull

Tendo posse dos dados das falhas, deve-se encontrar uma distribuição de probabilidade que os melhor representem. Isto é necessário para compreender adequadamente as informações recebidas e avaliar o tempo até a falha nos produtos e processos. (BENBOW; BROOME, 2008)

Para isto, primeiramente deve-se classificar os dados das falhas em completos ou censurados. Normalmente os dados obtidos são censurados, ou seja, não se tem a informação exata de quando as falhas ocorreram.

Esses dados podem ser censurados a direita, também chamados de suspensos, censurados no intervalo ou censurados a esquerda. Os dados suspensos são aqueles que ainda não falharam no momento da análise. Os censurados no intervalo são os que falharam dentro de um intervalo de tempo, entre duas verificações. Os dados censurados a esquerda são os que falharam antes do ponto de verificação, porém não há uma verificação anterior a essa para delimitar um intervalo (O'CONNOR; KLEYNER, 2012).

Conhecendo o tipo dos dados que se está lidando, deve-se ordenar os valores, isso significa, estimar qual parcela da população está representada por cada amostra. Para isso, é calculado o ranking das medianas, ou seja, qual é o percentual acumulado da população representado por uma dada amostra com 50% de confiança.

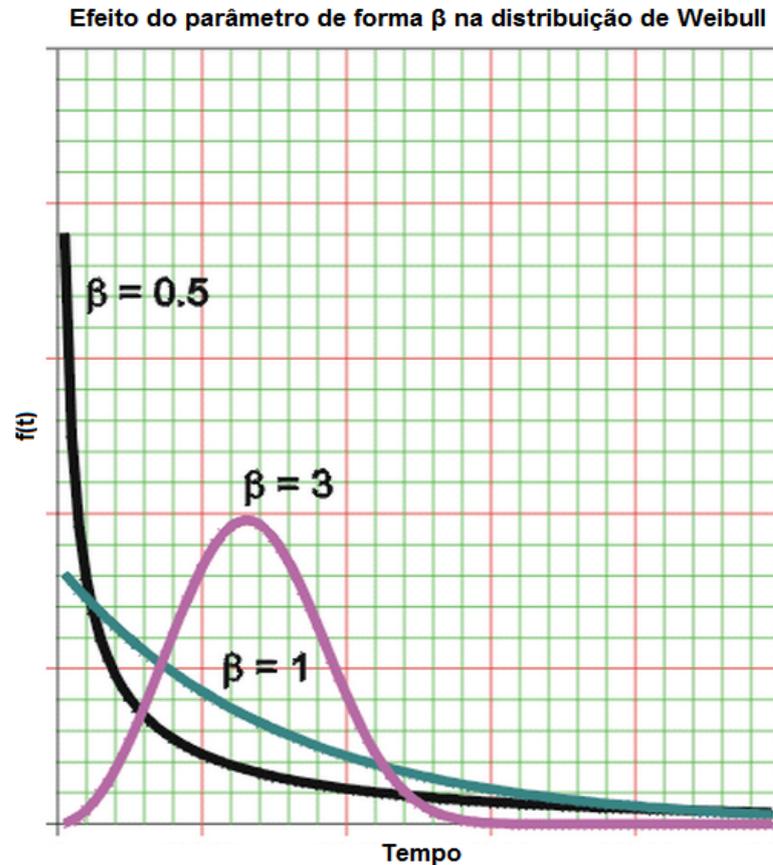
Entretanto, deve-se levar em conta a influência dos dados censurados nesse ranking. Por exemplo, um item suspenso não aparece como um ponto no gráfico, mas a sua existência afeta o ranking dos demais pontos existentes. Para isso, calcula-se o ranking ajustado das medianas.

Após se obter esses dados, deve-se encontrar uma distribuição contínua que melhor os represente.

As distribuições discretas são as baseadas em variáveis aleatórias que podem assumir somente valores inteiros ou isolados e distintos. As distribuições contínuas são baseadas em variáveis aleatórias que podem assumir infinitos valores em um intervalo finito (BENBOW; BROOME, 2008).

A distribuição de Weibull é contínua e pode apresentar vários aspectos dependendo do parâmetro de forma ( $\beta$ ), como pode ser observado no Gráfico 1. Por isso, essa distribuição é adequada para representar diversas curvas de dados. Isso

faz com que essa distribuição seja uma ferramenta extremamente flexível para tratar problemas de confiabilidade.



**Gráfico 1 - Efeito do parâmetro de forma  $\beta$  na distribuição de Weibull**  
Fonte: Adaptado de ReliaSoft (2002)

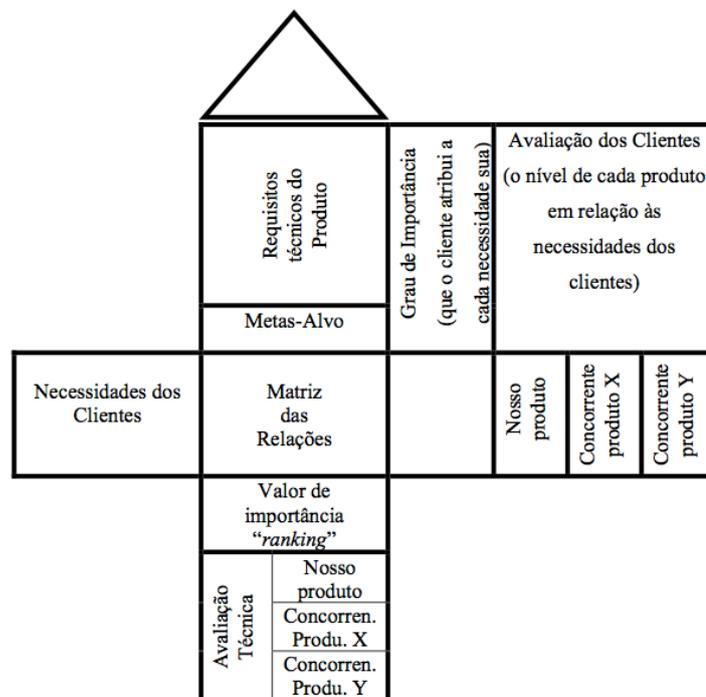
Para adequar os dados a uma função de confiabilidade, O'Connor e Kleyner (2012) citam que as duas técnicas mais utilizadas pelos softwares de análise de dados são o Método dos Mínimos Quadrados, que é uma regressão linear, e da Máxima Verossimilhança (MLE), que se baseia na função de verossimilhança da amostra, a qual expressa a probabilidade de se obter um conjunto de dados a partir de um determinado modelo de distribuição.

## 2.5 Método QFD – Desdobramento da função qualidade e a comparação par-a-par

O QFD é considerado um método importante para o desenvolvimento do produto. Ele é voltado para a tradução dos requisitos do cliente em atividades de desenvolvimento de produto (CARNEVALLI; MIGUEL, 2007).

Atualmente a casa da qualidade é uma das ferramentas mais utilizadas para implantar o desdobramento da função qualidade, contendo diversas matrizes, listas e tabelas de suporte em cada uma de suas etapas. A conversão dos requisitos do cliente em características do produto é auxiliada por correlações ponderadas que conectam o conteúdo das diversas matrizes e tabelas. (SCHMITT, 2013)

A Figura 4 representa os elementos da casa da qualidade mais utilizados na prática pelas organizações (ESTORILIO, 2008).



**Figura 4 - Alguns dos elementos mais utilizados da Casa da Qualidade**  
**Fonte: Estorilio (2008)**

A fim de ponderar a importância de cada um dos itens na primeira etapa da casa da qualidade, Schmitt (2013) sugere fazer uma comparação par-a-par (*Pairwise Comparison*), a qual será descrita abaixo.

Inicia-se a análise pela primeira linha, comparando-a com a primeira coluna. Se o item possuir peso maior que o outro atributo, o número "2" deve ser escrito na

matriz. Em caso de mesma importância e de importância menor, os números “1” e “0” devem ser escritos respectivamente. Assim procede-se de coluna a coluna até ter a linha totalmente preenchida. Por fim, soma-se a linha, preenchendo a coluna Soma  $S_i$  e repete-se o mesmo procedimento para a próxima linha. A Figura 5 ilustra o preenchimento dessa matriz.

Itens a serem comparados	Item A	Item B	Item C	Item D	Soma $S_i$	Peso $P_i$
Item A		2		1		
Item B	0					
Item C						
Item D	1					

"A" mais importante que "B"  
 "B" menos importante que "A"  
 "A" e "D" possuem a mesma importância  
 Preencher a soma das linhas  
 Calcular o peso de cada item

**Figura 5 - Exemplo de preenchimento da comparação par-a-par**  
**Fonte: Adaptado de Schmitt (2013)**

No fim, com a posse da coluna Soma  $S_i$  totalmente preenchida, deve-se aplicar a Equação 4 para obter a ponderação de cada item:

$$P_i = Rd \left( 9 \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} + 1 \right) \quad (4)$$

Onde  $P_i$  é o peso do item  $i$ ,  $S_i$  é a soma da linha,  $S_{max}$  é a soma máxima das linhas,  $S_{min}$  é a soma mínima das linhas e  $Rd$  indica que deve-se utilizar o número inteiro resultante.

Aplicando essa formula a ponderação obtida será de 1 a 10.

## 2.6 Análise SWOT

A análise SWOT é uma ferramenta utilizada para embasar tomada de decisões na gestão de uma organização. O termo SWOT vem do inglês, representada sob o

acrônimo das palavras Forças (*Strenghts*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*).

Nessa ferramenta deve-se enumerar os pontos do objeto analisado dentro de cada uma das 4 categorias. Essas categorias são divididas em dois grandes grupos: as capacidades internas (fatores endógenos) e as possibilidades externas (fatores exógenos).

De acordo com Vieira et al. (2010), essa ferramenta permite ao gestor a possibilidade de maximização dos pontos fortes, minimização dos pontos fracos, aproveitar-se das oportunidades e proteger-se dos ameaças. A Figura 6 apresenta um exemplo de matriz SWOT.

SWOT	Positivos	Negativos
<b>Internos (Organização)</b>	<b>PONTOS FORTES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ponto Forte 1</li> <li>- Ponto Forte 2</li> <li>- Ponto Forte 3</li> <li>- Ponto Forte N</li> </ul>	<b>PONTOS FRACOS:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ponto Fraco 1</li> <li>- Ponto Fraco 2</li> <li>- Ponto Fraco 3</li> <li>- Ponto Fraco N</li> </ul>
<b>Externos (Ambiente)</b>	<b>OPORTUNIDADES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oportunidade 1</li> <li>- Oportunidade 2</li> <li>- Oportunidade 3</li> <li>- Oportunidade N</li> </ul>	<b>AMEAÇAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ameaça 1</li> <li>- Ameaça 2</li> <li>- Ameaça 3</li> <li>- Ameaça N</li> </ul>

**Figura 6 - Exemplo de Matriz SWOT**

Fonte: Vieira et al. (2010)

### 3 METODOLOGIA

Essa etapa do trabalho visa descrever a metodologia que será aplicada na realização do presente trabalho. Para isso, será descrita cada etapa do trabalho e a justificativa dos métodos escolhidos. Por fim, são descritos os produtos esperados desse projeto.

#### 3.1 Descrição da Metodologia

A fim de um melhor embasamento, percebeu-se a necessidade de uma pesquisa teórica em ferramentas de solução da qualidade. Para tanto, uma ampla revisão da literatura sobre o tema foi realizada. Também, considerou-se importante conhecer quais métodos são utilizados na prática pela indústria. Para isso, decidiu-se estudar o sistema de resolução de problemas que é utilizado pela montadora de veículos pesados da região Sul. Destaca-se como referência nessa fase, a dissertação de Larsson e Norén (2011), que compara a ferramenta QJ, utilizada atualmente pela montadora, com ferramentas clássicas da qualidade. Para tanto, eles fizeram uma descrição criteriosa da ferramenta QJ, sendo, dessa forma, uma das referências básicas para a elaboração do presente trabalho.

Buscou-se ainda, como fonte de informações, métodos utilizados pelo exército estadunidense para resolução de problemas. A motivação para tal busca se deu pelo fato que a indústria bélica possui um nível de qualidade muito alto, especialmente em aplicações como aeronaves, mísseis e armas nucleares (DEPARTMENT OF DEFENCE, 1980). Além disso, importantes ferramentas da qualidade, como o FMEA e o 8D, possuem a sua origem em padrões de procedimentos do exército norte-americano (LARSSON; NORÉN, 2011).

Uma vez que o embasamento teórico estava bem sedimentado, o próximo passo foi fazer uma análise dos critérios atuais utilizados pela montadora, que são os parâmetros de entrada do índice de criticidade *C-value*. Para tanto, uma análise SWOT do *C-value* foi realizada. Comparativamente, também foram vistos outros índices encontrados na literatura, como o utilizado pelo FMEA e o *Criticality Number* (Cr) do padrão militar norte-americano. O uso dessa ferramenta serviu para detectar as forças e fraquezas dos índices. A razão para o uso da análise SWOT foi o fato de

Larsson e Norén (2011) também terem a utilizado para obter um melhor entendimento do QJ e descobrir áreas de melhoria. Com base nisso, foi discutida a necessidade da introdução de novos critérios, que podiam vir a melhor traduzir a criticidade dos problemas.

Seguindo a metodologia de avaliação de problemas apresentada no embasamento teórico, e de posse dos critérios escolhidos, foi feita a ponderação do mesmos. Para isso, foi utilizada a metodologia *Pairwise Comparison*, também utilizada pela metodologia *Quality Function Deployment* (QFD). Essa metodologia permite atribuir uma ponderação para cada critério de forma sistemática. Optou-se pelo seu uso, porque nela o avaliador compara um par de critérios por vez, evitando assim o favorecimento dos critérios.

Como resultado da análise, foi proposto um novo índice de criticidade para avaliação de problemas de qualidade no pós venda na indústria automotiva. Esse índice é um valor numérico calculado por uma equação que é constituída por múltiplas variáveis de entrada. Cada variável representa o problema sob a ótica de um critério de avaliação, como o número de falhas ocorridas ou o custo de cada reparo, por exemplo. O peso de cada variável dessas no índice é obtido na etapa anterior pela comparação par-a-par pela Equação 4. Com isso, a partir de múltiplos critérios a equação permitiu calcular um único valor que descreve a criticidade do problema.

Por fim, para avaliar a aplicabilidade desse novo índice, foram selecionados problemas reais da montadora de veículos da região Sul. A fim de se aproximar o melhor possível da realidade e testar os critérios nos casos limiares entre a abertura ou não de um QJ, foram selecionados casos com diferentes níveis de criticidade. Uma vez de posse desses casos, o novo índice foi aplicado. Com isso, foi verificado se a criticidade dos problemas conforme a visão da indústria era corretamente representada.

Ao longo de todo o desenvolvimento do projeto, foram feitas reuniões periódicas com engenheiros de qualidade da montadora de veículos da região Sul a fim de se ter um contato com as práticas da indústria e ter um *feedback* de profissionais com ampla experiência na área.

A Figura 7 representa um fluxograma das etapas da metodologia que foi desenvolvida.

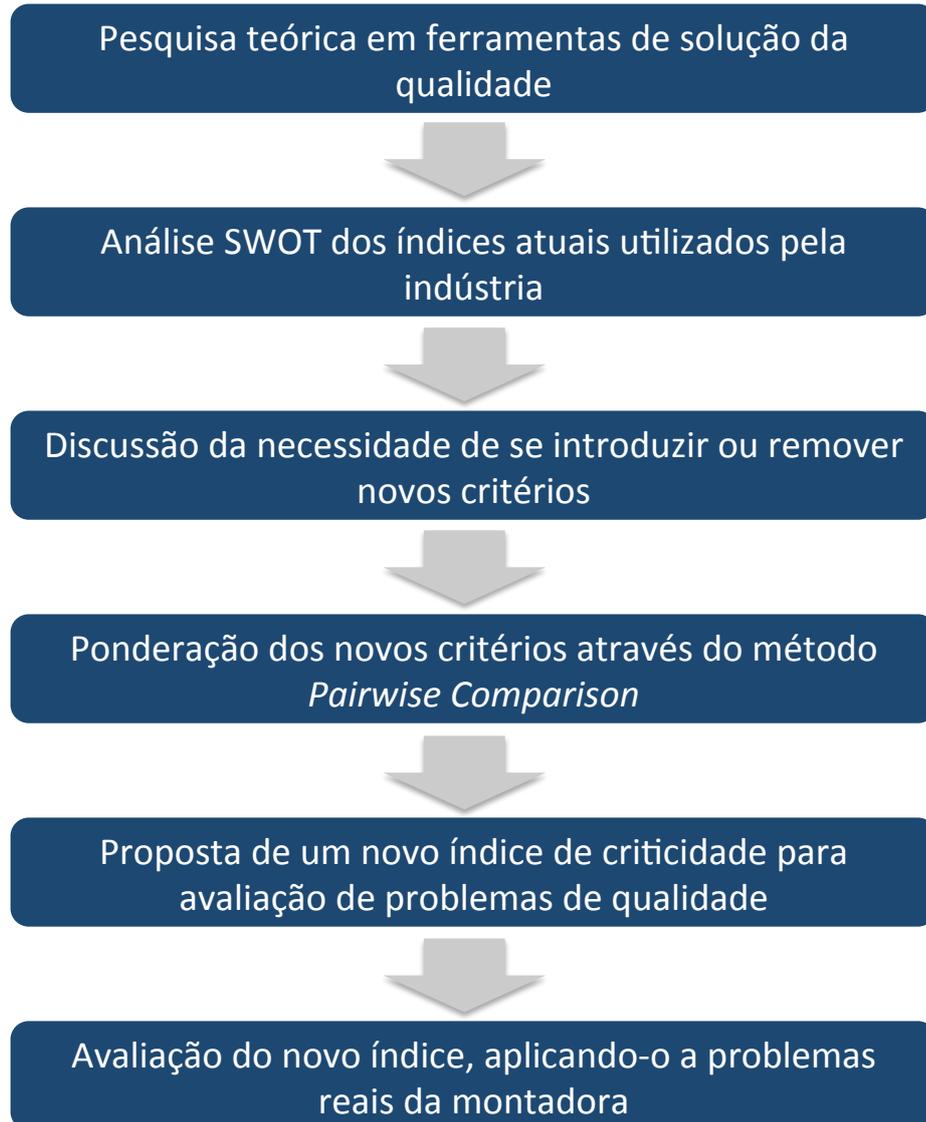


Figura 7 - Desenho Esquemático da Metodologia  
Fonte: Autoria Própria

### 3.2 Produtos do Projeto

Como resultado desse trabalho, é apresentada uma compilação dos conhecimentos teóricos necessários para se compreender os critérios de avaliação de problemas de qualidade empregados na indústria. Essa base teórica atualmente se encontra em grande parte dispersa em várias fontes de conhecimento. Portanto, a sua apresentação de forma unificada propicia o acesso fácil ao conhecimento necessário para se compreender a avaliação dos critérios, servindo como literatura base para quem está iniciando nessa área de trabalho.

Essa parte também permite o conhecimento de índices de criticidade de referência que são utilizados na indústria, como o aplicado por fornecedores do exército americano e pela montadora de veículos pesados da região Sul.

Por fim, propôs-se um novo índice de criticidade para melhorar a avaliação dos problemas de qualidade em comparação com os métodos empregados atualmente. Esse índice visa agregar os pontos positivos dos critérios atuais e corrigir as suas fraquezas. Com isso, as empresas que não possuem um índice para avaliação ou que o considerem superior ao seu método atual podem se utilizar dessa ferramenta para avaliar os seus problemas de qualidade e definir prioridades em seus fluxos de trabalho.

## 4 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE CRITICIDADE ATUAIS

No presente capítulo, é realizada a análise dos critérios atuais através da ferramenta SWOT. A partir do cenário apresentado, foram identificadas oportunidades de melhoria.

### 4.1 Análise SWOT dos Índices de Criticidade

Como apresentado no terceiro capítulo, a primeira etapa da concepção do novo índice de criticidade é realizar uma análise SWOT do *C-value*, a fim de identificar oportunidades de melhoria e suas deficiências. Também deve ser incluída nesse exame uma comparação com o FMEA e o *Criticality Number* (Cr), com o intuito de identificar possíveis áreas de aprimoramento e pontos não cobertos pelo *C-value*.

#### 4.1.1 Análise SWOT do *C-value*

Na presente análise, características e fatores encontrados através da pesquisa teórica, apresentada no início deste trabalho, foram categorizados dentro dos seguintes campos: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para o critério *C-value*.

##### 4.1.1.1 Forças

Uma das forças desse índice é o fato dele ser originalmente desenvolvido pela indústria automobilística. Dessa forma, ele apresenta critérios específicos para esse tipo de problema, como o custo médio de reparo, a influência do mercado e a frequência de falha. Assim, ele é capaz traduzir peculiaridades dos problemas da indústria automobilística que outros índices não considerariam.

Outro ponto forte do *C-value* é o fato dele dividir os critérios em duas categorias: qualidade e quantidade. Os critérios relacionados à qualidade, como o grau de severidade, são avaliados num termo separado na fórmula. Os critérios

atinentes à quantidade, como o número total de veículos por ano que serão afetados, são analisados em outro termo. Em poucas palavras, cada categoria de critérios se mantém independente na fórmula. Assim, se um dos critérios de uma categoria for pequeno, não diminuirá a criticidade da outra categoria.

De forma prática, isso significa, por exemplo, que, se um problema tiver os critérios relacionados à qualidade não representando grande criticidade, mas o problema for encontrado numa quantidade grande de veículos, o índice poderá ser alto devido à independência das categorias.

#### 4.1.1.2 Fraquezas

Uma debilidade desse índice é o fato dele não apresentar critérios relacionados à detecção do problema. Dessa forma, ele não avalia a probabilidade de detectar uma falha antes que ela ocorra, como faz o FMEA e o *Cr*. Esses índices avaliam qual a chance de se identificar o problema antes que a consequência dele seja percebida.

A ideia se mostra extremamente benéfica quando implementada na indústria automobilística. Isso porque, nessa área, existem problemas que podem ser percebidos pelo usuário quando em operação e outros que não são perceptíveis. Essa peculiaridade deve ser levada em consideração quando se avalia uma falha. Um problema cuja detecção prévia pelo usuário é nítida deve ser analisado com menor criticidade se comparado a uma falha cuja percepção é impossível, isto é, uma falha silenciosa.

Além da facilidade de detecção pelo usuário, outro ponto da indústria automobilística relacionado à probabilidade de detectar um problema, é a frequência com que determinado item é inspecionado durante a manutenção periódica. Um item que é periodicamente checado tem uma criticidade menor do que aquele que raramente é inspecionado, pois, neste caso, se ocorrer um indício de falha, ele não será percebido pelo mantenedor.

Outro ponto não coberto pelo *C-value* é a confiabilidade do componente ou do sistema analisado. Como apresentado anteriormente, no embasamento teórico, através da análise da confiabilidade, é possível saber qual a probabilidade de um componente ou sistema falhar em determinadas condições por determinado tempo.

Assim, pode-se avaliar se a falha de um dado componente está dentro da previsão de confiabilidade para aquele tempo e condições de operação.

#### 4.1.1.3 Ameaças

Por não considerar alguns critérios, como a probabilidade de detecção e a confiabilidade, a avaliação de criticidade do *C-value* pode ser errônea.

Um problema cuja probabilidade de detecção é extremamente baixa, tanto para usuário quanto para o mantenedor, pode ser classificado como de pouca criticidade pelo *C-value*. Porém, se essa dificuldade de detecção fosse considerada, o problema teria sido classificado com uma criticidade superior.

O fato de não se considerar a confiabilidade também pode representar uma ameaça. Isso porque o *C-value* leva em conta somente a quantidade de veículos que já falharam, não considerando a possibilidade dessas falhas virem a ocorrer no futuro. Com a análise da confiabilidade, seria possível ter uma perspectiva de quantas falhas irão ocorrer até uma determinada condição, retratando assim o cenário futuro desse problema.

#### 4.1.1.4 Oportunidades

Devido à grande expertise da indústria automobilística em relação a problemas de qualidade de campo, o *C-value* foi concebido com uma fundamentação sólida para tratar de problemas automobilísticos. Além disso, a indústria automobilística tem um grande registro de falhas, de forma que é possível levantar os dados estatísticos necessários para os critérios que o compõem esse índice de criticidade.

Todavia, as ideias que constituem o *C-value* são facilmente aplicáveis a situações semelhantes de outras indústrias. Desse modo, fica evidente que, com uma pequena modificação, os princípios desse índice podem ser utilizados na avaliação de problemas de outros tipos de indústrias.

## 4.2 Identificação de Oportunidades de Melhoria

A partir da análise SWOT do *C-value*, é possível identificar as oportunidades de melhoria e reforçar seus pontos positivos.

Primeiramente, através da comparação com FMEA e *Cr*, constatou-se uma ausência de critérios relacionados à probabilidade de detecção de falhas. Sendo assim, a inclusão de um ou mais critérios relacionados a esse conceito seria positiva, pois traduziria um real aspecto dos problemas de pós-venda da indústria automobilística.

Também se mostraria favorável a inserção de um ou mais critérios relacionados à confiabilidade, a qual não é considerada pelo índice em análise. Isso permitiria ter uma perspectiva futura dos problemas, pois, através de dados presentes, é possível prever a dimensão que a falha irá tomar caso o problema causador não seja tratado.

Por outro lado, o *C-value* apresenta pontos positivos que devem ser ressaltados. Um deles é presença de critérios direcionados à indústria automobilística.

Outro ponto favorável é a distribuição dos critérios na fórmula. Ao invés de uma formulação que multiplica todos os critérios, como o FMEA e o *Cr*, o *C-value* agrupa os critérios em termos separados, mantendo uma independência entre eles.

## **5 DESENVOLVIMENTO DO NOVO ÍNDICE DE CRITICIDADE**

Inicia-se esse capítulo apresentado a seleção dos critérios que comporão o novo índice bem como sua justificativa para tal escolha. Posteriormente, é realizada a ponderação dos mesmos através da metodologia de comparação par-a-par. Finalmente, espana-se como o novo índice foi formulado.

### **5.1 Seleção dos critérios que comporão o novo Índice**

Seguindo as etapas da metodologia apresentada anteriormente, o próximo passo é a seleção dos critérios que comporão o novo índice de criticidade. Para tanto, as oportunidades apontadas na análise SWOT foram utilizadas como base.

Observou-se a necessidade de se introduzir critérios ligados a probabilidade de detecção de problemas. A fim de adequar essa ideia ao contexto da indústria automobilística surgiram dois possíveis critérios: facilidade de detecção do usuário e frequência de checagem durante as manutenções periódicas.

O primeiro critério está relacionado com a facilidade com que o usuário do veículo é capaz de perceber indícios da falha e com que frequência esses indícios são aparentes. Por exemplo, um problema relacionado ao platô da embreagem gera vibração ao acioná-la, sendo facilmente notada pelo motorista. Já um problema de trinca no cabeçote não gera qualquer alteração que possa ser percebida durante a condução. Esse é o tipo de falha chamada “silenciosa”, cuja criticidade é maior. Assim esse critério seria responsável por indicar essa distinção entre as falhas.

O segundo critério relacionado a probabilidade de detecção, a frequência de checagem durante a manutenção periódica, traduziria se um componente é vistoriado com frequência pelo mantenedor. Caso fosse, a criticidade relacionada a um possível problema desse componente seria baixa. Por outro lado, um item raramente ou nunca checado, corresponderia a uma criticidade alta, pois se ocorresse uma falha nele, passaria despercebida durante a manutenção.

Contudo, na prática, esse critério não se mostraria aplicável. Mesmo havendo um plano de manutenção periódica, os itens checados, no dia-a-dia da manutenção, são apenas aqueles que serão substituídos e os que forem alvo de reclamações por partes dos clientes. Assim, esse critério, de modo prático, não incluiria algum ponto

relevante para análise do problema. Essa percepção foi obtida através de relatos dos engenheiros da montadora de veículos da região Sul, durante as reuniões periódicas. Desta forma, optou-se por não incluir esse critério no novo índice de criticidade.

Além de critérios relacionados a detecção, também notou-se a necessidade de se introduzir pontos relativos a confiabilidade. Mais uma vez, essa questão foi sugerida pelos engenheiros da montadora. Por tanto, o critério confiabilidade foi incluído.

Além da introdução de novos critérios, também foram mantidos os critérios atuais do *C-value* por representarem uma fortaleza, como fora explicado na análise SWOT. Assim os critérios que compõem o novo índice são os descritos a seguir:

1. Número total estimado de veículos por ano que são afetados;
2. Frequência de falha, isto é, número total estimado de veículos por ano que são afetados dividido pelo número total de veículos produzidos por ano para o determinado modelo de chassi em que o problema se apresenta;
3. Grau de severidade do problema;
4. Custo médio estimado de reparo;
5. Influência do mercado;
6. Facilidade de detecção pelo usuário;
7. Confiabilidade do componente para o modo de falha analisado.

## 5.2 Ponderação dos Critérios Selecionados

Uma análise mais detalhada dos critérios sugere que tão importante quanto selecioná-los é ponderá-los, pois nem todos os critérios apresentam o mesmo peso na avaliação da criticidade de um problema. Há índices, como o FMEA, que simplesmente multiplicam os critérios, sem considerar qualquer tipo de peso. Contudo, há critérios cuja relevância é notadamente superior, devendo, dessa forma, obter um peso maior.

Um exemplo claro é o grau de severidade de um problema. Fica evidente que ele representa um critério de relevância superior, pois ele engloba uma série de pontos fundamentais da avaliação de problemas da indústria automobilística, como riscos a segurança, não conformidade com requisitos legais, ocorrência de parada não planejada ou *breakdown*. Assim, seu peso, na formulação do índice, deve ser superior a critérios cuja relevância seja menos significativa.

Como descrito na metodologia, para que os critérios fossem ponderados de forma sistemática, optou-se por empregar a metodologia *Pairwise Comparison* ou comparação par a par. Nela, todos os critérios são avaliados em pares, a fim de se determinar se um critério tem relevância inferior, superior ou igual ao outro critério comparado.

A matriz de comparação foi preenchida em consenso entre os engenheiros da montadora e os alunos durante as reuniões periódicas. A Tabela 1 apresenta a matriz final com o resultado da ponderação.

**Tabela 1 - Matriz Comparação Par a Par**

	Número de Falha	Severidade	Custo Médio de Reparo	Influência de Mercado	Facilidade de Detecção	Confiabilidade	Soma Si	Peso Pi
Número de Falha	-	0	1	1	1	0	3	1,1
Severidade	2	-	2	2	2	2	10	2,0
Custo Médio de Reparo	1	0	-	1	1	1	4	1,3
Influência de Mercado	1	0	1	-	0	0	2	1,0
Facilidade de Detecção	1	0	1	2	-	1	5	1,4
Confiabilidade	2	0	1	2	1	-	6	1,5

Com o intuito de facilitar o entendimento, como foi explicado no referencial teórico, a matriz é preenchida através da seguinte lógica: se o critério em análise possuir peso maior que o outro atributo comparado, preenchesse com número “2”. Em caso de mesma importância e de importância menor, os números “1” e “0” devem ser escritos, respectivamente. Ainda, deve-se ler a matriz comparando o critério que está na linha com os demais na coluna.

Uma alteração foi feita na Equação 4 para que os critérios fossem ponderados numa escala de 1 a 2 ao invés de 1 a 10. Isto se justifica já que, futuramente, esses pesos serão utilizados como expoentes na formulação do novo índice. Dessa forma, a fim de evitar resultados demasiadamente grandes, optou-se por manter como expoente máximo 2. Contudo, essa modificação não apresenta grande impacto, uma vez que o objetivo do novo índice é a comparação relativa entre distintos problemas.

Analisando a última coluna da Tabela 1, que representa o peso final dos critérios, observa-se que a severidade foi avaliada como critério de máxima importância, ao passo que influência do mercado foi ponderada como o aspecto de menor relevância.

Ainda vale ressaltar, que os novos critérios, confiabilidade e facilidade de detecção, obtiveram relativa importância, justificando-se dessa forma seu emprego. Isto é, eles realmente representam pontos relevantes na avaliação de problemas da indústria automobilística, até mesmo superior a critérios que previamente compunham o *C-value*, como frequência de falha e influência de mercado.

### 5.3 Formulação do Novo Índice

Antes de se iniciar a formulação do novo índice, é necessário que cada critério seja traduzido numericamente para que seja introduzido na fórmula. Isto se deve ao fato de que os critérios devem ser introduzidos na fórmula com uma escala padronizada, de 1 a 5, por exemplo. Portanto, deve-se definir uma tabela de pesos para que a descrição de cada critério tenha uma correspondência numérica. A Figura 8 ilustra a função das tabelas de pesos.



**Figura 8 - Desenho esquemático função da tabela de pesos**  
**Fonte: Autoria Própria**

Dessa maneira, para cada um dos critérios uma tabela de pesos foi desenvolvida e será apresentada a seguir.

#### 5.3.1 Facilidade de Detecção

Como explicado anteriormente, para que a facilidade de detecção seja introduzida na fórmula, é necessário traduzi-la numericamente. Para tanto, a Tabela 2 foi criada especificamente para esse critério. Nela, a falha é classificada segundo dois parâmetros: se o usuário do veículo é capaz de perceber indícios da falha e com que frequência esses indícios são aparentes.

Dessa forma, a falha é classificada entre 1 e 5, na qual 1 representa uma anomalia claramente percebida e permanente, cuja criticidade é a menor possível. Por outro, se o problema não for detectável pelo usuário, cenário mais crítico de todos, a falha recebe valor 5.

**Tabela 2 - Tabela de Pesos Critério Facilidade de Detecção**

<b>Descrição</b>	<b>Peso</b>
Não percebida pelo usuário	5
Anomalia sutilmente percebida e indício da falha intermitente	4
Anomalia claramente percebida e indício da falha intermitente	3
Anomalia sutilmente percebida e indício da falha permanente	2
Anomalia claramente percebida e indício da falha permanente	1

### 5.3.2 Confiabilidade

A tabela de pesos do critério confiabilidade foi montada a partir da seguinte lógica: analisa-se a confiabilidade do componente aos 200.000 km, que é o fim do período de garantia do trem de força, que engloba o motor e transmissão do veículo, para a montadora de veículos da região Sul. Então, compara-se o valor encontrado com um valor de referência, que pode ter sido estipulado em projeto do componente ou por dados históricos para os mesmos 200.000 km. Por fim, analisa-se, percentualmente, quanto do valor real representa o valor de referência.

Por exemplo, uma peça apresenta confiabilidade esperada de 90% para a quilometragem igual a 200.000. Porém, quando se analisa a curva de confiabilidade real, observa-se que ela apresenta confiabilidade de 45% para a quilometragem de 200.000. Assim, percentualmente, a confiabilidade relativa à confiabilidade esperada o fim da garantia é de 50%, isto é,  $45/90$ . Dessa forma, esse item se enquadraria na segunda faixa da tabela de pesos (50-69%) apresentado peso 4. A Tabela 3 apresenta os pesos para o critério confiabilidade.

**Tabela 3 - Tabela de Pesos Critério Confiabilidade**

<b>Confiabilidade relativa à confiabilidade esperada no fim da garantia</b>	<b>Peso</b>
0 – 49%	5
50 – 69%	4
70 – 89%	3
90 – 94%	2
95 – 100%	1

### 5.3.3 Influência do Mercado

O critério influência de mercado também necessita de uma tabela de pesos para que possa ser introduzido na fórmula. Esse critério é classificado segundo a porcentagem de veículos afetados no mercado em que a falha ocorreu, isto é, o número de falhas sobre o número total de veículos nesse mercado. Esse critério é avaliado em nível de país. O intuito desse critério é avaliar quanto à imagem da marca estaria sendo prejudicada em determinado mercado. As faixas dos pesos foram distribuídas considerando a totalidade do mercado dividido por 5. A Tabela 4 apresenta os pesos para esse critério.

**Tabela 4 - Tabela de Pesos Critério Influência do Mercado**

Porcentagem do mercado afetado	Peso
80 – 100%	5
60 – 79%	4
40 – 59%	3
20 – 39%	2
0 – 19%	1

### 5.3.4 Custo Médio de Reparo

Ainda, há a necessidade de se criar uma tabela de pesos para o critério custo médio de reparo. Esse critério é baseado no custo médio de reparo para que a falha seja sanada, envolvendo tanto material quanto mão de obra. Os valores apresentados e suas faixas foram sugeridos pelos engenheiros da montadora durante as reuniões periódicas. A Tabela 5 apresenta as faixas de custo e seus respectivos pesos.

**Tabela 5 - Tabela de Pesos Critério Custo Médio de Reparo**

<b>Custo Médio de Reparo</b>	<b>Peso</b>
> R\$ 3.000	5
R\$ 1.000 – R\$ 2.999	4
R\$ 300 –R\$ 999	3
R\$ 100 – R\$ 299	2
R\$ 0 – R\$ 99	1

### 5.3.5 Severidade

Por fim, ainda deve-se apresentar uma tabela de pesos para o critério da severidade. Esse critério envolve uma série de peculiaridades da indústria automobilística, já expostos no item 2.4. Os casos retratados na Tabela 6 foram ordenados pelo impacto que eles causam na satisfação do cliente e conseqüentemente na percepção de qualidade da marca. Esse impacto foi determinado conforme a visão da montadora de veículos da região Sul, que também é aplicada em seu índice de criticidade *C-value*.

**Tabela 6 - Tabela de Pesos Critério Severidade**

<b>Ocorrência</b>	<b>Peso</b>
Risco a segurança	5
Parada não planejada, Danos a Imagem ou Meio Ambiente	4
Não cumprimento de requisitos legais	3
Reparo necessário na próxima ida ao concessionário	2
Pequeno reparo	1

Uma vez que há uma tabela de pesos para cada um dos critérios, parte-se para a formulação do novo índice.

Primeiramente, é necessário inserir na fórmula a ponderação dos critérios feita a partir da comparação par a par. Inicialmente, havia se considerado introduzir os pesos obtidos como coeficientes multiplicando os critérios. Por exemplo, o critério severidade seria multiplicado pelo coeficiente 2, pois seu peso na comparação par a

par foi 2, como mostrado na Tabela 3. Contudo, notou-se que se essa abordagem não restringiria esse peso apenas para critério, mas também para os demais que estivessem multiplicando-o.

Assim, optou-se por introduzir os pesos como expoentes em seus respectivos critérios. Essa abordagem se mostra preferível, pois aplica a ponderação somente ao critério considerado. Também, decidiu-se por manter o expoente máximo como 2, afim de se evitar resultados demasiadamente elevados. A Figura 9 ilustra a ideia apresentada.

$$I = C_1^{P_1} \cdot C_2^{P_2} \cdot C_3^{P_3} \cdot C_4^{P_4} \dots$$

**Figura 9 - Critérios elevados a seus respectivos critérios**

**Fonte: Autoria Própria**

Como apresentado na análise SWOT, uma força que foi detectada no *C-value* é o conceito da distribuição dos critérios em grupos na fórmula. Dessa forma, optou-se por empregar a mesma ideia no novo índice de criticidade, isto é, dividir os critérios em grupos distintos, a fim de se manter a independência entre eles. O novo índice de criticidade será composto por três grupos:

1. Grupo quantitativo: esse grupo avaliará o número de veículos que a falha analisada está afetando, em valores absolutos e relativos. Assim, ele será composto por dois *inputs*: número total estimado de veículos por ano que são afetados e frequência de falha, que representa a quantidade relativa da população que é impactada por essa ocorrência;
2. Grupo qualitativo: a função desse conjunto de critérios será avaliar atributos qualitativos da falha que está ocorrendo. Desse modo, ele englobará os critérios severidade, influência do mercado e custo médio de reparo.
3. Grupo detecção: a competência desse conjunto é avaliar a capacidade de predição do problema antes que ele assuma sua dimensão final e apresente consequências maiores. Dessa forma, ele será compostos pelos critérios confiabilidade, que prediz quantos veículos ainda irão

falhar, e facilidade de detecção do usuário, que avalia a detecção do problema antes das suas consequências finais.

A Figura 10 apresenta a formato geral do índice com os três grupos.

$$I = \left( \begin{array}{c} \text{Grupo} \\ \text{Quantitativo} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Grupo} \\ \text{Qualitativo} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Grupo} \\ \text{Detecção} \end{array} \right)$$

**Figura 10 - Formato geral do índice de criticidade**

Fonte: Autoria Própria

Com os critérios distribuídos nos grupos, deve-se passar para desenvolvimento de cada um dos grupos.

### 5.3.6 Grupo Quantitativo

Analisando esse primeiro conjunto, percebe-se que nenhum dos critérios que o comporão possuem tabelas de peso, como nos outros grupos. Isso se deve ao fato de que para este grupo optou-se por introduzir diretamente os valores numéricos dos critérios.

A inspiração para esse opção veio do *C-value*, ele também trata esses critérios quantitativos diretamente. A razão para esse opção foi de, mantendo essa estrutura, permite-se uma comparação entre critério novo e o critério atual da montadora.

O primeiro *input* que comporá esse grupo é o número total estimado de veículos por ano que são afetados. Esse valor será introduzido diretamente na fórmula, como explicado anteriormente. Contudo, ele será dividido por uma constante, a fim de fazer com ele se torne expressivo apenas acima de determinado valor. Escolheu-se utilizar o mesmo valor da constante do *C-value*, 20. Também, optou-se por não aplicar o expoente da ponderação nesse *input*, a fim de evitar valores demasiadamente grandes. Caso essas medidas não tivessem sido tomadas, mesmo um pequeno número de veículos afetados já causaria uma mudança muito expressiva no índice, fazendo o grupo quantitativo tivesse um peso excessivo.

Já o segundo *input* desse grupo, a frequência de falha, seria introduzida multiplicando o primeiro termo. Porém, como o a frequência de falha sempre será

uma valor menor ou igual a 1, deve-se somar a ela uma unidade, com o objetivo de fazer com que ela aumente o índice e não diminua-o. Ainda, foi aplicado o expoente da comparação par a par nesse termo, a fim de ponderá-lo. A Equação 5 apresenta o resultado desse grupo.

$$\text{Grupo Quantitativo} = \left(\frac{N}{20}\right) \cdot \left(1 + \frac{N}{N_{\text{Total}}}\right)^{1,1} \quad (5)$$

Onde:

N = número total estimado de veículos por ano que são afetados;

$N_{\text{Total}}$  = número total de veículos produzidos por ano para o determinado modelo de chassi em que o problema se apresenta.

### 5.3.7 Grupo Qualitativo

Diferentemente do grupo de critérios quantitativo, todos os critérios que o compõem possuem tabela de pesos. Dessa forma, a formulação desse grupo foi mais direta: os três critérios foram multiplicados entre si. Também, introduziu-se o expoente resultante da comparação par-a-par em cada um dos critérios. A Equação 6 apresenta o resultado para esse grupo.

$$\text{Grupo Qualitativo} = S^2 \cdot M \cdot C_M^{1,3} \quad (6)$$

Onde:

S = o valor do critério severidade obtido através da Tabela 6;

M = o valor do critério influência do mercado obtido através da Tabela 4;

$C_M$  = o valor do critério custo médio de reparo obtido através da Tabela 5.

### 5.3.8 Grupo Detecção

Por fim, deve-se apresentar o desenvolvimento do grupo detecção. Como o grupo qualitativo, todos os critérios do grupo apresentam uma tabela de pesos correspondente. Assim, o desenvolvimento desse grupo também tornou-se direto: os dois critérios que o compõem multiplicam-se e são elevados ao seus respectivos

pesos, obtido da comparação par-a-par. A Equação 7 apresenta o resultado para o grupo detecção.

$$\text{Grupo Detecção} = C^{1,5} \cdot F^{1,4} \quad (7)$$

Onde:

C = o valor do critério confiabilidade obtido através da Tabela 3;

F = o valor do critério facilidade de detecção obtido através da Tabela 2;

Com todos os grupos definidos, é possível apresentar a equação do novo índice de criticidade dos problemas de pós venda da indústria automobilística. A Equação 8 apresenta todos os termos agrupados.

$$I = \left(\frac{N}{20}\right) \cdot \left(1 + \frac{N}{N_{Total}}\right)^{1,1} + S^2 \cdot M \cdot C_M^{1,3} + C^{1,5} \cdot F^{1,4} \quad (8)$$

Onde:

N = número total estimado de veículos por ano que são afetados;

$N_{Total}$  = número total de veículos produzidos por ano para o determinado modelo de chassi em que o problema se apresenta;

S = o valor do critério severidade obtido através da Tabela 6;

M = o valor do critério influência do mercado obtido através da Tabela 4;

$C_M$  = o valor do critério custo médio de reparo obtido através da Tabela 5;

C = o valor do critério confiabilidade obtido através da Tabela 3;

F = o valor do critério facilidade de detecção obtido através da Tabela 2.

## **6 APLICAÇÃO DO NOVO ÍNDICE DE CRITICIDADE NOS CASOS DA MONTADORA DE VEÍCULOS**

O presente capítulo inicia-se apresentado qual foi a metodologia empregada na análise de confiabilidade dos casos selecionados. Posteriormente, são expostos os seis casos reais da montadora de veículos da região Sul que serão utilizados para testar o índice de criticidade. Para cada caso, apresenta-se uma tabela com suas características retratadas pelos valores numéricos dos critérios e o gráfico da sua análise de confiabilidade.

### **6.1 Análise de confiabilidade dos casos**

Para se avaliar a confiabilidade de um componente, deve-se ter registro da quilometragem do veículo quando ocorreu a falha e se garantir que o modo de falha analisado para um componente é único.

Deve-se ainda considerar os veículos que tiveram um componente falhado substituído e que não apresentaram falhas novamente. Esses dados são denominados suspensões.

Com base nessas informações das falhas o software Reliasoft Weibull++ possibilita a construção da curva de confiabilidade que melhor representa o componente em estudo. Esse programa permite mostrar uma representação gráfica da curva assim como calcular a confiabilidade para determinada quilometragem ou tempo de operação.

Para aferir a performance atual de um componente quanto a sua confiabilidade, recomenda-se comparar o resultado da análise atual com dados históricos do componente ou com especificações de projeto.

Não é esperado que um componente falhe durante o seu período de garantia. Por isso, a confiabilidade deve ser avaliada no fim deste período, para assegurar que a durabilidade do item está dentro do esperado.

Cada fabricante estipula um período de garantia para os seus veículos, definido em tempo ou quilometragem rodada. Em veículos pesados é comum os componentes do trem de força do veículo, categoria que inclui motor e transmissão, possuírem um período estendido de garantia.

Baseado nisso, sabendo qual é o período de garantia do componente em análise, deve-se calcular a confiabilidade para o momento do término da garantia e comparar com dados históricos ou valor especificado pelo projeto. Com isso, pode-se inferir se o componente está apresentando a confiabilidade esperada.

## **6.2 Aplicação do índice de criticidade em casos reais da montadora**

Foram analisados seis casos da montadora de veículos pesados quanto a criticidade. Os casos escolhidos retratam problemas com componentes do trem de força dos veículos, afetando diversos modelos de caminhões e ônibus. Todos são casos que foram endereçados para serem resolvidos pelo processo *Quality Journal*, e possuem níveis distintos de criticidade. Detalhes adicionais dos casos, como o modo de falha e o modelo de veículo afetado serão omitidos desse trabalho a fim de preservar a confidencialidade dos dados fornecidos pela montadora.

Foi obtido todo o material de pré-investigação dos casos que ajudaram na compreensão dos problemas e então na avaliação dos mesmos sob a ótica dos critérios definidos quando o problema foi analisado pela montadora.

Os itens serão avaliados com base nos mesmos dados históricos que foram utilizados no passado para caracterizá-los. Desta forma será possível a comparação do índice de criticidade da montadora com o proposto nesse trabalho.

Para o caso específico da confiabilidade, que não fora analisada no passado, informações como o modelo do veículo, peça causadora da falha, quilometragem da falha e descritivo do modo de falha foram obtidas do sistema de registros de garantia da montadora. Além disso, foram extraídas informações dos veículos do mesmo modelo que possuem o componente em estudo mais ainda não apresentaram falhas. Esses dados da população não falhada irão compor as suspensões na análise de confiabilidade, ou seja, são casos que até o presente momento de análise não apresentaram falhas.

Essas informações foram extraídas e compiladas em uma planilha. Então, os dados foram filtrados para se garantir que, para cada caso, está se analisando um único componente sofrendo um único modo de falha reportado. Isso é feito com base na leitura dos descritivos dos modos de falha e da peça causadora do reparo. Também se deve observar se não há nenhum veículo na tabela com algum dos

dados mencionados acima faltantes, pois isso inviabiliza a inclusão do mesmo na análise de confiabilidade.

Com base nesses dados devidamente selecionados e filtrados, análises de confiabilidade foram executadas no software Reliasoft Weibull++, utilizando-se a distribuição de Weibull e o método dos mínimos quadrados, que segundo Dillenburg (2005) é recomendado pela sua simplicidade e grande aplicabilidade em estudos de confiabilidade.

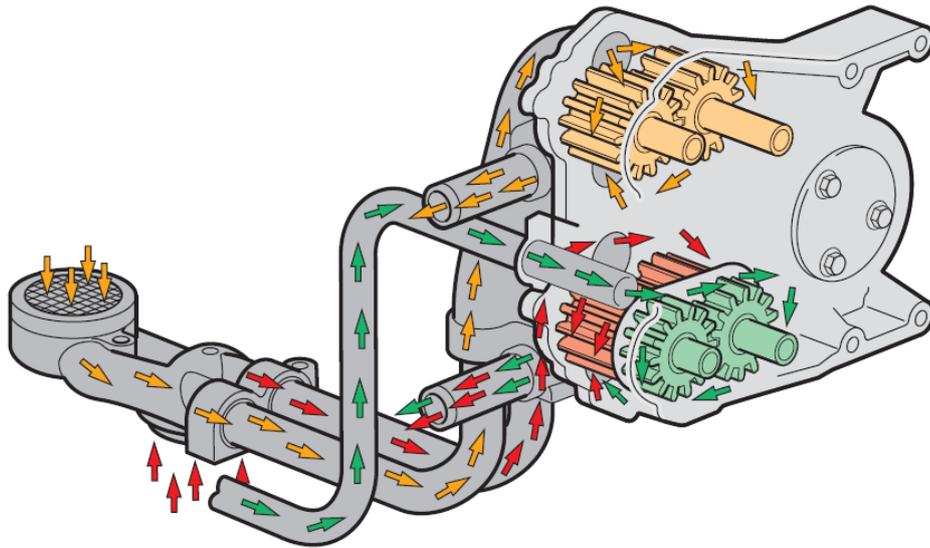
A garantia da montadora de veículos pesados em estudo é de 200.000 km para componentes do trem de força do veículo. Por isso a confiabilidade de cada um dos casos foi calculada pelo *software* para essa quilometragem.

Um breve resumo das características principais de cada caso será apresentado, com base nas informações contidas nos materiais de pré-investigação. Maiores detalhes, como o modo de falha e de qual veículo se trata o caso foram omitidos para evitar qualquer tipo de dano à imagem dos produtos da montadora. Os resultados das avaliações estão listados abaixo.

#### 6.2.1 Caso I – Bomba de óleo

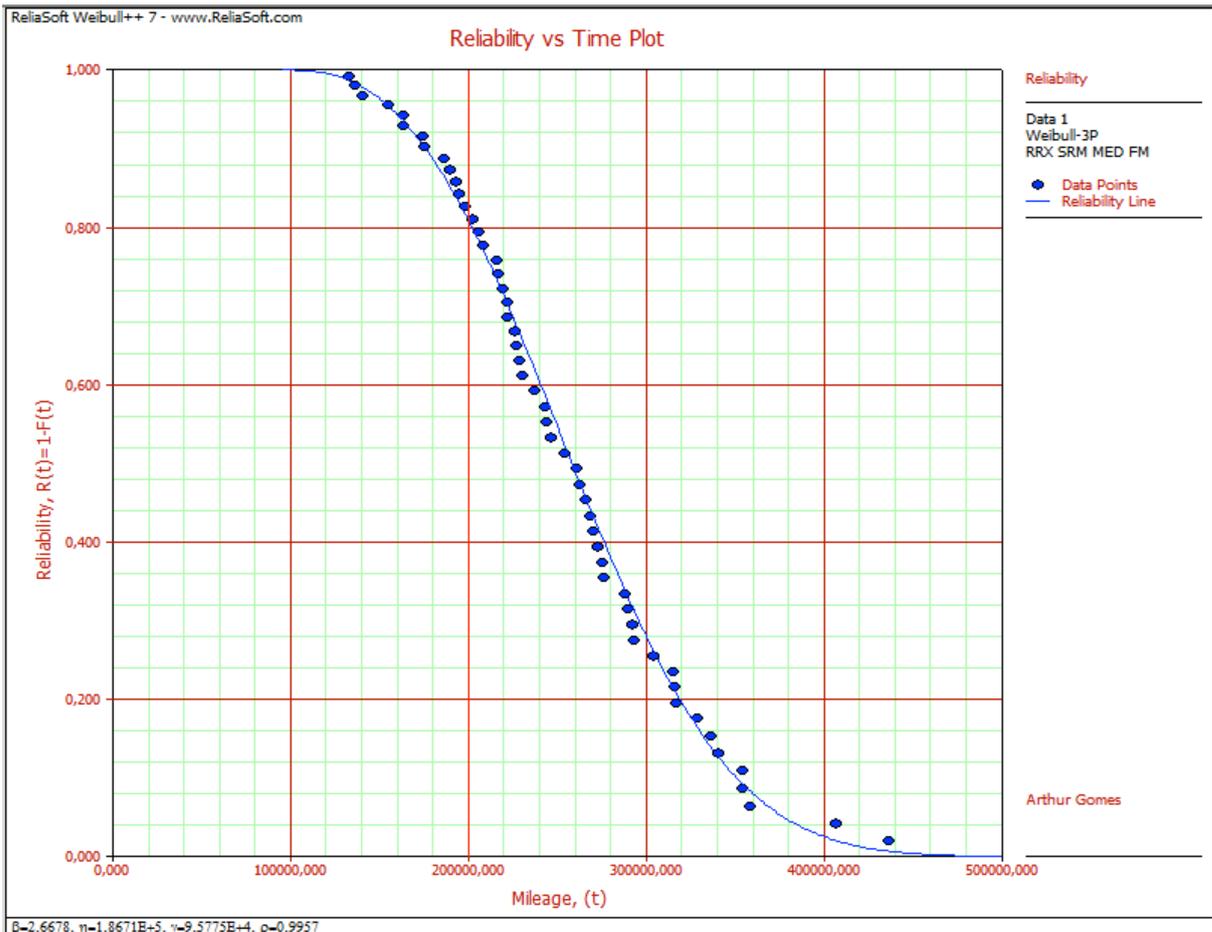
A bomba de óleo no veículo em questão possui a atribuição de lubrificar todo o motor do veículo e também auxiliar no arrefecimento de algumas partes, como os pistões, por exemplo, que são refrigerados por um jato de óleo. Além disso, o compressor de ar nesse veículo é diretamente acionado pela bomba de óleo, por meio de um eixo que conecta ambas as peças. Desta forma, uma falha catastrófica na bomba causa a interrupção da lubrificação do sistema, do correto arrefecimento do motor e ainda a perda do suprimento de ar comprimido do veículo, que é responsável pelo acionamento da suspensão e dos freios. Assim, um veículo que apresente essa falha fica impossibilitado de rodar.

Pode-se observar na Figura 11 o desenho esquemático da bomba de óleo, onde é possível constatar a complexidade da peça, com três linhas de entrada e duas de saída. Essa grande quantidade de conexões se deve as diversas funções da bomba de óleo já mencionadas anteriormente.



**Figura 11 - Desenho Esquemático Bomba de Óleo**  
**Fonte: Adaptado do Material de Pré-investigação da Montadora**

Primeiramente, iniciou-se avaliando a confiabilidade para o primeiro caso da bomba de óleo, com base nos dados do sistema de garantia da montadora, como apresentado no Gráfico 2. No eixo das abscissas observa-se a quilometragem percorrida pelo veículo e no eixo das ordenadas o valor da confiabilidade, ou seja, daquela população em estudo, quantos veículos não vão apresentar falhas até determinada quilometragem.



**Gráfico 2 - Distribuição de Weibull para o Caso I**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Para esse caso, é possível observar que as falhas começam a ocorrer a partir de aproximadamente 100.000 km rodados, quando a confiabilidade deixa de ser 1,0. No fim do período de garantia desse componente, que é de 200.000 km, a confiabilidade é cerca de 81%. Portanto, espera-se que aproximadamente 19% dos veículos dessa população apresentem falhas na bomba de óleo até o fim da garantia.

Analisando os demais critérios, atenta-se que o caso retrata falhas após uma grande quilometragem percorrida pelo veículo. O reparo desse componente é altamente dispendioso financeiramente para a montadora e a frequência de falha é elevada. A quebra desse componente ocasiona a parada não planejada do veículo, o que retrata uma alta severidade.

As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 7.

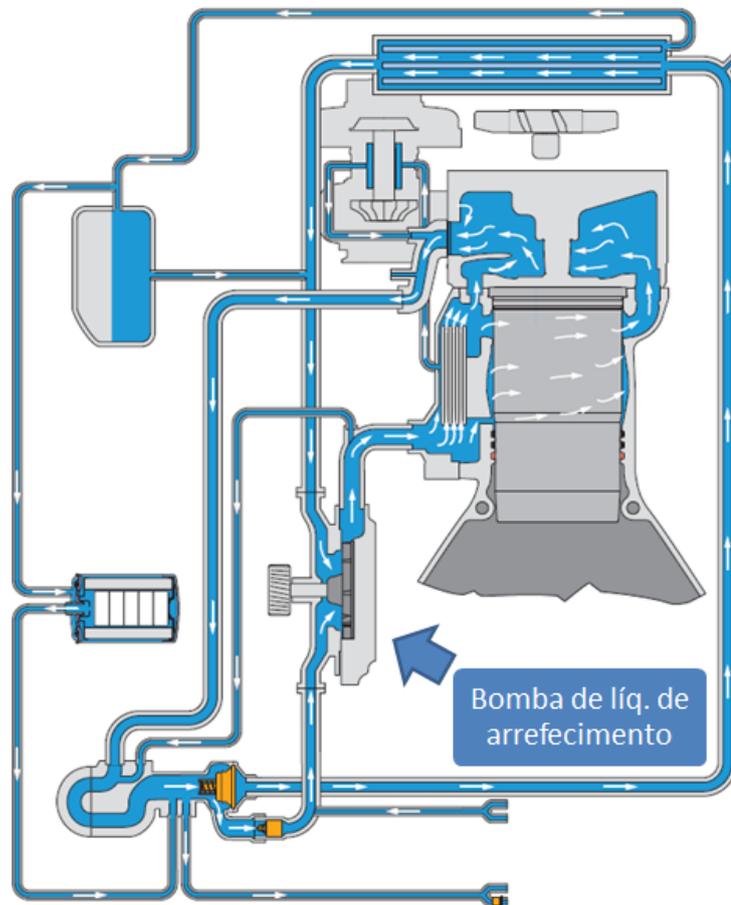
**Tabela 7 - Avaliação do Caso I sob a ótica dos critérios**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Severidade	4
Confiabilidade	3
Custo Médio de Reparo	5
Facilidade de Detecção	5
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	4,6%
Número de Casos	12

### 6.2.2 Caso II – Bomba de líquido de arrefecimento

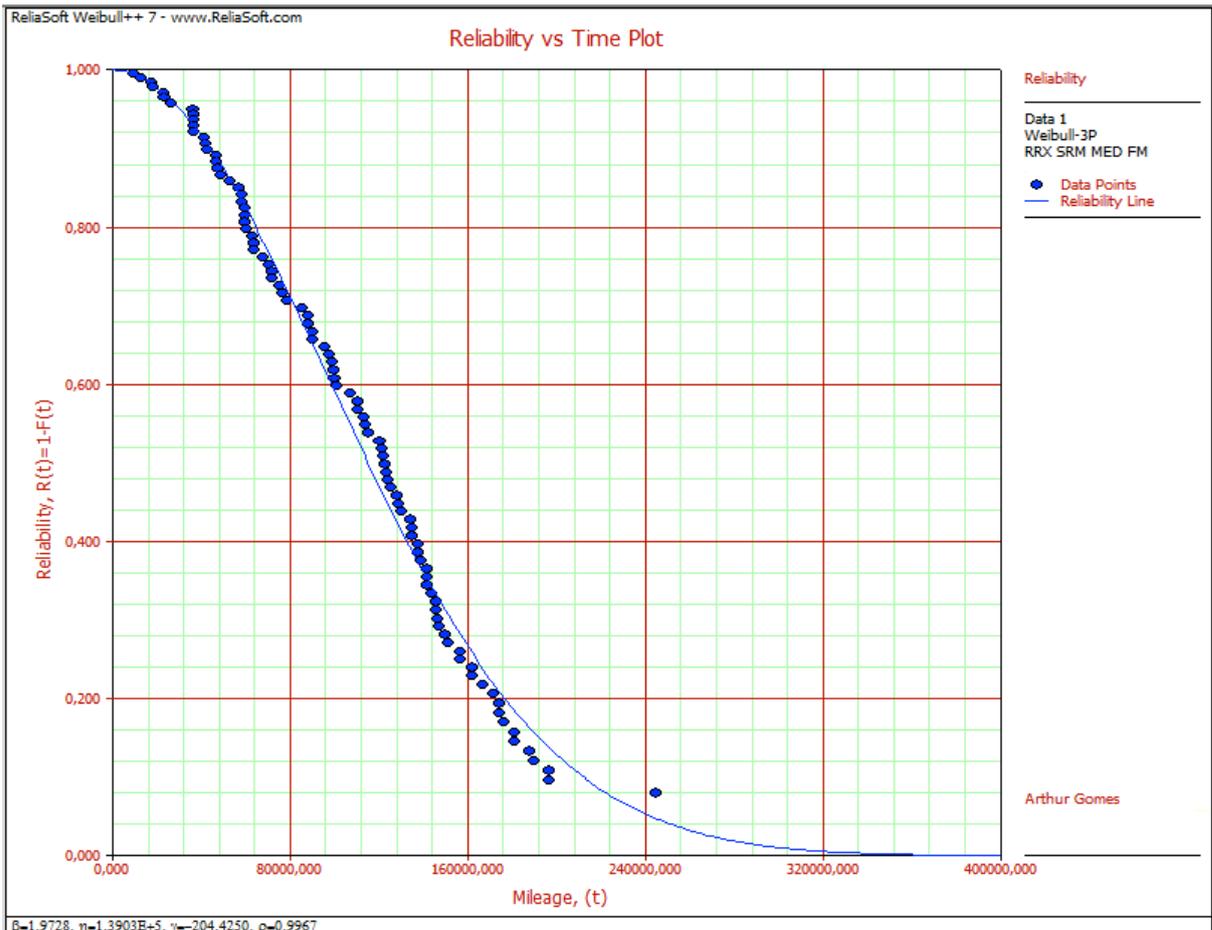
A bomba de líquido de arrefecimento desempenha a função de garantir o fluxo adequado do fluido de arrefecimento pelas galerias do motor e pelo turbocompressor. Então, o líquido passa pelo radiador do veículo, onde é resfriado. O fluxo adequado do bombeamento do líquido é primordial para que o motor seja refrigerado adequadamente e para que o líquido não ultrapasse a sua temperatura de ebulição. Caso essa temperatura seja ultrapassada, o vapor gerado pode comprometer a capacidade de refrigeração do sistema, além de desgastar os seus componentes, pelo fenômeno da cavitação.

Na Figura 12 é possível observar um desenho esquemático do sistema de arrefecimento do veículo, onde a bomba está indicada.



**Figura 12 - Desenho Esquemático Sistema de Arrefecimento**  
**Fonte: Adaptado do Material de Pré-investigação da Montadora**

Inicia-se a análise dos critérios, avaliando a confiabilidade para o segundo caso, da bomba de líquido de arrefecimento, como mostra o Gráfico 3. Pode-se observar que em uma quilometragem consideravelmente baixa, de cerca de 10.000 km percorridos pela população, esse componente já apresenta uma queda na confiabilidade. Isso significa que com poucos meses do veículo rodando haverá falhas nesse componente. Para o fim do período de garantia, ou seja, 200.000 km rodados, a confiabilidade desse caso é cerca de 13%. Desta forma, espera-se que aproximadamente 87% dos veículos dessa população apresentem falhas até o final da garantia.



**Gráfico 3 - Distribuição de Weibull para o Caso II**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Analisando os demais critérios, observa-se que a falha desse componente pode causar a parada não planejada do veículo, por comprometer o resfriamento adequado do trem de força, o que pode vir a resultar em danos maiores ao motor. A quilometragem das falhas é bem dispersa e se inicia em um valor extremamente baixo, que pode ser atingido com apenas alguns meses do veículo em operação. A frequência de falha é consideravelmente alta.

As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 8.

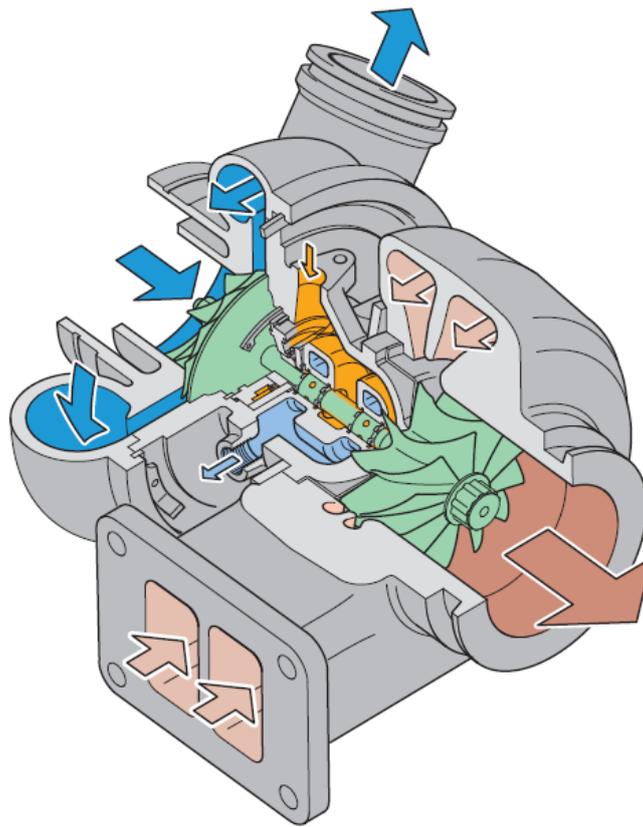
**Tabela 8 - Avaliação do Caso II sob a ótica dos critérios**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Severidade	4
Confiabilidade	5
Custo Médio de Reparo	3
Facilidade de Detecção	3
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	5,3%
Número de Casos	59

### 6.2.3 Caso III – Turbocompressor

O turbocompressor possui a função de comprimir o ar de admissão do motor e é acionado pelo fluxo dos gases de escape, resultantes da combustão. A lubrificação adequada desse componente é essencial para o bom funcionamento do mesmo. A quebra desse componente prejudica perceptivelmente a potência do veículo. Além disso, essa falha pode causar alto consumo de óleo lubrificante e também a emissão de gases altamente poluentes, fazendo com que o veículo deixe de cumprir a legislação vigente de emissões. O diagnóstico é difícil antes da ocorrência da falha e geralmente não há ação de contenção a não ser a troca do turbocompressor, que tem um custo elevado.

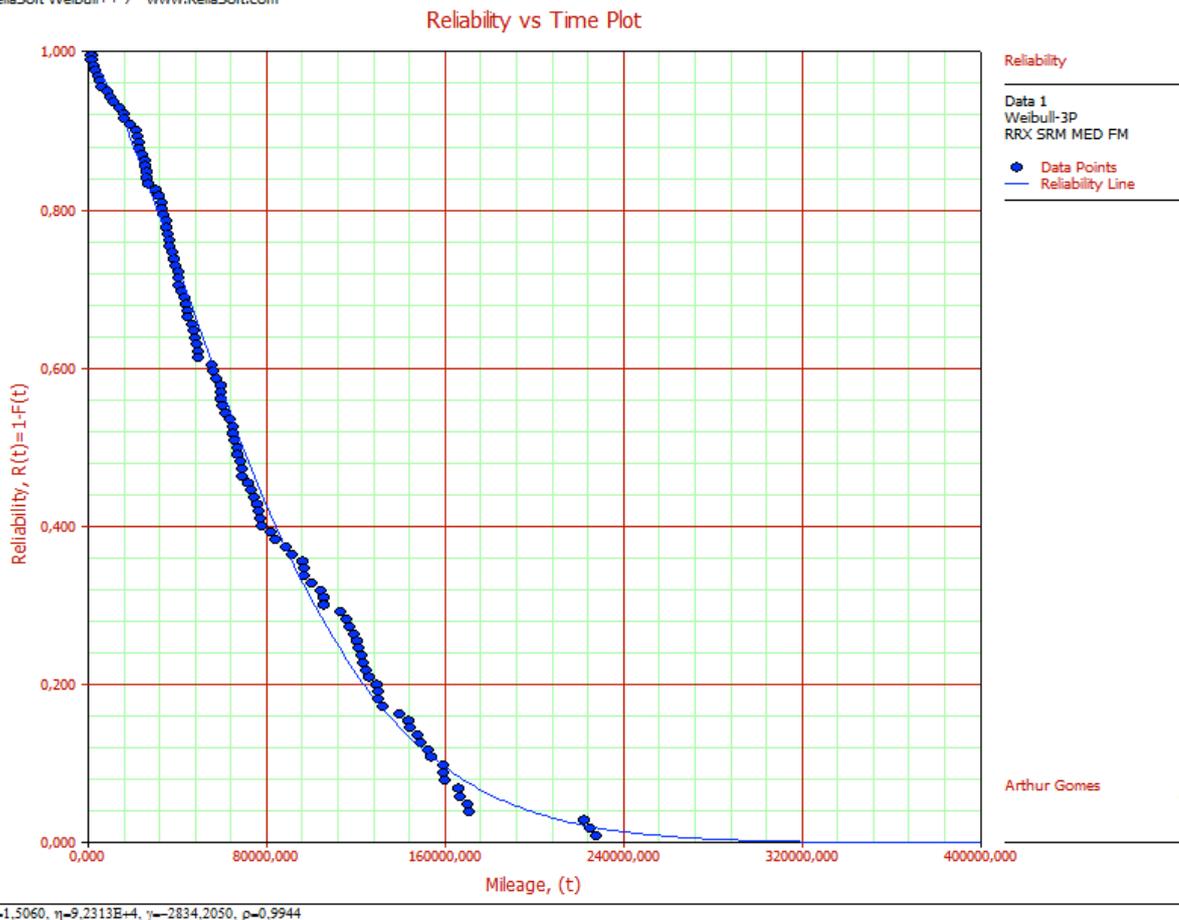
A Figura 13 retrata o desenho esquemático em corte do turbocompressor, onde se pode observar em vermelho a parte quente do componente, que recebe os gases de exaustão do motor, os quais acionam a turbina. No lado oposto, em azul escuro, a parte fria do turbo comprime os gases de admissão. É possível ver, entre as duas partes citadas acima, as galerias de óleo e fluido de arrefecimento, em laranja e azul claro, respectivamente.



**Figura 13 - Desenho Esquemático do turbocompressor**  
**Fonte: Adaptado do Material de Pré-investigação da Montadora**

Inicia-se a análise dos critérios que compõem o índice pela confiabilidade para o terceiro caso, do turbocompressor, mostrado no Gráfico 4. Assim como no segundo caso, é possível observar uma queda expressiva na confiabilidade já em baixas quilometragens. Porém, nesse caso essa queda é mais acentuada ainda do que no anterior. Com menos de 100.000 km percorridos mais de 60% dos veículos irão apresentar falhas no turbocompressor. Ao término do período de garantia, que se traduz em 200.000 km rodados, a confiabilidade desse caso é de apenas aproximadamente 4%. Desta forma, espera-se que mais de 95% dos veículos dessa população apresentem falhas até o final da garantia.

ReliaSoft Weibull++ 7 - www.ReliaSoft.com



**Gráfico 4 - Distribuição de Weibull para o Caso III**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Examinando os demais critérios, nota-se que o caso possui alta severidade, por causar danos à imagem da empresa. O número absoluto de falhas é elevado, porém a quantidade de falhas é baixa em relação à população de veículos. O custo de reparo é elevado e a detecção desse problema é difícil.

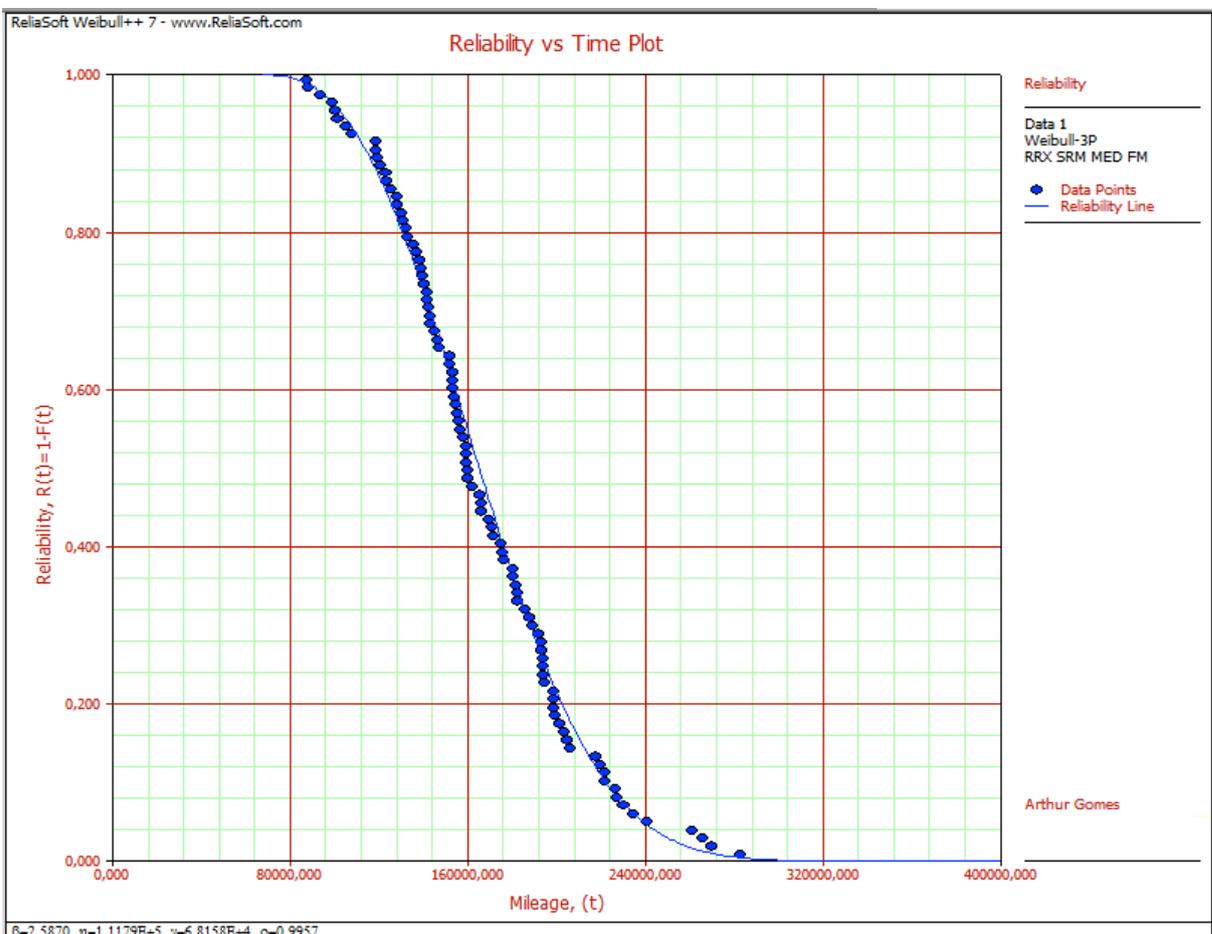
As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 9 abaixo:

**Tabela 9 - Avaliação do Caso III sob a ótica dos critérios**

Critério	Peso
Severidade	4
Confiabilidade	5
Custo Médio de Reparo	5
Facilidade de Detecção	5
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	1,1%
Número de Casos	176



Iniciando análise dos critérios, examina-se a confiabilidade para o quarto caso, do tubo flexível do escapamento, representada no Gráfico 5. Pelo gráfico pode-se notar que a confiabilidade permanece próxima de 100% até cerca de 80.000 km. Com isso, pode-se inferir que as falhas desse componente só começarão a aparecer quando a frota de veículos atinge certa maturidade. Ao término do período de garantia, que é limitado em 200.000 km rodados, a confiabilidade desse caso é de aproximadamente 22%. Desta forma, espera-se que cerca de 78% dos veículos dessa população apresentem falhas até o final da garantia.



**Gráfico 5 - Distribuição de Weibull para o Caso IV**

Fonte: Autoria Própria.

Analisando os demais critérios, atenta-se que o número de veículos com essa falha foi elevado, entretanto a quantidade relativa de falhas perante a população

total de veículos é baixa. O custo médio de reparo é baixo e a detecção do problema é fácil, devido a grande alteração no ruído do escapamento.

As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 10 abaixo:

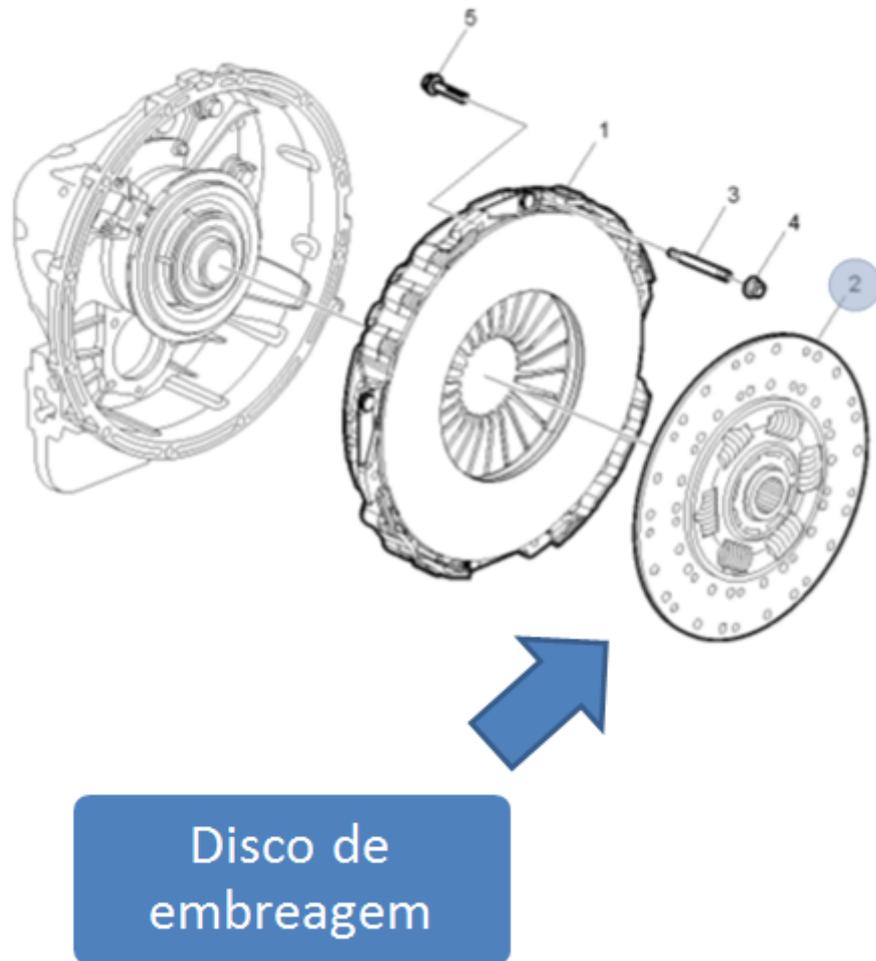
**Tabela 10 - Avaliação do Caso IV sob a ótica dos critérios**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Severidade	3
Confiabilidade	5
Custo Médio de Reparo	2
Facilidade de Detecção	1
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	1,5%
Número de Casos	2000

#### 6.2.5 Caso V – Disco de embreagem

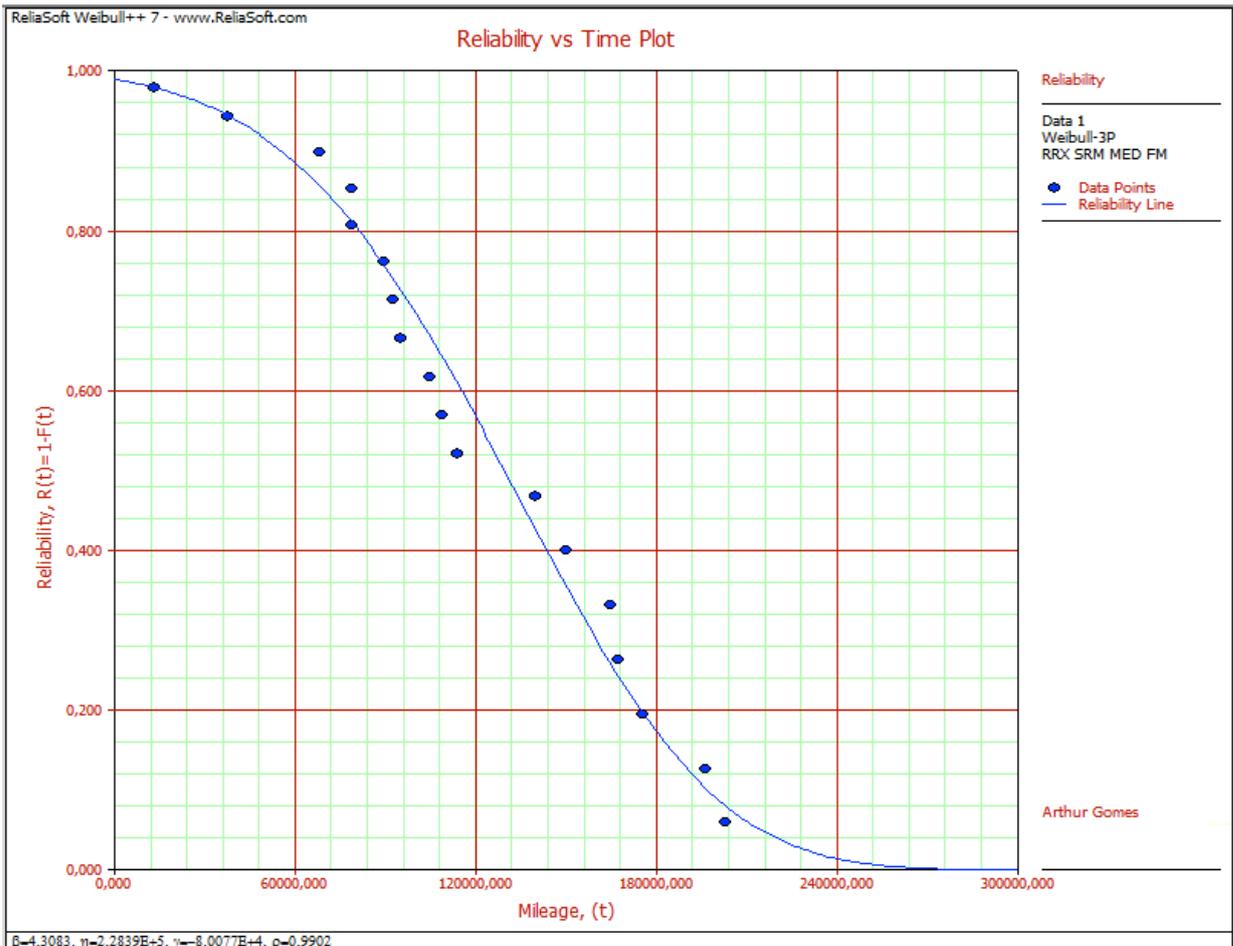
O disco de embreagem visa acoplar ou desacoplar o motor da transmissão do veículo. O seu acionamento pode ser feito de forma mecânica, que é controlada pelo motorista, ou automatizada, por um servomecanismo. Caso o acionamento seja mecânico a habilidade do motorista é essencial para que o acoplamento seja feito de forma suave. Quando o acionamento é feito por um servomecanismo ele tende a ser precisamente controlado por uma unidade eletrônica, que avalia a velocidade de rotação do eixo para promover um acoplamento sem trancos. O desgaste prematuro do disco é frequentemente causado pelo estilo de direção do motorista, por exemplo, não utilizar o pedal de embreagem de forma adequada ou trocar marchas em rotação muito elevada. Problemas de montagem também podem resultar em falhas no disco.

A Figura 15 retrata o desenho do disco de embreagem, que acopla o motor a transmissão.



**Figura 15 - Desenho do Disco de Embreagem**  
**Fonte: Adaptado do Material de Pré-investigação da Montadora**

Analisando a confiabilidade para o quinto caso, cujo problema estava relacionado ao disco de embreagem, apresenta-se o Gráfico 6. Pelo gráfico pode-se notar que a confiabilidade já mostra uma queda do valor de 100% com zero quilômetro rodado. Portanto, pode-se esperar que alguns veículos dessa população apresentem falhas já no momento de sua saída da linha de produção. No final da garantia, que compreende 200.000 km percorridos, a confiabilidade desse caso é de aproximadamente 9%. Desta forma, espera-se que mais de 90% dos veículos dessa população apresentem falhas até o fim desse período.



**Gráfico 6 - Distribuição de Weibull para o Caso V**

Fonte: Autoria Própria.

Para os demais critérios, nota-se que esse caso possui uma severidade mediana e um baixo número absoluto de falhas. Entretanto, a frequência de falha é média e a confiabilidade é muito baixa.

As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 11 abaixo:

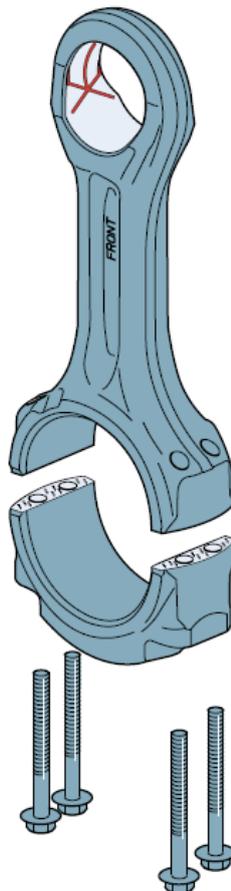
**Tabela 11 - Avaliação do Caso V sob a ótica dos critérios**

Critério	Peso
Severidade	3
Confiabilidade	5
Custo Médio de Reparo	4
Facilidade de Detecção	2
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	4,0%
Número de Casos	20

### 6.2.6 Caso VI – Biela

A biela conecta o pistão ao virabrequim do motor e é submetida a esforços trativos e compressivos, conforme o movimento do pistão. Falhas nesse componente podem causar graves consequências ao motor, como a perfuração do bloco, o travamento dos pistões e desgaste no virabrequim.

Na Figura 16 pode-se observar o desenho esquemático da biela. Observando o desenho, a parte superior dela é conectada no pistão e a inferior no virabrequim.

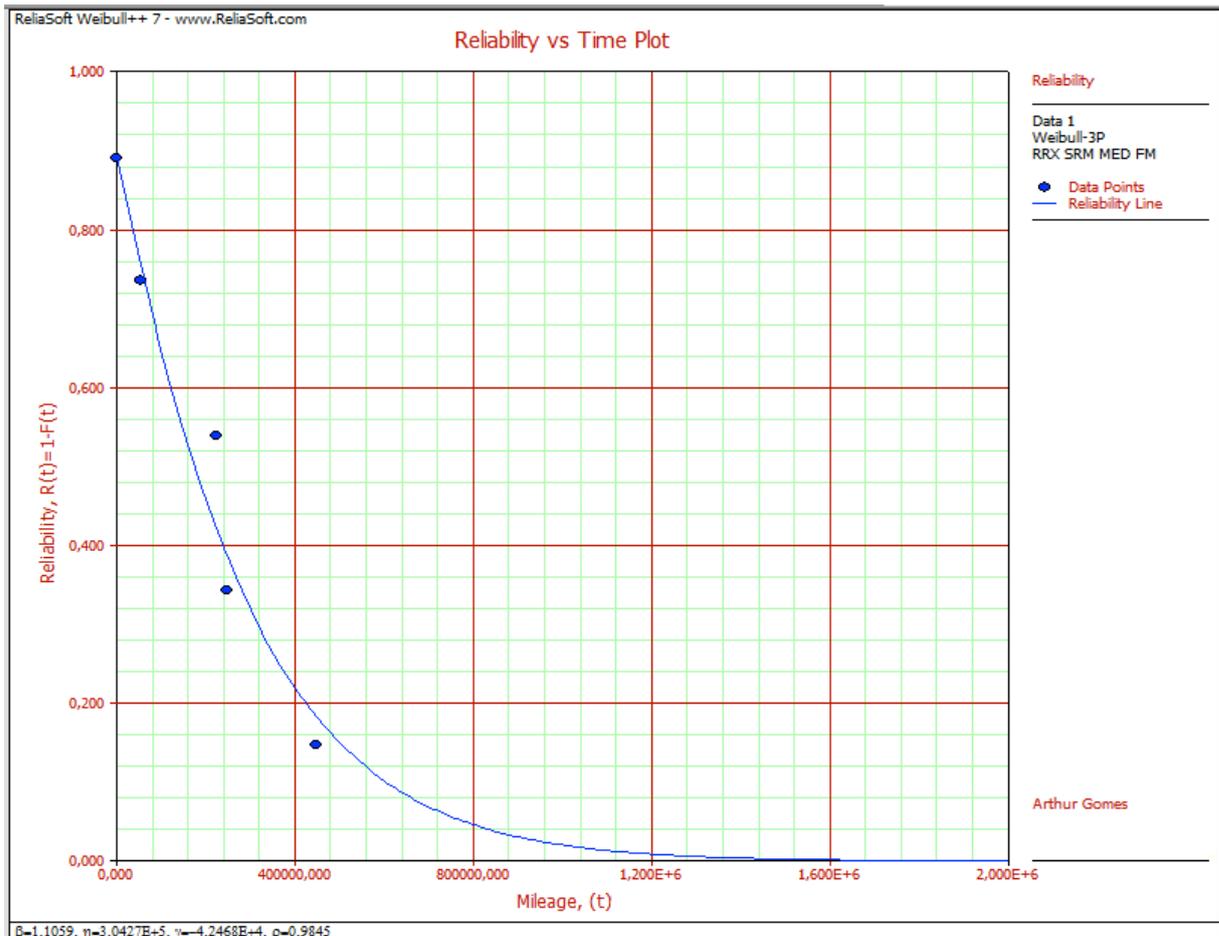


**Figura 16 - Desenho Esquemático da Biela**

**Fonte: Adaptado do Material de Pré-investigação da Montadora**

Inicia-se o exame dos critérios, pela análise de confiabilidade para o sexto caso, cujo problema está relacionado à biela, representada no Gráfico 7. Da mesma forma que fora observado para o problema do disco de embreagem, esse caso também apresentou uma confiabilidade inferior a 100% com zero quilômetro percorrido. Assim, pela análise de confiabilidade espera-se que alguns veículos dessa população apresentem falhas já no momento de sua saída da linha de

produção. Por outro lado, há registros de falhas que ocorreram somente após mais de 400.000 km rodados. Ao término da garantia, que compreende 200.000 km percorridos, a confiabilidade desse caso é de aproximadamente 46%. Desta forma, espera-se que cerca de 54% dos veículos, o que representa pouco mais da metade dessa população, apresentem falhas até o fim desse período.



**Gráfico 7 - Distribuição de Weibull para o Caso VI**

**Fonte: Autoria Própria.**

A respeito dos demais critérios, observa-se que esse caso é facilmente detectável, porém implica em um reparo complexo, devido à localização do componente no bloco do motor. Desta forma, o custo de reparo é elevado. O número de casos reportados é baixo tanto em valores absolutos quanto em relação à população de veículos.

As suas características avaliadas sob a ótica dos critérios escolhidos são apresentadas na Tabela 12 abaixo:

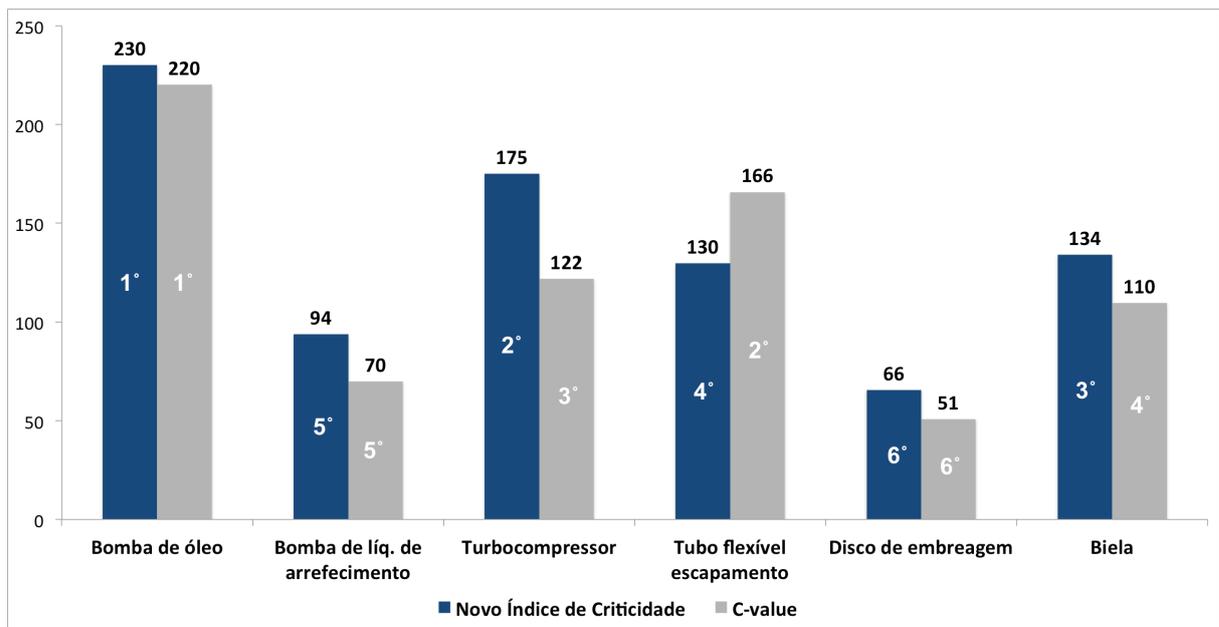
**Tabela 12 - Avaliação do Caso VI sob a ótica dos critérios**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>
Severidade	4
Confiabilidade	5
Custo Médio de Reparo	5
Facilidade de Detecção	1
Influência de Mercado	1
Frequência de Falha	0,05%
Número de Casos	4

## 7 COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE CRITICIDADE

Os casos apresentados foram avaliados aplicando-se o novo índice de criticidade, através da Equação 8. Além disso, o índice de criticidade da montadora, expresso pelo *C-value*, também foi calculado para cada caso. Para manter a confidencialidade da fórmula do *C-value*, o resultado obtido por esse último índice foi multiplicado por um fator que não será divulgado. Os resultados dessa avaliação podem ser vistos no Gráfico 8. Com base nesses resultados, serão feitas análises quantitativas e qualitativas da criticidade de cada caso.

No Gráfico 8, pode se observar também em algarismos na cor branca o *ranking* da criticidade de cada caso segundo a avaliação dos dois critérios.



**Gráfico 8 - Índices de criticidade aplicado aos casos reais da montadora**

**Fonte: Autoria Própria.**

Destaca-se que o valor absoluto da criticidade de cada caso não apresenta relevância para o presente trabalho, se analisado isoladamente. A função desse valor é permitir a comparação objetiva entre os casos.

Todavia, pela experiência relatada dos engenheiros da montadora, ao longo do tempo é possível estabelecer valores absolutos de referência com base no histórico dos problemas de qualidade. Desta forma pode-se dizer se um caso isoladamente é considerado crítico ou não comparando-o somente com um valor de

referência. Assim, se o índice de criticidade proposto for aplicado ao longo do tempo por uma indústria, um referencial desse tipo pode ser estabelecido.

A seguir cada um dos casos será examinado sob a ótica dos dois índices comparativamente. As informações da avaliação dos critérios de cada caso, já apresentadas no capítulo 6, serão expostas novamente nas tabelas desse capítulo para facilitar o entendimento do leitor.

### 7.1 Análise do Caso I – Bomba de Óleo

Inicia-se a análise dos casos pelo estudo da bomba de óleo. Primeiramente, a partir dos pesos para os critérios apresentado na Tabela 7, pode-se calcular o valor numérico do novo índice de criticidade, através da equação 8. Comparativamente, também se calculou o valor do índice *C-value*, para obter a visão de criticidade da montadora. A Tabela 13 apresenta os resultados de ambos os índices. Também é apresentada a posição em que o caso se ordenou comparativamente aos demais.

**Tabela 13 - Comparativo dos índices para Caso I**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	4	
Confiabilidade	3	
Custo Médio de Reparo	5	
Facilidade de Detecção	5	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	4,6%	
Número de Casos	12	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>230</b>	<b>1ª</b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>220</b>	<b>1ª</b>

Analisando a Tabela 13, observa-se que o caso estudado obteve primeiro lugar no comparativo de criticidade em ambos os índices. Nota-se que essa criticidade elevada é fruto dos pesos listados na tabela, como a alta severidade, custo de reparo, facilidade de detecção e frequência de falha. Desta forma esse caso possui alta criticidade nos três grupos, qualitativo, quantitativo e detecção. Portanto é coerente considerá-lo com a máxima criticidade dentre todos os casos estudados.

Ainda, comparando-se os resultados dos dois índices para o caso da bomba de óleo, observa-se que os critérios adicionados, a confiabilidade e a facilidade de

detecção, obtiveram altos valores. Assim, conclui-se que esses pontos eram relevantes na avaliação do caso estudado e introduziram aspectos antes ignorados pelo *C-value*.

## 7.2 Análise do Caso II – Bomba do Líquido de Arrefecimento

Da mesma forma que no item anterior, calcularam-se os índices de criticidade para caso da bomba do líquido de arrefecimento. Também se apresentou a posição relativa para ambos os índices. A Tabela 14 apresenta os valores calculados para esse caso.

**Tabela 14 - Comparativo dos índices para Caso II**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	4	
Confiabilidade	5	
Custo Médio de Reparo	3	
Facilidade de Detecção	3	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	5,3%	
Número de Casos	59	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>94</b>	<b>5ª</b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>70</b>	<b>5ª</b>

Analisando a Tabela 14, nota-se que o caso II assumiu novamente a mesma posição relativa entre os dois índices. Isto se justifica pelo fato da facilidade de detecção não ter apresentado um valor elevado, se comparado os demais casos. Outro ponto é o fato da confiabilidade ter exercido uma influência de nível similar nos casos analisados. Isto se deve ao fato de todos eles apresentavam altos valores nesse critério, acabando por nivelá-los.

Observa-se também que esse problema não possui uma prioridade tão elevada, pois é relativamente fácil de detectar preventivamente, não apresenta severidade tão elevada ou custo de reparo alto, aliados a uma baixa quantia absoluta de falhas.

### 7.3 Análise do Caso III – Turbocompressor

Como feito para os casos anteriores, calculou-se o novo índice de criticidade e o *C-value* para o caso III, que aborda o problema do turbocompressor. A Tabela 15 apresenta os valores calculados para esse caso.

**Tabela 15 - Comparativo dos índices para Caso III**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	4	
Confiabilidade	5	
Custo Médio de Reparo	5	
Facilidade de Detecção	5	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	1,1%	
Número de Casos	176	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>175</b>	<b>2<sup>a</sup></b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>122</b>	<b>3<sup>a</sup></b>

Observando a Tabela 15, nota-se que houve mudança da ordenação deste caso. Quando analisado sob a ótica do *C-value*, ele ocupava a terceira posição em ordem de prioridade, ao passo que sob a ótica do novo índice, ela assume a segunda posição.

Essa mudança pode ser explicada pelo efeito da introdução do critério facilidade de detecção: o problema envolvendo o turbocompressor é difícil de ser detectado preventivamente, se comparado ao tubo flexível, por exemplo. Isso faz com que uma ação preventiva de reparo antes da quebra da peça seja muito mais difícil de ser aplicada ao turbo, afetando assim negativamente o cliente. Deste modo, justifica-se o aumento da criticidade associada a esse caso.

Do mesmo modo que no caso II, mesmo a confiabilidade tendo atingindo nota máxima, sua influência não é notória ao se comparar este com os outros casos. Como explicado anteriormente, isso se deve a baixa variação desse critério dentre os casos analisados, impossibilitando que ele se torne um parâmetro de diferenciação.

#### 7.4 Análise do Caso IV – Tubo flexível do escapamento

Ambos os critérios também foram aplicados ao caso IV, cujo problema tratava do tubo flexível do escapamento. Os resultados dessa análise constam na Tabela 16.

**Tabela 16 - Comparativo dos índices para Caso IV**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	3	
Confiabilidade	5	
Custo Médio de Reparo	2	
Facilidade de Detecção	1	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	1,5%	
Número de Casos	130	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>130</b>	<b>4<sup>a</sup></b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>166</b>	<b>2<sup>a</sup></b>

Examinado a Tabela 16, atenta-se para a mudança de ordenação do caso para os diferentes índices de criticidade. Quando analisado pelo *C-value*, o caso 4 ocupava a segunda posição em ordem de prioridade. Contudo, sob a ótica do novo índice, ele passou ocupar o quarto lugar no *ranking*.

Essa alternância de posições é explicada pela influência da facilidade de detecção. Mesmo possuindo um alto número absoluto de veículos afetados, esse caso pode ser facilmente diagnosticado preventivamente. Deste modo, se anteriormente, ele era destacado principalmente pelo alto número de veículos afetados, agora, a sua facilidade na detecção do problema torna a sua criticidade comparativamente menor.

Isso é coerente com o fato de que um problema facilmente detectável pode ter as suas consequências mitigadas através de uma ação de contenção, tornando o impacto ao cliente muito menor.

## 7.5 Análise do Caso V – Disco de embreagem

O caso V, cuja peça em estudo era o disco de embreagem, também foi alvo da mesma análise que os demais. Os resultados dessa avaliação constam na Tabela 17.

**Tabela 17 - Comparativo dos índices para Caso V**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	3	
Confiabilidade	5	
Custo Médio de Reparo	4	
Facilidade de Detecção	2	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	4,0%	
Número de Casos	20	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>66</b>	<b>6ª</b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>51</b>	<b>6ª</b>

Observando-se a Tabela 17, nota-se que a posição relativa desse caso não se alterou, permanecendo em sexto lugar para os dois critérios. Nota-se que esse caso não se destaca em termos qualitativos, quantitativos ou relativos à detecção perante os demais.

Contudo, trata-se de problema de qualidade que sem dúvidas deve ser adequadamente tratado, porém não com uma prioridade tão elevada, pois é relativamente fácil de detectar, apresenta uma severidade moderada e um custo de reparo mediano. Soma-se a esses fatores uma baixa quantia absoluta de falhas.

## 7.6 Análise do Caso VI – Biela

Por fim, o caso VI foi objeto da mesma análise que os casos anteriores. Aplicou-se os dois índices de criticidade e avaliou-se a ordenação encontrada. A Tabela 18 apresenta os resultados dessa avaliação.

**Tabela 18 - Comparativo dos índices para Caso VI**

<b>Critério</b>	<b>Peso</b>	<b>Posição</b>
Severidade	4	
Confiabilidade	5	
Custo Médio de Reparo	5	
Facilidade de Detecção	1	
Influência de Mercado	1	
Frequência de Falha	0,05%	
Número de Casos	4	
<b>Resultado Novo Índice</b>	<b>134</b>	<b>3ª</b>
<b>Resultado C-value</b>	<b>110</b>	<b>4ª</b>

Observando-se a Tabela 18, constata-se que houve uma alteração na ordem. Sob a ótica do *C-value*, o caso ocupava a quarta posição, ao passo, que sob a ótica do novo índice, ele obteve o terceiro lugar. A razão para isso é fato do índice proposto dar maior peso aos critérios qualitativos do que o *C-value*. Isso pode ser notado comparando o sexto caso com o quarto caso. No caso IV, os critérios que mais impactavam na criticidade do problema eram os relativos à quantidade. Já no caso VI, o custo médio de reparo e a severidade são os critérios com peso mais elevado comparativamente, que constituem o grupo qualitativo.

Como a ponderação do índice proposto privilegia mais os critérios do grupo qualitativo, o sexto caso subiu de posição no ranking, ultrapassando o caso de número IV.

## **7.7 Considerações**

Ao se analisar todos os casos presentes nesse capítulo, observa-se de modo geral que o novo índice de criticidade priorizou os casos cuja detecção era árdua. Isto fica evidente pela mudança de ordenação dos casos do turbocompressor e do flexível do escapamento.

Também é possível inferir que a confiabilidade traduzida para as tabelas de critérios não apresentou grande distinção dentre os casos citados. Isso se deve ao fato de que para a maioria dos casos a confiabilidade já estava em seu pior patamar quando fora avaliada, indicando que a maior parte da população irá apresentar falhas até o fim do período de garantia.

Caso a análise de confiabilidade tivesse sido feita mais precocemente quando o caso ainda não possuísse um escopo tão claro, por exemplo, com um baixo número de falhas, o seu valor provavelmente teria uma dispersão maior. Portanto, nessas condições essa informação seria primordial para diferenciar os casos.

Por fim, observa-se que os critérios qualitativos possuem um peso maior no novo índice do que no *C-value*, como pode ser visto no caso da biela. Isto é importante, pois esse grupo de critérios descreve a percepção do problema pela visão do cliente e não tanto por quantidades absolutas de falha, como considera o *C-value*. Essa diferença na ponderação dos critérios reflete um foco maior na satisfação do cliente individualmente.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas nesse trabalho, assim como sugestões para trabalhos futuros que visem abordar o mesmo tema.

### 8.1 Conclusão

As considerações finais serão redigidas com enfoque em cada um dos objetivos propostos para serem alcançados por esse trabalho.

Foram expostos na fundamentação teórica três processos de avaliação de criticidade de problemas de qualidade: o *C-value*, com foco e origem na indústria automobilística, o *Risk Priority Number* do FMEA, com escopo geral e sendo amplamente empregado pela indústria e o *Criticality Number*, originário de uma instituição que serve de referência para normas e padrões, que é o exercito norte-americano. Desta forma procurou-se compreender como a criticidade é avaliada por diferentes visões, trazendo uma referência rica para posteriormente constituir a base do novo índice de criticidade.

Além disso, foram abordadas importantes peculiaridades da indústria automobilística e seus produtos, que devem ser levadas em consideração para avaliar problemas de qualidade desse segmento. Dentre esses pontos podem-se destacar os riscos a segurança dos ocupantes do veículo e não conformidade com requisitos legais de emissões de poluentes.

Partindo-se do conhecimento exposto na fundamentação teórica, foi elaborado um novo índice de criticidade. O primeiro passo foi uma análise SWOT do índice atual comparativamente com o FMEA e o *Criticality Number*. Com base nas forças e fraquezas identificadas foi possível detectar oportunidades de melhoria e selecionar quais critérios fariam parte desse novo índice. Uma vez com critérios bem estabelecidos, foi possível, através uma comparação par-a-par, ponderá-los. Mostrou-se ainda necessário criar uma tabela de pesos para cada um dos critérios selecionados a fim de que eles pudessem ser traduzidos numericamente em uma escala padronizada e conseqüentemente inseridos na fórmula. Por fim, a partir de todas essas análises, foi possível desenvolver o novo índice de criticidade.

A ponderação dos critérios desse novo índice possui um foco maior na satisfação do cliente do que o índice da montadora. Isso se deve ao maior peso dado aos critérios qualitativos na comparação par-a-par, que são os que avaliam o impacto do problema de uma forma individualizada. Sempre se deve levar em consideração que um cliente insatisfeito irá compartilhar o seu descontentamento com outros possíveis compradores, assim prejudicando vendas futuras da companhia. Portanto um veículo quebrado pode trazer a empresa prejuízos muito maiores do que o custo do reparo da falha, por meio do compartilhamento de uma opinião negativa. Desta forma, considerar esse aspecto da satisfação individual do cliente é de grande importância.

Outro ponto relevante, que surgiu como fruto da análise SWOT, foi a proposta de agrupar os critérios em grupos, conforme as características avaliadas por eles. Assim, agruparam-se os critérios em três categorias: quantitativos, qualitativos e detecção.

Com base nisso decidiu-se compor a fórmula pela soma dos três grupos. Isso faz com que qualquer grupo que obtenha um valor expressivo resulte em um alto índice de criticidade para o item em questão, mesmo que os outros grupos ainda não apontem essa tendência. A independência dos grupos é importante, pois qualquer um deles que apresente um valor elevado já deve ser motivo de alerta.

A fim de ser avaliar o comportamento do novo índice quando aplicado em circunstâncias reais escolheu-se seis casos que foram considerados problemas de qualidade de pós-venda pela montadora no passado. Cada problema possui características únicas, com o intuito de testar o novo índice de criticidade numa ampla gama de condições. Esses casos foram avaliados pela ótica do índice proposto pelos autores e também pela visão da montadora, expressa pelo *C-value*.

O novo índice de criticidade deu importância mais elevada aos casos que possuíam difícil detecção. Esses casos possuem uma criticidade elevada, uma vez que essa condição dificulta ou até inviabiliza que uma medida de correção seja aplicada preventivamente a quebra. Esse fator é importante, pois um problema de difícil detecção conseqüentemente acarretará em um reparo mais demorado e oneroso, devido ao fato de o diagnóstico do problema ser mais complexo.

Além disso, tratando-se de veículos comerciais, as perdas por lucros cessantes podem ser maiores em casos onde a falha possui uma alta dificuldade de

detecção do que em casos que o componente comprometido pode ser facilmente detectado e reparado.

Portanto, o critério da facilidade de detecção se mostrou efetivo e válido na visão dos especialistas da montadora.

A avaliação da confiabilidade revelou que a maioria dos casos se encontrava em um patamar crítico para o fim do período da garantia. Portanto, os casos escolhidos para serem tratados como problemas de qualidade pelo processo *Quality Journal* realmente resultariam em um impacto muito grande em termos de falhas caso não fossem tratados.

Como os casos escolhidos já possuíam as demais características para serem considerados um problema de qualidade de produto antes da avaliação da confiabilidade, o seu acréscimo adicionou força aos casos avaliados, porém não foi determinante no produto final.

Entretanto, para casos que ainda não possuem um escopo tão claro quanto os analisados a avaliação da confiabilidade pode mostrar um espectro muito mais amplo de resultados. Nessas condições, a análise desse critério pode ser muito mais efetiva para diferenciar os casos e motivar o início precoce de uma tratativa do problema.

Além disso, os gráficos de análise de confiabilidade revelam características importantes da falha, por exemplo, se ela ocorre em baixas quilometragens ou somente após certo tempo de uso do veículo. Também se pode avaliar se as falhas estão concentradas em uma determinada quilometragem. É possível ainda estimar o número de veículos que irão falhar até o fim do período de garantia.

Essas informações são úteis na identificação da causa raiz. Por exemplo, falhas em baixa quilometragem podem indicar problemas na montagem. Já falhas após uma quilometragem elevada, porém ainda dentro do garantia, caracterizam problemas de desgaste precoce de um componente.

Devido a essas contribuições, o acréscimo desse critério na avaliação de problemas de qualidade também foi considerado como válido e importante pelos especialistas da montadora.

Por fim, pode se concluir que o novo índice de criticidade melhora a avaliação dos problemas de qualidade tanto pela visão do cliente quanto da montadora.

A melhoria para o lado do cliente é retratada pela facilidade de detecção do problema, pois caso o problema seja facilmente detectável ele pode ser prontamente

mitigado por uma ação de contenção, causando menor cessão dos lucros e insatisfação por parte do consumidor. Além disso, o maior peso nos critérios qualitativos releva o maior enfoque na percepção que cada cliente terá do problema. Dessa forma a satisfação individual do cliente está sendo priorizada em relação ao critério atual da montadora.

Pelo lado da montadora a inserção da análise de confiabilidade permite ter uma visão da extensão da falha até o final do período de garantia. Isso permite que a montadora já prepare toda a sua cadeia de suprimentos para disponibilizar nas concessionárias o número de peças necessárias para atender a demanda prevista. Esse critério também permite o cálculo de um *Business Case* que avalie os custos dos reparos esperados durante o período da garantia frente aos gastos para se introduzir a solução do problema. Desta forma as decisões podem ser tomadas de uma forma mais consciente em termos financeiros.

Além disso, a análise de confiabilidade pode auxiliar na determinação da causa raiz, otimizando o processo de solução do problema.

Conclui-se dessa forma que o índice proposto considera aspectos antes ignorados pela montadora de veículos pesados da região Sul. Destacam-se a facilidade detecção da falha e a análise de confiabilidade. Soma-se a esses pontos a ponderação resultante da comparação par-a-par que dá maior ênfase aos critérios que afetam diretamente a satisfação do consumidor. Desta forma, a montadora pode otimizar o seu fluxo de tratamento de problemas de qualidade de campo e consequentemente agregar valor aos seus produtos pelo aumento da percepção de qualidade por parte dos clientes.

## **8.2 Estimativa de custos das horas investidas na elaboração do trabalho**

Foi estimado um custo que uma consultoria externa cobraria para a realização do presente trabalho, com base nas horas investidas pelos autores e em um valor médio por hora cobrado por uma consultoria de engenharia. A Tabela 19 apresenta os valores dessa estimativa.

**Tabela 19 - Estimativa de Custos**

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Semanas trabalhadas	24 sem
Dias por semana	6 dias/sem
Horas por dia, considerando os dois integrantes	5 horas/dia
Horas totais	720 horas
Custo por hora	R\$115,00/hora
Custo total	R\$ 82.800,00

### 8.3 Sugestões para trabalhos futuros

Esse trabalho foi desenvolvido em parceria com uma montadora de veículos pesados de região Sul, o que consequentemente direciona a ótica de avaliação de problemas para as peculiaridades desse segmento.

Uma oportunidade para trabalhos futuros seria aprofundar esse estudo com o auxílio de uma montadora de veículos leves. Desta forma, pode-se agregar as singularidades desse segmento da indústria também ao trabalho. Sugere-se entender a percepção de criticidade atual para veículos leve e reavaliar a importância dos critérios considerados no presente trabalho por esse novo prisma.

Outra oportunidade seria aplicar o novo índice de criticidade para casos que ainda não possuem uma pré-investigação completa, impossibilitando uma delimitação precisa do escopo do problema. Nessas condições o critério proposto deve se mostrar eficiente na percepção de criticidade, pois introduz o conceito de confiabilidade, que permite avaliar um problema prematuramente.

Por fim, há a oportunidade de se aplicar os conceitos desenvolvidos no trabalho em outros ramos da indústria, não necessariamente automobilística. Utilizando a metodologia desenvolvida no trabalho, é possível propor um índice de criticidade para as mais diversas áreas, possibilitando a priorização adequada dos problemas de qualidade e otimizando a alocação de recursos.

## REFERÊNCIAS

ADEBANJO, D.; KEHOE, D. An investigation of quality culture development in UK industry. **International Journal of Operations & Production Management**, Exeter, v. 19, n. 7, p. 633-649, 1999.

AL-NAJJAR, Basim. A concept for detecting quality deviation earlier than when using traditional diagram in automotive: a case study. **International Journal of Quality and Reliability Management**, Bradford, v. 18, n. 9, p. 917-940, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira**. São Paulo, 2014.

ATTARDI, Laura; GUIDA, Maurizio; PULCINI, Gianpaolo. A mixed-Weibull regression model for the analysis of automotive warranty data. **Reliability Engineering and System Safety**, Amsterdã, v. 87, n. 2, p. 265-273, 2005.

BAPTISTA, Jose A. A importância da análise de causa raiz (Root Cause Analysis) na melhoria do desempenho da manutenção industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 26., 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: ABRAMAN, 2011. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/191/191.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2014.

BENBOW, Donald W.; BROOME, Hugh W. **The Certified Reliability Engineer Handbook**. Milwaukee: American Society for Quality, 2008.

BOHN, Roger. Stop Fighting Fires. **Harvard Business Review**, Boston, v. 78, n. 4, p. 82-91, 2000.

BRANDÃO, Roque. Turbinas Eólicas - Manutenção. **Neutro à Terra**, Porto, v. 2, n. 8, p. 37-44, 2011.

CARNEVALLI, José A.; MIGUEL, Paulo A. C. Revisão, análise e classificação da literatura sobre o QFD – tipos de pesquisa, dificuldades de uso e benefícios do método. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 14, n. 3, p. 557-579, 2007.

CASTRO, Eduardo M. de. **Priorização de projetos, através da identificação e análise de critérios de seleção, relacionados aos objetivos estratégicos de negócio**. 2010. 86. Dissertação (Mestrado Executivo em Gestão Ambiental) – Escola brasileira de administração pública de empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE TRANSITO. **Resolução N. 316 - Requisitos de segurança para veículos de transporte coletivo de passageiros M2 e M3.** Brasília, 2009. 83 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Programa de redução da poluição do ar por veículos automotores – Proconve Fase P-7.** Brasília, 2008. 7 p.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **MIL-STD-1629A - Procedure for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis.** Washington D.C., 1980. 54 p.

DESATNICK, Robert L. Long Live the King. **Quality Progress**, Milwaukee, v. 22, n. 4, p. 24-26, 1989.

DIAS, Elder E. P. **Análise de metodologia de melhoria de processos: Aplicações à indústria automobilística.** 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

DILLENBURG, Marcos R. **Estimativas de confiabilidade de produto a partir das contagens mensais de vendas e falhas ao longo do período de garantia.** 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Qualidade) - Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ERICSSON, Johan; DAHLÉN, Per. **Disruption Reduction – An Important Tool in Order to Reach Just in Time.** Lund: Instituto de Tecnologia de Lund, 1993.

ESTORILIO, Carla. **Definições do QFD (Desdobramento da Função Qualidade) e aplicações da “Primeira Casa da Qualidade”.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2008.

FERNANDES, João M. **Notas de aula da disciplina de manutenção mecânica – Manutenção Centrada Em Confiabilidade.** Curitiba: Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2014.

Grupo Volvo América Latina. **Atlas da Acidentalidade no Transporte Brasileiro.** Curitiba, 2014. 120 p.

JUNIOR, Luiz F. N. **Tomada de decisão com múltiplos critérios: pesquisa-ação sobre o método AHP em pequenas empresas**. 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) - Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2006.

KUMAR, M.; UPADHYAY, S.; OGBU, C.; ANTONY, J. An investigation of Six Sigma implementation within UK manufacturing SMEs: findings from the survey. In: European Research Conference on Continuous Improvement and Lean Six Sigma, 1., 2008, Glasgow. **Anais...** Glasgow: Universidade de Strathclyde, 2008.

LARSSON, Marcus; NORÉN, Martin. **Assessment and improvement of Volvo Powertrain's problem solving process "Quality Journal" vs. "Six Sigma"**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Gestão da Tecnologia e Economia, Universidade Técnica Chalmers, Gotemburgo, 2011.

LJUNGBERG, Örjan. Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities. **International Journal of Operations and Production Management**, Bradford, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

O'CONNOR, Patrick D. T.; KLEYNER, Andre. **Practical Reliability Engineering**. 5. ed. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd., 2012.

OGANDO, Joseph. Safety Nets. **Design News Magazine**, Lexington, v. 59, n. 6, p. 71-74, 2003.

PARIS, Wanderson S. **Proposta de uma metodologia para identificação de causa raiz e solução de problemas complexos em processos industriais: um estudo de caso**. 2003. 111. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PRICE, C.J.; HUNT, J.E.; LEE, M.H.; ORMSBY, R.T. A model based approach to the automation of failure mode effects analysis for design. **The Journal of Automobile Engineering**, Dyfed, v. 206, n. 4, p 285-91, 1992.

PUNNAKITIKASHEM, P.; SOMSUK, N.; MCLEAN, M.W.; LAOSIRIHONGTHONG, T. Linkage between Continual Improvement and Knowledge-Based View Theory. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, 17., 2010, Xiamen. **Anais eletrônicos...** Xiamen: IE&EM, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=5646081>>. Acesso em: 10 mai. 2014.

RAMBAUD, L. **8D structured problem solving: a guide to creating high quality 8D reports (spiral-bound)**. PHRED Solutions, 2006.

RELIASOFT. **Characteristics of the Weibull Distribution**. 2002. 1 gráfico, color. Disponível em: <<http://www.weibull.com/hotwire/issue14/relbasics14.htm>>. Acesso em: 8 jul.2014.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. Decision-aid: an elementary introduction with emphasis on multiple criteria. **Information Science and Technology**, v.2, p.109-123. 1993.

ROY, R.; SOUCHOROUKOV, P.; SHEHAB, E. Detailed cost estimating in the automotive industry: Data and information requirements. **International Journal of Production Economics**, Amsterdã, v. 133, n. 2, p. 694-707, out. 2011.

SCHMITT, Robert. **Qualitäts- und Projektmanagement**. Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, v. 5, 2013.

TERNER, Gilberto L. K. **Avaliação da aplicação dos métodos de análise e solução de problemas em uma empresa metal-mecânica**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

UDUMA, Kalu. Innovations in Auto Safety Design, a Key to Quality Improvement. **Technological Forecasting and Social Change**, Nova York, v. 64, n. 2, p.197-208, 2000.

VIEIRA, E.; OLIVEIRA, T.; CUNHA, G.; MEDEIROS, A. Análise SWOT: a simplicidade como eficiência. In: XVI SEMINÁRIO DE PESQUISA DO CCSA, 16., 2010, Natal. **Anais eletrônicos...**Natal: CCSA, 2010. Disponível em: <<http://ccsa.ufrn.br/seminario2010/anais/artigos/gt8-07.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

VINODH, S.; SANTHOSH D. Application of FMEA to an automotive leaf spring manufacturing organization. **The Total Quality Management Journal**, Bradford, v. 24, n. 3, p 260-274, 2012.

WHITFIELD, Richard C.; KWOK, Kam M. Improving integrated circuits assembly quality – a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, vol. 13, no. 5, pp. 27-39, 1996.