

**FERNANDA BARBOZA ROSO**

**REDUÇÃO DO RETORNO EM GARANTIA DE MOTORES DE TRAÇÃO  
APLICADOS A EQUIPAMENTOS METROFERROVIÁRIOS**

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de Engenheiro de Produção

São Paulo  
2008

**FERNANDA BARBOZA ROSO**

**REDUÇÃO DO RETORNO EM GARANTIA DE MOTORES DE TRACÇÃO  
APLICADOS A EQUIPAMENTOS METROFERROVIÁRIOS**

Trabalho de formatura apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Diploma de Engenheiro de Produção

Orientador: Prof. Dr. Alberto Wunderler Ramos

São Paulo  
2008

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Roso, Fernanda Barboza**

**Redução do retorno em garantia de motores de tração aplicados a equipamentos metroferroviários / F.B. Roso. -- São Paulo, 2008.**

**109 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.**

**1.Qualidade da produção 2.Garantia da qualidade 3.Motores elétricos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.**

À minha família, por todo o apoio,  
amor e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Carlos Alberto e Rosilda, que sempre me apoiaram, depositando sua confiança em mim até mesmo quando eu me desacreditava. Sem vocês eu não teria conseguido.

Aos meus irmãos, Bruno e Viviane, sou grata por todo o carinho e incentivo.

Agradeço ao professor Alberto Wunderler Ramos, que aceitou a missão de ser meu orientador, pela atenção, pelas sugestões, pelas broncas, enfim, por toda a contribuição para a realização deste trabalho.

De forma especial, agradeço a todos os funcionários da MGE Transportes, que colaboraram para a elaboração de todo o trabalho, sempre pacientes e empenhados. À equipe selecionada para participação do projeto, meus sinceros agradecimentos.

Por fim, agradeço aos meus amigos, que sempre me apoiaram, pelos momentos difíceis que compartilhamos, mas, principalmente, pelos momentos alegres que me proporcionaram.

## RESUMO

Atualmente, observa-se o acirramento da competitividade de forma geral. No setor metroferroviário a situação não é diferente, tornando a excelência no atendimento às expectativas do cliente essencial para se manter no mercado. No segmento de manutenção de equipamentos, essas expectativas estão relacionadas à correta definição do escopo do serviço a ser realizado, à conformidade de seu processo produtivo e à garantia de operação após a entrega. Dentre estas, a última é a que mais impacta os clientes, uma vez que a falta de qualidade é percebida quando da operação do equipamento, o que acarreta grandes perdas financeiras. Este trabalho visa à redução do retorno no período de garantia dos equipamentos por meio da proposição de um plano de ação. Para essas ações de melhoria, serão abordados métodos de processos, qualificação da mão-de-obra e os equipamentos utilizados. Foram utilizadas técnicas de soluções de problemas e a Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA) para a identificação das principais causas das falhas com o intuito de, assim, minimizá-las, visando à redução do índice de retorno em garantia.

**Palavras-chave:** Qualidade. Análise dos Modos de Falha e Efeitos. Garantia. Motores elétricos.

## **ABSTRACT**

Nowadays, it is possible to observe the intensification of the competition in general. In the rail and subway sector, the situation isn't different, making excellence in servicing client expectations essential for remaining in the market. In the equipment maintenance segment, these expectations are related to correctly defining the scope of the service to be undertaken, conformity with the productive process and post-delivery guarantee of operation. Among these, the latter is the one that impacts clients the most, since the lack of quality is perceived when operating the equipment, which leads to heavy financial losses. This study aims to the reduction of equipment return during the guarantee period by proposing a plan of action. For these improvement actions, process methods, workforce training and the equipment used will be discussed. The problem solving and the Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) techniques were used for the identification of the main causes of failure in order to minimize them, so as to reduce the ratio of returns under guarantee.

**Key-words:** Quality. Failure Modes and Effects Analysis. Guarantee. Electric engines.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Produção ferroviária de 1997 a 2007. ....	13
Figura 1.2 - Faturamento do setor ferroviário de 1998 a 2007. ....	14
Figura 1.3 – Fluxograma de definição de escopo para a armadura. ....	17
Figura 1.4 - Fluxograma do processo produtivo da armadura. ....	18
Figura 1.5 - Acamação de bobinas. ....	19
Figura 1.6 - Usinagem de ponta das bobinas. ....	19
Figura 1.7 - Usinagem de carcaça. ....	19
Figura 1.8 - Fluxograma do processo produtivo da carcaça. ....	20
Figura 1.9 - Fluxograma de montagem do motor. ....	21
Figura 3.1 – Evolução do índice de retorno em garantia de 2004 a 2007. ....	29
Figura 3.2 – Volume de produção de 2006 a maio de 2008. ....	30
Figura 3.3 - Gráfico de Pareto para índice de retorno em garantia por cliente. ....	32
Figura 3.4 - Gráfico de Pareto para volume de equipamentos por cliente. ....	33
Figura 3.5 - Gráfico de Pareto para volume financeiro por cliente. ....	34
Figura 3.6 – Esquema do motor. ....	35
Figura 3.7 - Esquema do motor expandido. ....	35
Figura 3.8 - Gráfico de Pareto para principais reclamações dos clientes de 2006 a maio de 2008. ....	37
Figura 4.1 - Formulário preliminar do FMEA. ....	49
Figura 4.2 - Formulário preliminar do FMEA (continuação). ....	50
Figura 4.3 - Formulário preliminar do FMEA (continuação). ....	51
Figura 5.1 - Formulário final do FMEA. ....	59
Figura 5.2 - Formulário final do FMEA (continuação). ....	60
Figura 5.3 - Formulário final do FMEA (continuação). ....	61
Figura 5.4 - Gráfico de Pareto para RPN. ....	62
Figura 5.5 - Diagrama de Esforço vs. Resultado. ....	65
Figura 6.1 - Fluxo do processo de treinamento de funcionários. ....	73
Figura 6.2 - Posicionamento do calibrador no eixo. ....	80
Figura A.1 - Fluxograma do recebimento dos equipamentos. ....	107
Figura A.2 - Fluxograma da definição do escopo de serviço da carcaça ....	107
Figura A.3 - Fluxo do processo de treinamento externo de funcionários. ....	108
Figura A.4 - Fluxo do processo de treinamento interno de funcionários. ....	109



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Informações da Unidade Diadema. ....	15
Tabela 1.2 - Informações da Unidade Hortolândia. ....	15
Tabela 3.1 - Custos do departamento de qualidade. ....	31
Tabela 3.2 - Participação dos custos de retorno em garantia.....	31
Tabela 3.3 – Reclamações dos principais clientes e suas frequências. ....	36
Tabela 5.1 - Escala de severidade – FMEA.....	53
Tabela 5.2 - Escala de ocorrência – FMEA. ....	54
Tabela 5.3 - Escala de detecção – FMEA.....	55
Tabela 5.4 - Atribuição de notas – FMEA. ....	56
Tabela 5.5 - Notas do diagrama de Esforço vs. Resultado.....	64
Tabela 6.1 - Parâmetros para inspeção a frio.....	81
Tabela 8.1- Benefícios anuais médios gerados pelas soluções propostas.....	89
Tabela 8.2 - Resumo dos indicadores VPL e TIR para as soluções.....	96
Tabela A.1 - Custo de equipamentos. ....	105
Tabela A.2 - Custo de mão-de-obra ....	105
Tabela A.3 - Notas individuais do diagrama de Esforço vs. Resultado.....	106

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	Resumo dos capítulos .....	11
1.2	Objetivo .....	12
1.3	O setor ferroviário .....	12
1.4	A empresa .....	14
1.5	Processo de Produção .....	15
1.6	O estágio .....	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
2.1	QC Story .....	23
2.2	FMEA .....	25
<b>3</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>27</b>
3.1	O problema .....	27
3.2	Índice de retorno em garantia .....	28
3.3	Dados atuais .....	29
3.4	Objetivo .....	38
<b>4</b>	<b>OBTENÇÃO DE DADOS .....</b>	<b>39</b>
4.1	Formação da equipe de projeto .....	39
4.2	Funções .....	40
4.3	Modos de Falha e Efeitos .....	41
4.3.1	<i>Isolação</i> .....	42
4.3.2	<i>Eixo</i> .....	42
4.3.3	<i>Mancal</i> .....	43
4.3.4	<i>Coletor</i> .....	43
4.3.5	<i>Outros elementos do motor</i> .....	43
4.4	Causas .....	44

4.5	Formas de controle .....	48
4.6	Formulário FMEA.....	48
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>52</b>
5.1	Escalas.....	52
5.1.1	Severidade .....	52
5.1.2	Ocorrência.....	53
5.1.3	Detecção.....	54
5.1.4	RPN.....	55
5.2	Atribuição de notas.....	55
5.3	Identificação das prioridades .....	62
<b>6</b>	<b>PLANO DE AÇÃO .....</b>	<b>68</b>
6.1	Opção 1.....	68
6.2	Opção 2.....	71
6.3	Opção 4/5.....	74
6.4	Opção 10.....	75
6.5	Opção 13.....	77
6.6	Opção 14/16.....	78
6.7	Opção 24.....	82
<b>7</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES .....</b>	<b>83</b>
<b>8</b>	<b>VIABILIDADE ECONÔMICA DAS AÇÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE A – Composição dos custos da área de qualidade .....</b>	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE B – Notas individuais do diagrama de Esforço vs. Resultado .....</b>	<b>106</b>
	<b>ANEXO A – Fluxogramas do processo produtivo.....</b>	<b>107</b>
	<b>ANEXO B – Fluxos dos processos de treinamento dos funcionários .....</b>	<b>108</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Resumo dos capítulos

- **Capítulo 1 – Introdução:** São apresentados o objetivo do trabalho e o setor ferroviário no qual a MGE Transportes atua. Na sequência, é realizada uma breve descrição da empresa, de seu processo produtivo e do estágio realizado.

- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** É realizado um resumo da base teórica, isto é, as principais ferramentas utilizadas ao longo do projeto.

- **Capítulo 3 – Identificação do problema:** São levantados os dados atuais da empresa a fim de iniciar a investigação das principais causas do retorno em garantia e é feita seleção do escopo de atuação deste projeto.

- **Capítulo 4 – Obtenção de dados:** Este capítulo é dedicado ao levantamento de informações para uso da ferramenta FMEA. Todos os elementos que compõe o formulário FMEA são, então, apresentados.

- **Capítulo 5 – Análise dos dados:** É apresentada a parte de análise do FMEA por meio de notas de severidade, ocorrência e detecção, resultando no RPN (Grau de Prioridade de Risco). São também utilizados um Gráfico de Pareto e um diagrama Esforço vs. Resultado para identificação das principais causas dos modos de falha que serão o foco as ações de melhoria.

- **Capítulo 6 – Plano de ação:** São apresentadas propostas de ações de melhoria a fim de reduzir as causas dos modos de falha mais relevantes apresentadas no capítulo 5. Essas propostas consistem em novas ações, como treinamento dos funcionários, substituição de elementos do motor, inspeção de materiais, certificação de profissionais, uso de calibradores e melhoria do relacionamento dos fornecedores.

- **Capítulo 7 – Implementação das ações:** Descrição de como as propostas de ação podem ser implementadas pela empresa.

- **Capítulo 8 – Viabilidade econômica das ações:** Por meio dos métodos VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno) são apresentados os valores monetários relacionados às soluções propostas.

- **Capítulo 9 – Conclusão:** Visa a recapitular as etapas que compõem este projeto e a apresentar as principais conclusões acerca da elaboração do trabalho de formatura.

## 1.2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo identificar as principais causas do retorno em garantia de motores de tração aplicados a equipamentos metroferroviários e minimizá-las, alcançado a meta do indicador de retorno estabelecida pela empresa a fim de aumentar a satisfação dos clientes simultaneamente à redução de custos pela não-qualidade.

## 1.3 O setor ferroviário

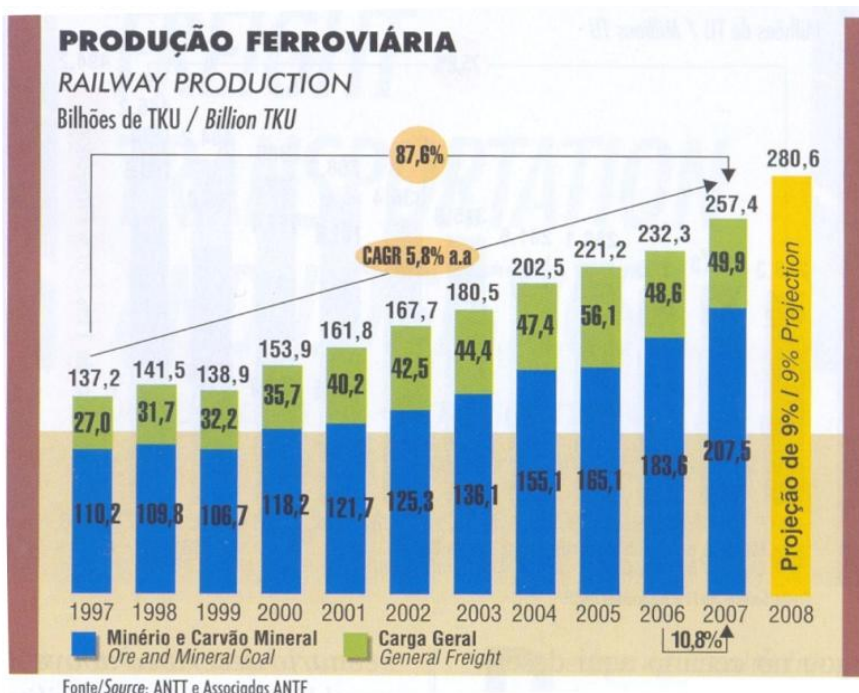
Segundo dados da CNT (Confederação Nacional do Transporte) do ano de 2001, a participação do modal ferroviário no Brasil encontra-se em torno de 20%. Caso a análise seja voltada para a densidade da malha ferroviária, isto é, a extensão da malha ferroviária pela área territorial, observa-se a defasagem do Brasil frente aos demais países, pois o índice nacional é de 3,4, ao passo que em países como Índia e Estados Unidos da América ele é superior a 20.

Observa-se, portanto, que historicamente as ferrovias foram relegadas a segundo plano. No entanto, nos últimos anos tal tendência tem se revertido, com o

aumento de investimentos no setor devido às privatizações e ao plano de desenvolvimento econômico brasileiro.

Há aumento da produção e investimentos tanto para transporte de carga quanto de passageiros. Para 2008 é projetado, segundo o Ministério de Transportes, um investimento de R\$ 2.585 milhões em malhas ferroviárias e de R\$ 3.127 milhões em metrô segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estruturas de Transportes).

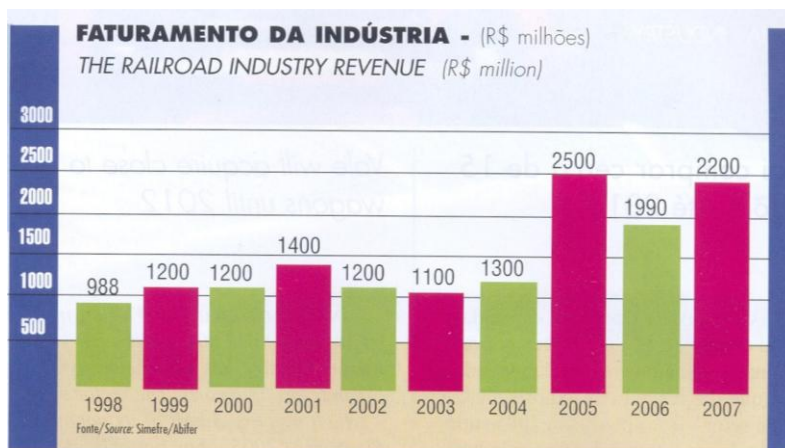
A seguir é apresentado um gráfico com a evolução da produção ferroviária no Brasil.



**Figura 1.1 – Produção ferroviária de 1997 a 2007.**

Fonte: ANTT e Associados ANTF.

A evolução do faturamento do setor ferroviário pode ser observada no gráfico abaixo.



**Figura 1.2 - Faturamento do setor ferroviário de 1998 a 2007.**

Fonte: Simefre/Abifer.

## 1.4 A empresa

A MGE Transportes foi fundada em 1991 e está focada nos mercados de material rodante (locomotivas, metrô e trens-unidade), executando serviços de manutenção, reforma e modernização de sistemas e equipamentos de tração para material rodante, motores e geradores elétricos.

Até o ano de 1999, a empresa realizava apenas serviços em motores de geradores de tração. Hoje, além desse serviço, são realizados serviços em equipamentos de controle de tração, manutenção de trens-unidades e locomotivas diesel-elétricas, reforma e adequação de locomotivas diesel-elétricas importadas, revisão de locomotivas diesel-elétricas, rebitolagem de truques e fabricação de motores de tração para locomotivas diesel-elétricas.

A empresa conta com duas instalações industriais, Diadema e Hortolândia, além de realizar atendimentos *on site*. O quadro de funcionários conta com 360 pessoas, das quais 140 trabalham em Diadema, 140 em Hortolândia e 80 funcionários realizam serviço *on site*. O trabalho é dividido em dois turnos.

Adiante são apresentados dados referentes às duas unidades da empresa.

Tabela 1.1 - Informações da Unidade Diadema.

Unidade Diadema	
Área construída	6.000 m <sup>2</sup>
Capacidade de produção	2.000 motores/ano 60 controles/ano
Principais produtos e serviços	Motores e geradores de tração elétrica Equipamentos de controle de tração elétrica e auxiliares Painéis elétricos/contatores para locomotivas

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 1.2 - Informações da Unidade Hortolândia.

Unidade Hortolândia	
Área construída	9.200 m <sup>2</sup>
Capacidade de produção	120 locomotivas/ano 20 trens-unidade/ano
Principais produtos e serviços	Adequação de locomotivas importadas Revisão de locomotivas e trens unidades Rebitolagem de truques Reforma e modernização de trens unidades e locomotivas.

Fonte: Elaborado pela autora.

No ano de 2007, a MGE Transportes produziu 1.554 equipamentos, dos quais apenas 4% foram voltados para exportação. No ano de 2008, há uma tendência ao aumento da participação no mercado externo com a exportação de equipamentos para Chile e Índia.

## 1.5 Processo de Produção

O presente trabalho de formatura terá como foco a unidade de Diadema da MGE Transportes, onde o principal serviço oferecido é o de manutenção de motores elétricos. Tal serviço é o alvo da análise deste projeto, uma vez que o índice de retorno em garantia se refere unicamente a ele.

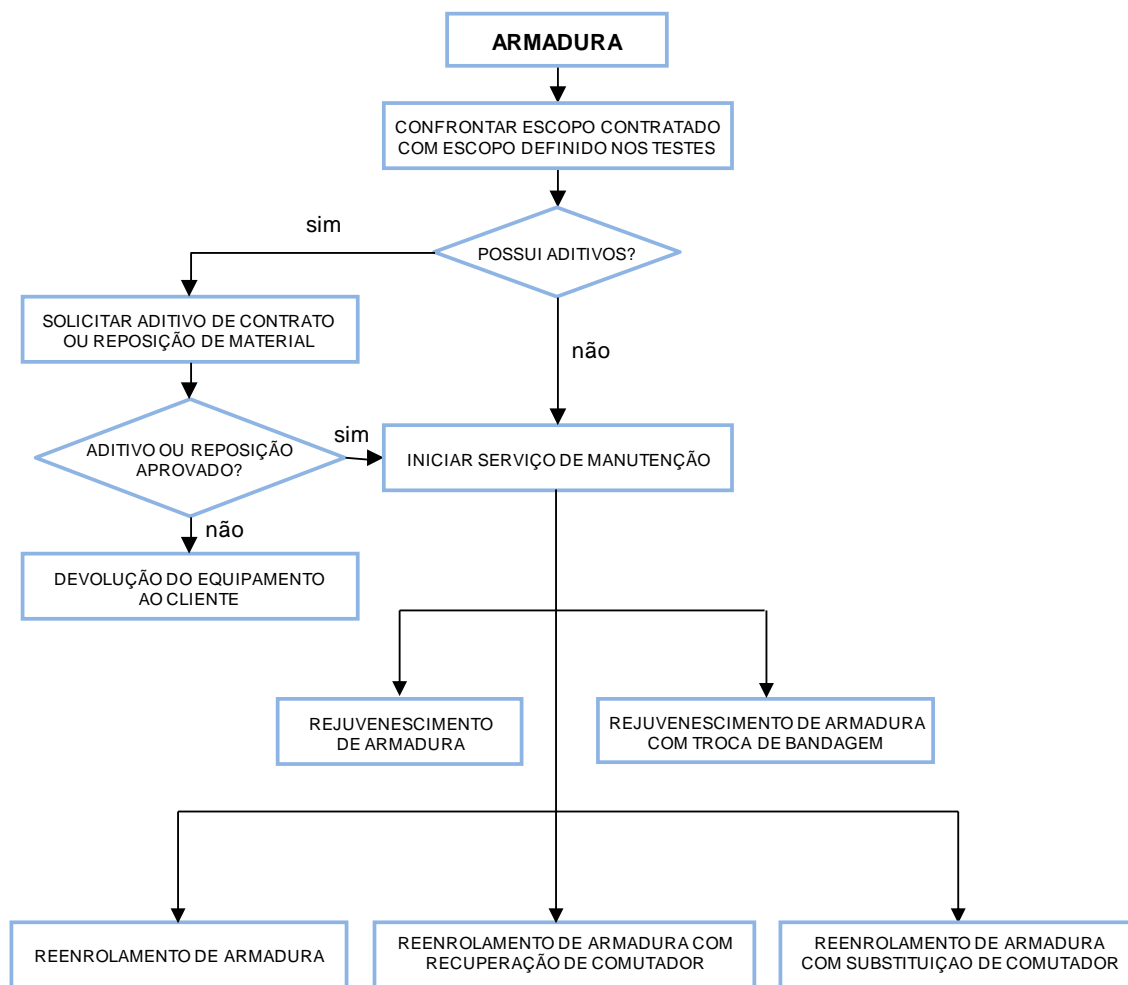
Desta forma, o processo de produção apresentado a seguir será voltado para esse serviço.



O processo produtivo se inicia com o recebimento e posterior desmontagem dos motores. O recebimento pode ser de motores completos ou de partes avulsas, tais como a carcaça (parte móvel) e a armadura (parte fixa).

O serviço de desmontagem consiste em desmembrar o motor, identificando cada uma das peças na ordem de serviço. A seguir é realizado um *check-list* que formaliza o estado inicial do motor e seus componentes. Posteriormente, lava-se o motor. Tal procedimento é realizado com água quente sob pressão e sabão com ácido, e visa a retirar a graxa ou qualquer outro resíduo que possa estar impregnado no motor devido ao uso. A secagem, subsequente, é realizada em estufa a 150°C. A etapa a seguir é a de inspeção mecânica e elétrica, na qual são realizados testes para identificação dos problemas apresentados pelo motor para assim possibilitar a definição do escopo do serviço. Alguns exemplos desses testes são: inspeção dimensional, isolamento elétrica de carcaça e armadura e valor de resistência ôhmica.

Ao final da etapa de recebimento deve-se definir o escopo do serviço a ser realizado. Tal etapa do processo produtivo é de extrema importância, pois, caso seja realizada de modo equivocado, todo o serviço a ser realizado será comprometido, as expectativas do cliente não serão atendidas e o motor poderá ser entregue sem estar em seu perfeito estado de funcionamento. A seguir é apresentado o fluxograma de definição de escopo para a armadura.



**Figura 1.3 – Fluxograma de definição de escopo para a armadura.**

Fonte: MGE Transportes.

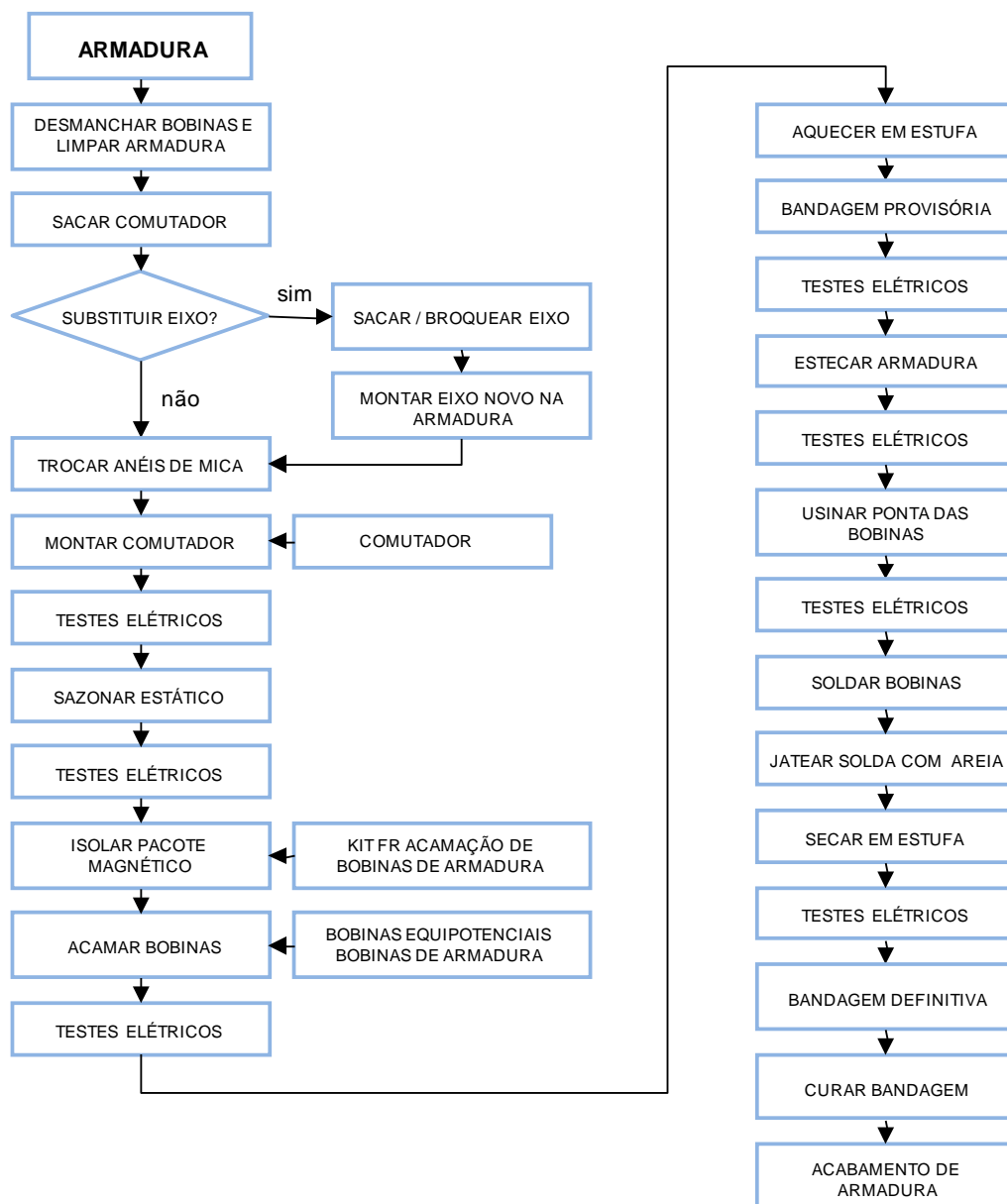
Observa-se que o equipamento é enviado pelo cliente já com o escopo de manutenção definido. A empresa, no entanto, busca confrontar o pedido do cliente com o observado por meio dos testes mecânicos e elétricos, e, somente após um acordo mútuo, é iniciada a realização do serviço a partir do escopo definido. Para a armadura, observa-se que os cinco escopos de serviço realizados pela empresa são: rejuvenescimento de armadura, rejuvenescimento de armadura com troca de bandagem, reenrolamento de armadura, reenrolamento de armadura com troca de comutador e reenrolamento de armadura com substituição de comutador.

No caso da carcaça, o processo de definição de escopo é idêntico, e os escopos de serviço realizados são: rejuvenescimento de carcaça, rejuvenescimento de carcaça com substituição de cabos, reisolação ou troca de bobinas com substituição de cabos e solda e usinagem de carcaça com reisolação ou troca de bobinas com substituição de cabos.

Assim, cada equipamento é alocado em um escopo e o processo produtivo é diferente a partir deste ponto. Para ilustrar a continuidade do processo produtivo foram selecionados os escopos mais complexos de armadura e carcaça.

A seguir é apresentado o fluxograma do processo produtivo da armadura.

**Escopo: Reenrolamento de Armadura com Troca de Comutador**



**Figura 1.4 - Fluxograma do processo produtivo da armadura.**

Fonte: MGE Transportes.

Observa-se durante todo o fluxo a necessidade de realização de testes elétricos para garantir a isolamento do motor e a prevenção de curto-circuitos, já que o

processo produtivo apresenta grandes esforços mecânicos e variação térmica do material.

Na seqüência, são expostas algumas ilustrações de etapas do processo produtivo da armadura.



**Figura 1.5 - Acamação de bobinas.**



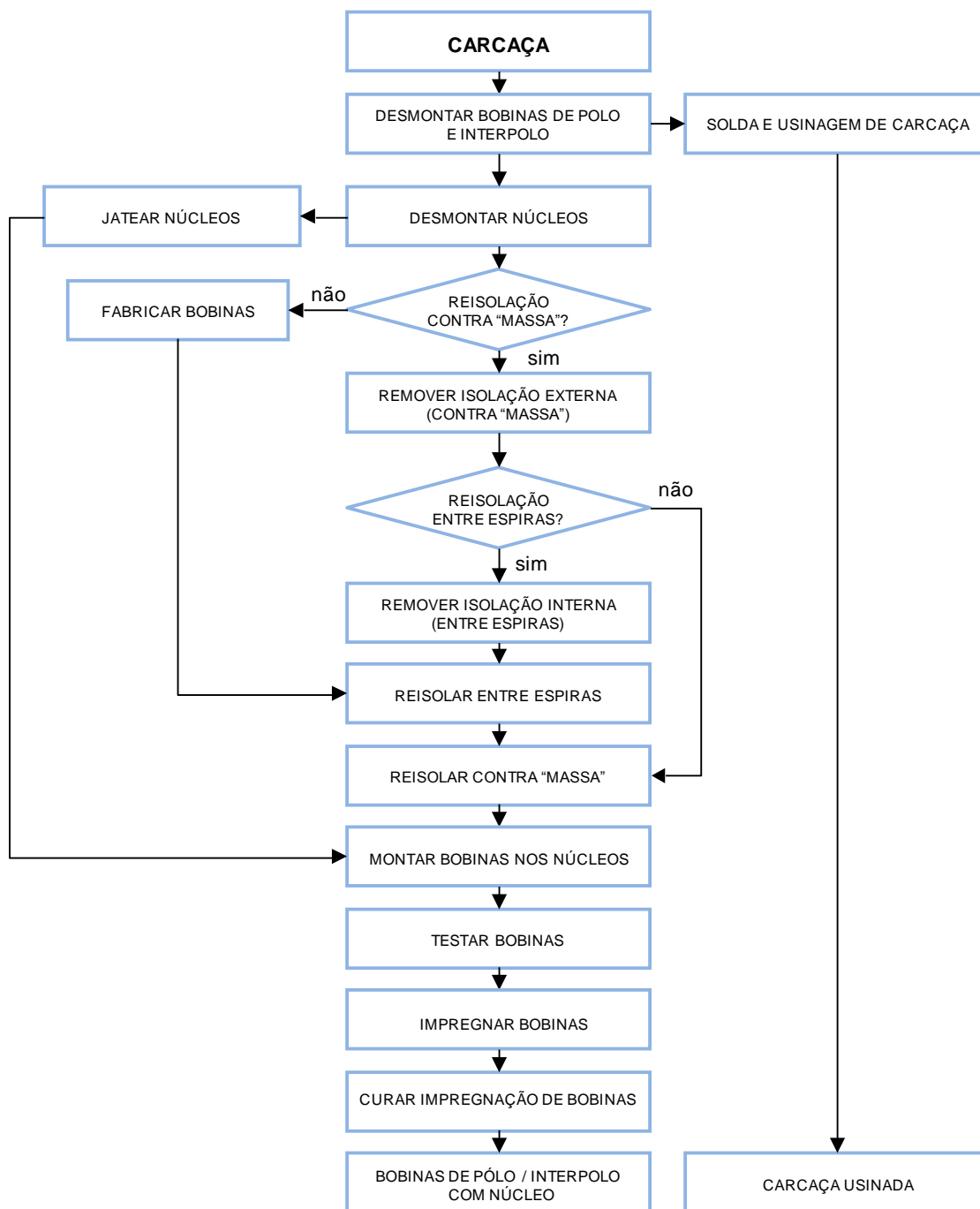
**Figura 1.6 - Usinagem de ponta das bobinas.**

No fluxo da carcaça, a maior atividade realizada é de solda e usinagem desta. Essa operação visa a ajustar o dimensional da carcaça, que, pelo uso, fica fora do especificado. A seguir são apresentados uma ilustração dessa etapa e o fluxograma do processo produtivo da carcaça.



**Figura 1.7 - Usinagem de carcaça.**

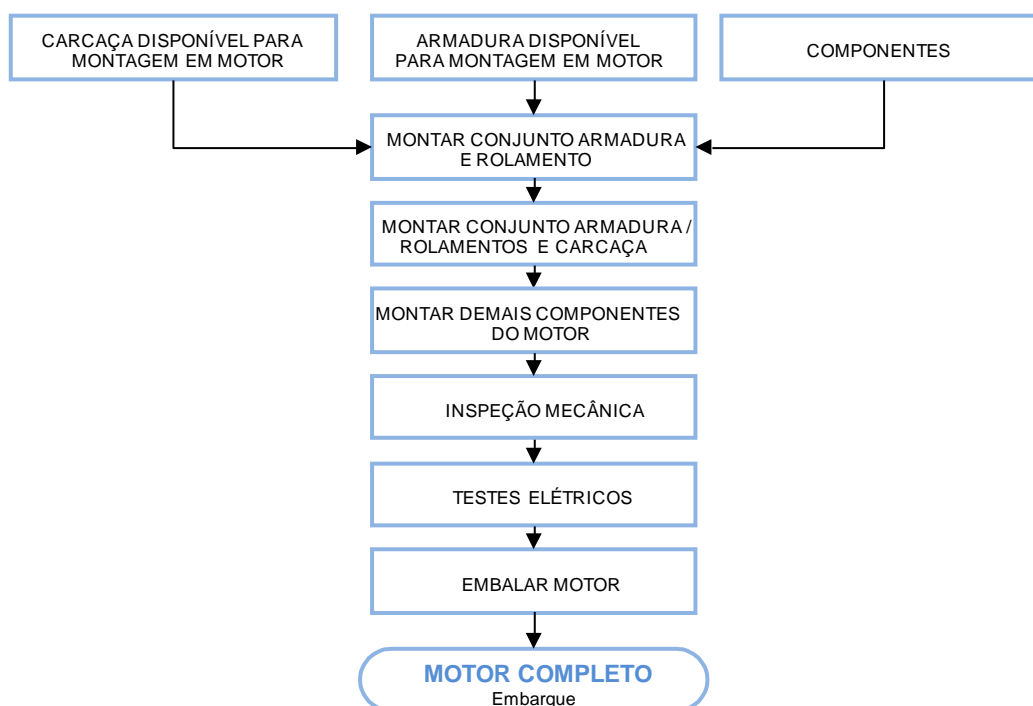
**Escopo: Solda e Usinagem de Carcaça com Reisolação ou Troca de Bobinas e Substituição de Cabos**



**Figura 1.8 - Fluxograma do processo produtivo da carcaça.**

Fonte: MGE Transportes.

No caso do recebimento de partes avulsas, o processo produtivo já está finalizado. No entanto, no caso de um motor completo, algumas etapas ainda são realizadas antes de sua expedição. A seguir é apresentado o fluxograma de montagem final do motor.



**Figura 1.9 - Fluxograma de montagem do motor.**

Fonte: MGE Transportes.

## 1.6 O estágio

O estágio na MGE Transportes foi realizado de fevereiro a abril de 2008, na área de qualidade da empresa.

Esta área é responsável pela orientação, emissão e controle da documentação relativa ao Sistema de Gestão da Qualidade, planejamento, convocação e garantia das Auditorias Internas da Qualidade. O Sistema de Gestão da Qualidade da empresa conta com um Manual da Qualidade para funcionários e contratados em conformidade com a norma NBR ISO 9001:2000, certificação essa apresentada pela empresa.

Vale ressaltar que, apesar do pequeno período do estágio, a empresa não era estranha à autora, já tendo sido objeto de estudos em diversos projetos ao longo do curso de engenharia de produção.

O contato para a realização do presente trabalho não se limitou à área de qualidade, contando com a participação das áreas produtiva, de engenharia, financeira e da diretoria executiva.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas as principais técnicas utilizadas ao longo deste projeto.

### 2.1 QC Story

O “QC Story” é uma técnica para resolução de problemas, sendo estes definidos como resultados indesejáveis de um trabalho.

Um problema é dito resolvido quando seu resultado vai de um nível deficiente para um razoável. As causas destes problemas são analisadas sob o ponto de vista de fatos, não havendo espaço, portanto, para decisões sem fundamento, cogitações teóricas ou imaginação. A relação de causa e efeito é analisada em detalhe, e, para evitar que os fatores causais se repitam, são planejadas e implementadas contramedidas para os problemas.

O nome “QC Story” advém do fato de que o procedimento é uma espécie de história das atividades do controle da qualidade.

Segundo Kume (1993), um problema é resolvido conforme as sete etapas expostas a seguir:

1. **Problema:** identificação do problema;
2. **Observação:** reconhecimento dos aspectos do problema;
3. **Análise:** descoberta das principais causas;
4. **Ação:** ação para eliminar as causas;
5. **Verificação:** verificação da eficácia da ação;
6. **Padronização:** eliminação definitiva das causas;
7. **Conclusão:** revisão das atividades e planejamento para o trabalho futuro.



Busca-se a implantação de atividades de melhoria logicamente conscientes e a obtenção de resultados acumulados de forma regular por meio da compreensão e aplicação dessas sete etapas.

A seguir são expostas as atividades envolvidas em cada etapa:

### **1. Problema**

- Mostrar a importância do problema que está sendo tratado em relação aos demais;
- Apresentar histórico do problema;
- Expressar em termos concretos os resultados indesejáveis do desempenho deficiente;
- Fixar um tema e uma meta.

### **2. Observação**

- Caracterizar o problema;
- Investigar diferentes aspectos para descobrir variações no resultado;
- Ir ao local do problema e coletar informações que não podem ser registradas em forma de dados.

### **3. Análise**

- Estabelecer hipóteses, selecionando os principais candidatos a causas;
- Testar as hipóteses por meio da dedução das principais causas dentre os candidatos.

### **4. Ação**

- Realizar uma distinção entre as ações tomadas para atenuar o efeito e as ações para eliminar fatores causais;
- Certificar-se de que as ações tomadas não produzam outros problemas;
- Planejar um conjunto de diferentes propostas para ação, examinar as vantagens e desvantagens de cada uma e selecionar aquela com a qual o pessoal envolvido estiver de acordo.

## **5. Verificação**

- Comparar os dados do problema, obtidos antes e depois da execução das ações, em um mesmo formato;
- Converter os efeitos em valores monetários e comparar o resultado com o valor-alvo;

## **6. Padronização**

- Definir os cinco W's e um H para melhoria do trabalho;
- Executar corretamente as preparações e comunicações necessárias com relação aos padrões;
- Ministrando educação e treinamento;
- Estabelecer um sistema de definição de responsabilidade para verificar se os padrões estão sendo cumpridos.

## **7. Conclusão**

- Adicionar os problemas remanescentes;
- Planejar o que deve ser feito para resolver esses problemas;
- Refletir sobre as coisas que transcorreram bem e mal durante a melhoria das atividades.

## **2.2 FMEA**

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) ou Análise dos Modos de Falha e Efeitos é uma técnica que oferece três diferentes funções: é uma ferramenta para diagnóstico de problemas, um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços (novos ou revisados) e um diário do projeto, processo ou serviço.

Surgiram dois tipos diferentes de FMEA desde o seu desenvolvimento: o FMEA de projeto e o FMEA de produto. Dentre esses dois tipos surgiram diversas versões e variações do FMEA e dos formulários do FMEA, que compartilham os mesmos objetivos e exigem elementos básicos comuns para atingir esses objetivos.

Para garantir eficácia e sucesso, todas as variações do FMEA devem ter cinco elementos básicos:

- 1. Planejamento do FMEA:** deve-se avaliar quem será responsável pelo FMEA e as pessoas que participarão da equipe do projeto, além de selecionar a abordagem a ser utilizada para o desenvolvimento da técnica;
- 2. Listagem dos modos de falha, causas e efeitos:** consiste basicamente na elaboração do questionário do FMEA, que deve conter 11 elementos: cabeçalho, funções, modos de falha, efeitos, severidade, causas, ocorrência, formas de controle, detecção, ações recomendadas e situação atual;
- 3. Priorização e isolamento dos modos de falhas mais importantes:** o grau de prioridade de risco (RPN) é o método tradicional para seleção dos modos de falha mais relevantes. Ele é o produto do grau de severidade, do índice de ocorrência e do índice de detecção;
- 4. Interpretação e leitura dos resultados:** determinação de uma sequência estratégica definida para a abordagem dos modos de falha;
- 5. Acompanhamento:** verificação das ações necessárias para o desenvolvimento de um FMEA eficaz e das recomendações sugeridas no FMEA.

A utilização da técnica do FMEA gera custos para a organização, incluindo tempo dos membros da equipe e uma das atividades mais caras: reuniões. No entanto, esse custo inicial pode ser um investimento se o FMEA for utilizado com eficácia. Esse retorno do investimento será percebido não somente pela empresa, mas também pelos clientes, por meio da redução dos custos de falha.

### **3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA**

Inicialmente, será realizada a identificação do problema a ser analisado. Este capítulo visa a levantar os dados atuais da empresa para, assim, detectar os pontos de melhoria, definindo também o escopo a ser abordado neste projeto.

#### **3.1 O problema**

Existem diversas definições para o termo “qualidade”, pode-se analisá-la com base no produto, no usuário, no valor ou na produção. Cada uma dessas abordagens apresenta um diferente ponto de vista. Contudo, independentemente da definição utilizada, toda empresa busca qualidade ao realizar suas operações.

A não-qualidade gera custos adicionais devido às falhas, que podem ser internas ou externas. As falhas internas são aquelas ocasionadas pela produção de itens defeituosos identificados internamente à organização. Já as falhas externas são aquelas relacionadas a produtos já expedidos pela empresa e que só serão percebidas pelo cliente, seja ele um distribuidor ou o cliente final.

A MGE Transportes já tem implantada uma política de gestão de qualidade que trabalha fortemente na prevenção e avaliação das falhas internas e externas, e, apesar de ainda serem realizados retrabalhos na operação, a empresa julga que as falhas externas são as mais críticas.

As falhas externas, além de também gerarem custos de retrabalho, permitem que a não-qualidade seja percebida pelo consumidor final, o que gera um dano à imagem da empresa difícil de ser mensurado financeiramente.

Para a empresa, falhas externas são aquelas que ocasionam o retorno de um equipamento ainda no seu período de garantia, isto é, aproximadamente até 3 anos após a expedição do produto. Observa-se, desta forma, que o processo de produção

não deve garantir apenas que o equipamento esteja nas condições especificadas ao ser entregue, mas que ele opere como o esperado.

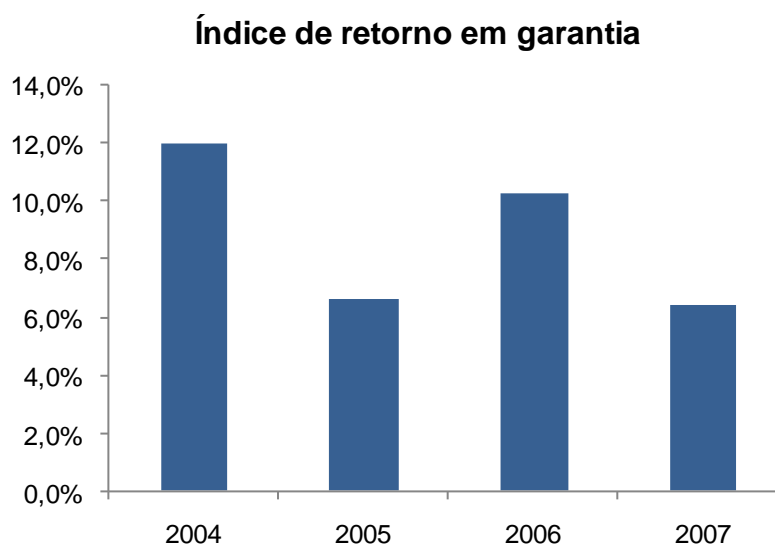
Diante do que foi exposto, a realização de um estudo sobre retorno em garantia torna-se vantajosa, uma vez que poderá propiciar a redução dos custos produtivos da empresa, bem como uma melhora em sua imagem frente aos clientes, que beneficiará seu posicionamento estratégico no mercado.

### **3.2 Índice de retorno em garantia**

Para mensurar o retorno em garantia dos equipamentos, a empresa utiliza um índice, que é definido da seguinte maneira:

$$I_R = \frac{\text{nº de equipamentos retornados em garantia no período}}{\text{nº de equipamentos expedidos no período}} \times 100$$

Tal índice é medido mês a mês ou em um período superior. Para realização do índice anual, são excluídos os dados dos 4 meses anteriores ao momento de medição para que não ocorra distorção do índice, já que se sabe que os motores não costumam retornar em períodos inferiores a 4 meses. A seguir é apresentada a evolução do índice de retorno em garantia nos anos de 2004 a 2007.



**Figura 3.1 – Evolução do índice de retorno em garantia de 2004 a 2007.**

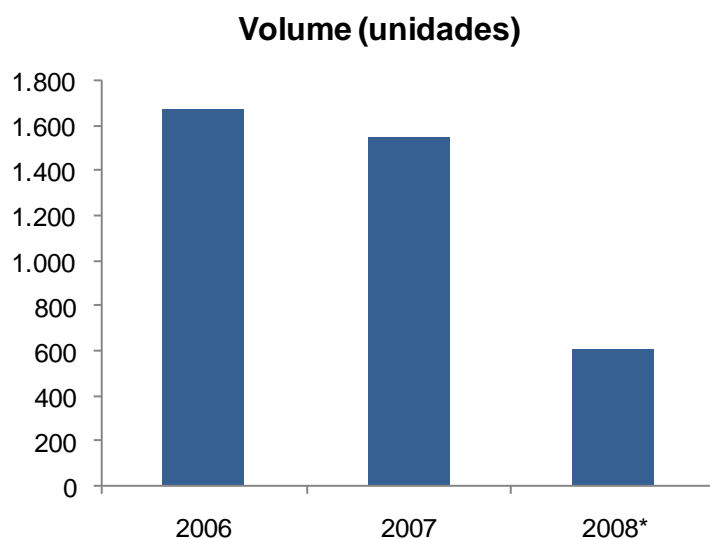
Fonte: MGE Transportes.

A meta da empresa é um índice de retorno em garantia de 3%, sendo tal valor colocado em alguns contratos.

### **3.3 Dados atuais**

A MGE Transportes possui documentação de dados de qualidade a partir do ano de 2003. Tais dados englobam as operações internas e os retornos em garantia, com a especificação da reclamação por parte dos clientes, o modelo do equipamento e as datas de expedição e retorno, entre outros. Porém, dado que a empresa alterou suas atividades ao longo dos últimos anos e visando a que o presente estudo seja o mais verossímil possível para que as ações de melhoria propostas tragam maiores benefícios, serão analisados somente dados referentes aos anos de 2006 e 2007 e aos cinco primeiros meses de 2008.

O primeiro dado a ser apresentado é o volume de produção na empresa no período considerado.



**Figura 3.2 – Volume de produção de 2006 a maio de 2008.**

Fonte: MGE Transportes.

Observa-se que o volume de produção da empresa gira em torno de 1.500 motores por ano. O objetivo da empresa quanto ao retorno de equipamento é, portanto, de aproximadamente 45 motores por ano.

Como dito anteriormente, o principal argumento deste estudo é o dano de imagem que o retorno em garantia proporciona à empresa perante o mercado. Entretanto, não se pode deixar de avaliar os custos gerados pela não-qualidade, uma vez que o objetivo final da empresa é a geração de lucro.

Para realizar este estudo, pretendeu-se levantar quanto dos custos da área de qualidade era gerados pela não-qualidade, em especial pelo retorno em garantia, para, desta forma, torna-se possível mensurar financeiramente os ganhos de um projeto de melhoria nessa área. Esses dados, no entanto, não estavam disponíveis na empresa, pois esta não realiza uma contabilidade por departamento ou por atividade, mas apenas agrega todos os custos e despesas. O custo do retorno em garantia era o único disponível separadamente na empresa. Isso decorre do fato de que, quando um equipamento retorna em garantia, ele gera a abertura de uma nova ordem de serviço, que é acompanhada de forma separada das outras ordens de produção.

Foi realizado, então, um levantamento dos possíveis custos da área de qualidade. Para tanto algumas simplificações foram realizadas. Foram considerados apenas os custos de equipamentos, mão-de-obra e retorno em garantia – sendo que

este último engloba os custos do retrabalho interno e a logística envolvida no transporte do motor do cliente para a fábrica – para a elaboração de uma estimativa do custo da área de qualidade.

A seguir é apresentada uma tabela com os custos da área de qualidade.

**Tabela 3.1 - Custos do departamento de qualidade.**

<b>Custos</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008*</b>
Equipamentos	10.885	10.827	4.367
Mão-de-obra	217.903	251.535	125.280
Retorno em garantia	120.000	173.500	46.200
<b>Total</b>	<b>348.788</b>	<b>435.862</b>	<b>175.847</b>

\* Referente janeiro-maio de 2008

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que os únicos custos de falhas considerados são os de falha externa, que são aqueles relacionados ao retorno em garantia. As falhas internas, que seriam representadas pelo retrabalho realizado na MGE, não foram consideradas, pois não há apontamentos precisos de horas trabalhadas e de matéria-prima utilizada para tais procedimentos. A empresa acredita que tais custos não sejam muito relevantes, no entanto, não se pode assumir isso neste trabalho, já que não são fornecidos dados suficientes para tanto. Por hora, apenas não serão considerados tais dados devido à falta de informações.

Na sequência é apresentada a tabela comparativa que demonstra a participação dos custos do retorno em garantia em relação aos do departamento de qualidade e aos custos totais da empresa.

**Tabela 3.2 - Participação dos custos de retorno em garantia.**

<b>Custos</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008*</b>
Custo do retorno em garantia	120.000	173.500	46.200
% custo da qualidade	34,4%	39,8%	26,3%
% custo total	0,9%	1,6%	0,9%

\* Referente janeiro-maio de 2008

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que os custos devidos a falhas externas representam cerca de 35% dos custos estimados para a área de qualidade. Tal índice é relevante,

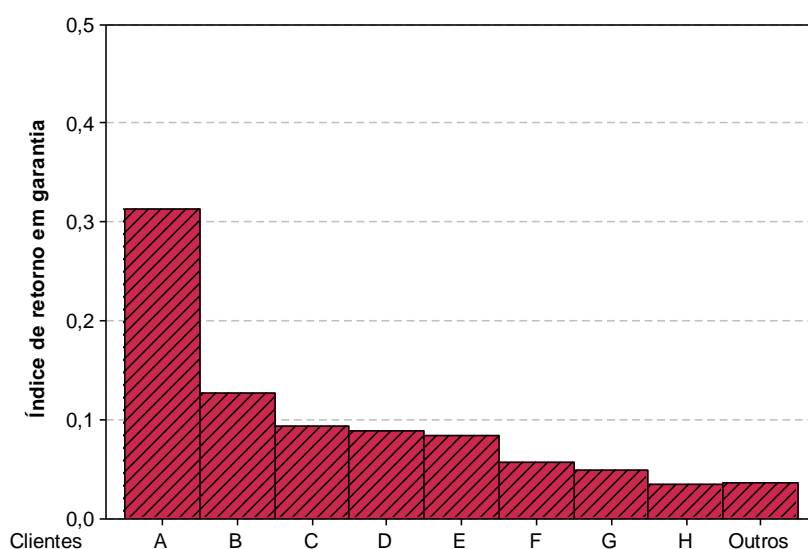


principalmente se atentarmos ao fato de que as falhas externas são percebidas pelos clientes.

Por se tratar de uma empresa que realiza a manutenção de equipamentos, a MGE realiza uma gama de operações, como já foi destacado anteriormente, com diferentes produtos para uma grande quantidade de clientes. Este estudo se estenderia por demais caso fosse realizado com todo o universo de clientes e produtos, havendo, portanto, a necessidade de escolha de um foco para o trabalho. Para tal direcionamento, foram utilizados os dados presentes na empresa, uma vez que todos os equipamentos que apresentam falha externa possuem identificação da data, cliente e reclamação em seu retorno.

Visando a contemplar os retornos em garantia que pudessem trazer maiores perdas de credibilidade frente ao mercado, bem como os maiores custos pela não-qualidade, foram selecionados os principais clientes da empresa como centro do estudo.

Assim, foram feitas análises relativas ao índice de retorno em garantia para cada cliente e aos volumes, tanto de motores quanto financeiros. A seguir, são expostos os gráficos de Pareto relativos a essas análises. Buscando preservar os clientes da MGE, os nomes das empresas não serão citados.

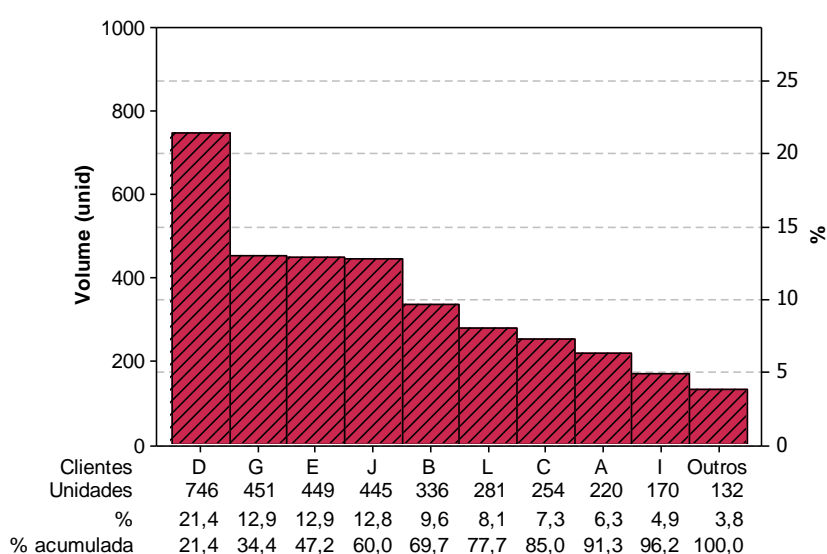


**Figura 3.3 - Gráfico de Pareto para índice de retorno em garantia por cliente.**

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio da Figura 3.3, nota-se que os clientes que apresentam maiores índices de retorno em garantia são A, B, C, D e E, com maior concentração de retornos para o cliente A. Eles são os mais penalizados por falhas externas e os que enxergam maiores problemas de qualidade na MGE Transportes.

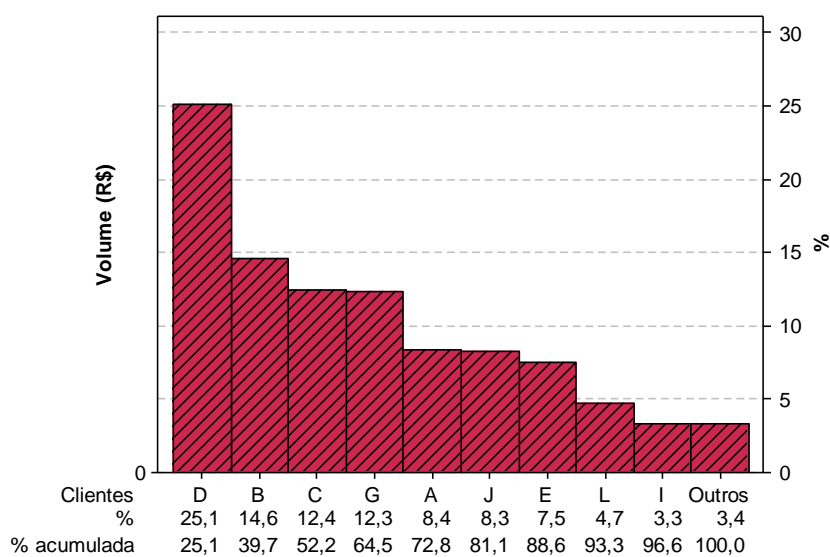
Na seqüência busca-se compreender se os clientes A, B, C, D e E são representativos para a empresa tanto, em volume de financeiro quanto de equipamentos.



**Figura 3.4 - Gráfico de Pareto para volume de equipamentos por cliente.**

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que, dos clientes mais penalizados por retorno em garantia, o cliente D é o mais representativo no que diz respeito ao volume de equipamentos. Entretanto, todos os cinco estão entre os mais expressivos quanto a esse tipo de volume.



**Figura 3.5 - Gráfico de Pareto para volume financeiro por cliente.**

Fonte: Elaborado pela autora.

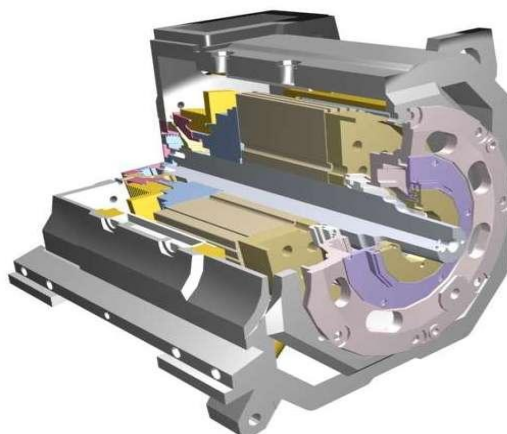
Novamente, nesse quesito, o cliente D figura como principal empresa atendida pela MGE Transportes, e aqui também os cinco clientes com maiores índices de retorno em garantia apresentam-se como de grande relevância para os ganhos da empresa.

Os clientes A, B, C, D e E apresentam índices de retorno em garantia maiores que 9 %, sendo que a meta da empresa gira em torno em 3%. Juntos representam 58% do volume de equipamentos que a MGE atendeu de 2006 a maio de 2008, e 68% da receita da empresa no mesmo período, o que justifica, portanto, serem o foco deste estudo.

Uma vez escolhidos os clientes que serão analisados, este estudo volta-se para o aspecto das reclamações apresentadas por esses clientes como justificativa para o retorno do equipamento à empresa.

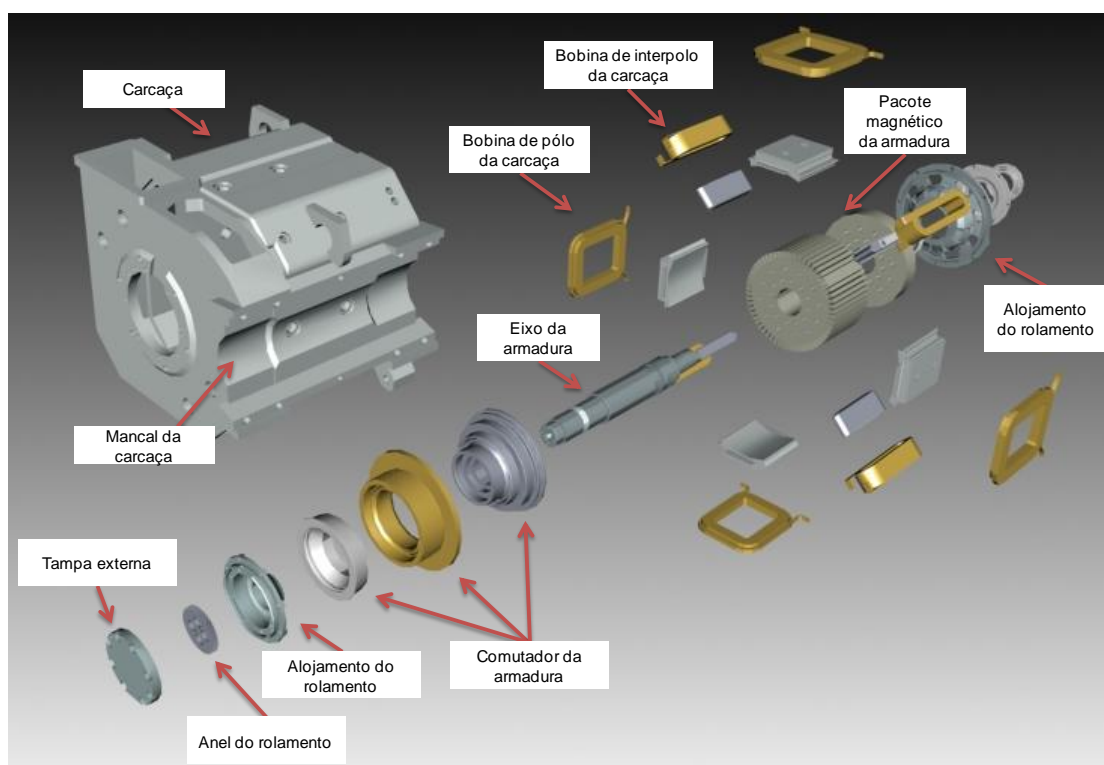
A MGE arquiva a reclamação do cliente segundo um método próprio, confrontando as informações dos clientes com os testes realizados na empresa na chegada do motor. A classificação dos defeitos é por vezes vaga, e não segue um padrão definido.

São apresentadas a seguir as reclamações apresentadas pelos clientes, bem como sua frequência. Porém, antes disto, é apresentado um esquema simplificado do motor e de suas partes, com o intuito de facilitar a compreensão de algumas queixas.



**Figura 3.6 – Esquema do motor.**

Fonte: MGE Transportes.



**Figura 3.7 - Esquema do motor expandido.**

Fonte: MGE Transportes.

Observa-se que o motor é basicamente composto de duas partes: carcaça (parte fixa) e armadura (parte rodante). Os principais componentes do motor foram destacados e auxiliarão na identificação das reclamações que serão expostas a seguir.

**Tabela 3.3 – Reclamações dos principais clientes e suas frequências.**

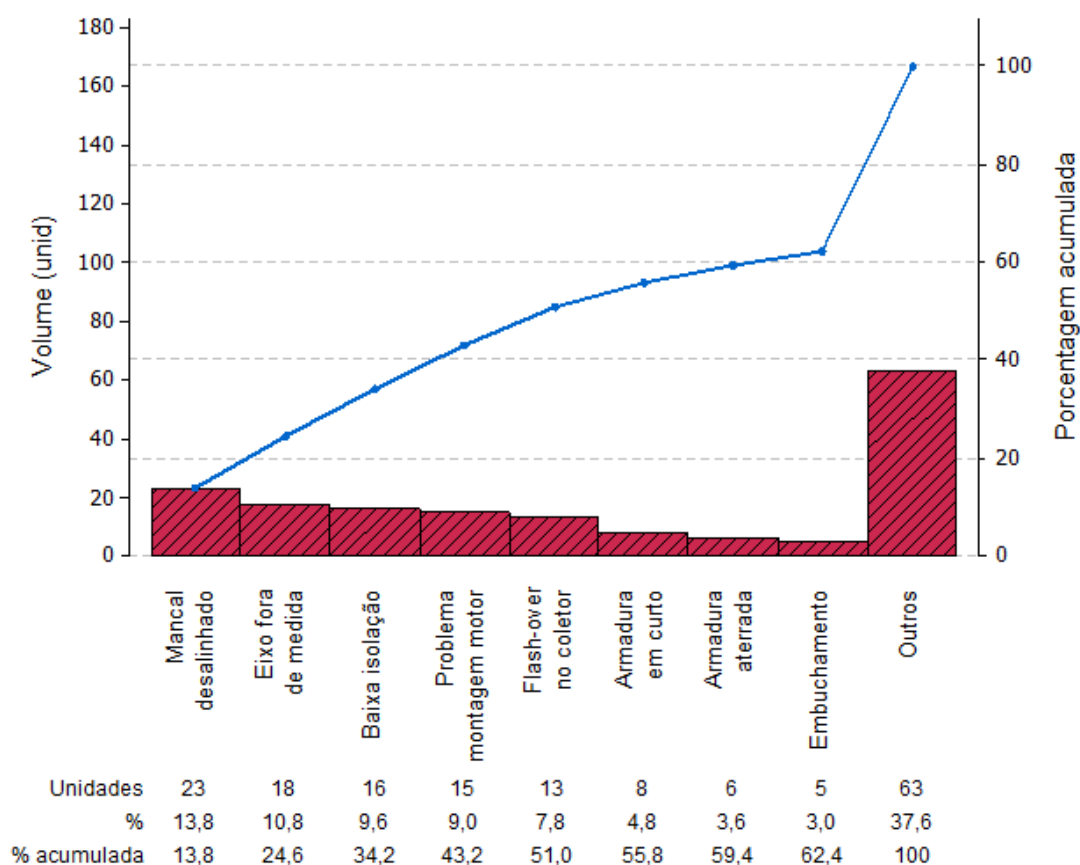
<b>Reclamações dos principais clientes</b>	<b>Frequência</b>	<b>Reclamações dos principais clientes</b>	<b>Frequência</b>
Mancal desalinhado	13,77%	Quebra do suporte do porta-escovas	1,30%
Eixo fora de medida	10,78%	Rolamento	1,30%
Baixa isolamento	9,58%	Rosca danificada	1,30%
Problema na montagem do motor	8,98%	Sujeira	1,30%
Flash-over no coletor	7,78%	Armadura danificada	0,70%
Armadura em curto	4,79%	Bandagem	0,70%
Armadura aterrada	3,59%	Bobinas danificadas	0,70%
Embuchamento	2,99%	Cabo de ligação do porta-escovas	0,70%
Labirinto danificado	2,99%	Calco da bobina	0,60%
Usinagem de carcaça	2,50%	Cone do eixo avariado	0,60%
Dificuldade na montagem	1,90%	Faiscamento no coletor	0,60%
Folga radial	1,90%	Fuga no barramento	0,60%
Ruído	1,80%	Furação errada	0,60%
Vibração	1,80%	Interpolo aberto	0,60%
ATL do comutador	1,30%	Interpolo aterrado	0,60%
Usinagem do comutador	1,30%	Mancal queimado	0,60%
Mancal aberto	1,30%	Pólo aterrado	0,60%
Montagem de defletor	1,30%	Pólo e interpolo aterrados	0,60%
Montagem incorreta	1,30%	Pólo solto	0,60%
Quebra do ventilador	1,30%	Porta-escova desalinhado	0,60%
Quebra do porta-escovas	1,30%	Quebra de ventilador	0,60%

Fonte: MGE Transportes.

Analisando as reclamações apresentadas, percebe-se que o grau de detalhamento é variado, possibilitando por vezes agrupar defeitos em categorias ou estabelecer que uma reclamação é causa de outra. Por exemplo, a principal reclamação (mancal desalinhado) pode ocorrer devido a um problema de usinagem, dificultando a montagem. Observa-se que tanto a usinagem de carcaça quanto a dificuldade na montagem também aparecem listadas como reclamações. É evidente que uma usinagem incorreta pode gerar outros problemas além do desalinhamento de mancais, e também que dificuldades de montagem podem ter outras causas. No entanto, o que se pretende expor é que a classificação adotada pela empresa não é isenta de duplicidade, e que talvez não se apresente como método mais adequado para análise das reclamações.

Quando esse questionamento foi levado à empresa, a área de qualidade admitiu que tal agrupamento tinha suas limitações. Propôs entretanto, que a classificação adotada pela empresa fosse utilizada para a realização deste projeto, visando à utilização do banco de dados que a empresa já possui e à futura comparação dos resultados obtidos.

Desta forma, mantendo a classificação da reclamação proposta pela empresa, foi feito um gráfico de Pareto para levantar as principais causas do retorno em garantia por parte dos clientes.



**Figura 3.8 - Gráfico de Pareto para principais reclamações dos clientes de 2006 a maio de 2008.**

Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico de Pareto para reclamações dos principais clientes apresenta formato achatado, não destacando, de forma relevante, nenhuma das reclamações. Devido a uma grande gama de possibilidades (vide a Tabela 3.3), torna-se necessária uma centralização dos esforços de melhoria em algumas causas. Observa-se que as cinco principais reclamações – isto é, mancal desalinhado, eixo fora de medida, baixa isolamento, problema na montagem do motor e *flash-over* no coletor – representam aproximadamente 50% das queixas dos clientes, de modo que serão priorizadas no desenvolvimento deste trabalho.

No entanto, como já foi citado anteriormente, algumas das outras reclamações serão tratadas de forma indireta, já que estas podem estar relacionadas às queixas centrais.

A seguir as principais reclamações são brevemente explicadas.

- **Mancal desalinhado:** o desalinhamento pode ocorrer do eixo do mancal em relação ao eixo do motor ou entre uma “boca” do mancal e a outra;
- **Eixo fora de medida:** há um desvio da dimensão real em relação à do projeto. A medida equivocada pode ser a do centro do eixo ou de sua extremidade cônica;
- **Baixa isolamento:** em um motor elétrico, a bobina de cobre é isolada contra o ferro. Quando há uma fuga de corrente para a terra, há um problema nessa isolamento;
- **Problema na montagem do motor:** o motor não pode ser montado devido a algum desvio de dimensão, seja ele ocasionado por falhas na usinagem, na não realização de alívios de tensão ou na alteração de dimensão devido à temperatura;
- **Flash-over no coletor:** no comutador há quatro porta-escovas, dois positivos e dois negativos. Quando ocorre uma faísca abaixo da escova até ocorrer um fechamento de circuito entre um porta-escovas e outro pela superfície do comutador, tem-se o *flash-over*, que é uma falha que ocorre em operação.

### 3.4 Objetivo

A partir do levantamento das principais reclamações dos clientes pretende-se compreender quais são as causas que ocasionaram o retorno dos equipamentos em garantia, os processos produtivos envolvidos, para assim identificar os problemas e propor soluções de melhoria para a empresa, visando à redução do índice de retorno em garantia e a uma maior satisfação dos clientes.

## **4 OBTENÇÃO DE DADOS**

Identificado o escopo deste projeto, iniciou-se a aplicação da ferramenta FMEA e o levantamento de cada elemento que compõe seu formulário.

### **4.1 Formação da equipe de projeto**

A primeira atividade realizada para o desenvolvimento deste projeto foi a formação de uma equipe, que, por meio de seus conhecimentos sobre a empresa, os produtos e processos, colaborou para o levantamento e para a análise de dados.

Essa equipe é também a responsável pelo andamento do projeto e sua avaliação, exercendo, portanto, papel fundamental para o sucesso das ações de melhoria tomadas.

A seleção das pessoas foi realizada de forma criteriosa, embasada nas necessidades da autora e nas recomendações da direção da empresa. A equipe de projeto foi, então, composta por especialistas em diversas áreas, como mostrado a seguir:

- Gerente de engenharia;
- Gerente industrial;
- Supervisor de produção;
- Supervisor de qualidade;
- Técnico de qualidade;
- Líder de usinagem;
- Líder de montagem de carcaça.

Os gerentes foram selecionados buscando a compreensão de uma perspectiva mais macroscópica dos processos, e mais ligada à parte administrativa. Os



supervisores já trabalham bem próximos ao processo e tendem a conhecer mais detalhadamente as atividades realizadas. O técnico detém um conhecimento expressivo do histórico da qualidade da empresa e os líderes selecionados trabalham junto aos processos que geram maiores falhas e, desta forma, maior retorno dos equipamentos em garantia.

Para a aplicação da ferramenta FMEA, é essencial que um membro da equipe exerça um papel de liderança para que seja dada continuidade ao projeto após o período em que a autora o acompanhou. O supervisor de qualidade foi o eleito para este cargo, dado que os projetos e treinamentos de qualidade já são realizados por ele, que já detinha conhecimento anterior sobre as técnicas aqui utilizadas.

## 4.2 Funções

Realizada a primeira etapa do FMEA, ou seja, o planejamento – feito por meio da formação de uma equipe – , os esforços foram voltados à elaboração do formulário dessa técnica.

O primeiro elemento, o cabeçalho, é composto pela descrição do projeto e pela relação dos membros que compõe a equipe, uma vez que esta já deve ter sido estabelecida. O segundo elemento representa as funções que serão analisadas no projeto, e ele será o enfoque desta seção.

Como verificado no capítulo 3, as principais reclamações dos clientes que geraram retornos em garantia são: mancal desalinhado, com 13,8% do total de reclamações, eixo fora de medida, com 10,8%, baixa isolamento, com 9,6%, problema na montagem do motor, com 9%, e *flash-over* no coletor, com 7,8%.

Observa-se que tais reclamações não poderiam ser denominadas como funções literalmente. Desta maneira, elas foram reelaboradas a partir do elemento do motor ou função que falhou no equipamento. A seguir são apresentadas as funções consideradas no projeto e as reclamações a que elas se referem:

- **Isolação:** contempla as reclamações devido à falha na isolação do equipamento;
- **Eixo:** relaciona-se ao problema de dimensão do eixo e a alguns problemas na montagem do motor;
- **Mancal:** remete à reclamação de desalinhamento do mancal e aos problemas na montagem;
- **Coletor:** elemento do motor no qual ocorre o *flash-over*;
- **Outros elementos do motor:** elementos adicionais que comprometem a montagem do motor. A delimitação dessa função foi necessária devido a falhas em componentes específicos que devem ser consideradas por causa de sua relevância na participação das reclamações dos clientes.

A opção por uma classificação diferente da utilizada pela empresa no arquivamento das reclamações dos clientes deve-se também a intersecções entre reclamações, que ocorre em alguns momentos. Por exemplo, um cliente mais genérico pode reclamar que o motor não monta, outro pode investigar que a montagem não é realizada devido a um eixo com dimensional fora do especificado, e seu retorno entra no histórico como eixo fora de medida. Portanto, busca-se que essa nova divisão não permita que uma função seja causa da outra.

#### 4.3 Modos de Falha e Efeitos

Definidas as funções, a próxima etapa consiste em analisar quais são os possíveis modos de falhas atribuídos a cada uma delas e os efeitos ocasionados que podem acarretar em retornos em garantia.

Esta análise foi apoiada, preponderantemente, nos modos de falha que já foram verificados nas reclamações, e, além da experiência dos membros da equipe, teve como base o histórico documentado dos retornos, que apresenta como causa do problema o que neste estudo recebe o nome de “modo de falha”, por na realidade

não se tratar da causa-raiz do problema, mas de uma consequência da causa que pode ser observada no motor.

#### **4.3.1 Isolação**

À função isolação foram atribuídos quatro modos de falha que causam dois diferentes efeitos.

A má isolação devido a não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo ou a quebra do terminal no ponto de ligação, no ventilador ou no terminal da bobina de pólo ocasiona falha elétrica no equipamento.

Por sua vez, o acúmulo de sujeira ou óleo no motor ou a má isolação elétrica interna na carcaça – nos barramentos/saída do terminal de interpolo ou no terminal da bobina de pólo próximo da carcaça – culminam na interrupção elétrica das ligações do motor, fazendo-o falhar em operação.

Percebe-se que a função isolação esta relacionada a parte fixa do motor – a carcaça.

#### **4.3.2 Eixo**

Para a função eixo, um efeito comum a todos os modos de falha é a não montagem da armadura na carcaça.

Isso pode ocorrer devido a uma alteração da dimensão resultante da aplicação de resina, ao modelo do eixo ser diferente do especificado ou ao dimensional da extremidade cônica estar fora do especificado em projeto. Neste último caso, se a montagem puder ser realizada, poderá ocorrer vibração no motor e aquecimento do rolamento, dado que ela não foi perfeita.

### **4.3.3 Mancal**

Para o elemento mancal, os modos de falha possíveis são o desalinhamento entre os centros dos eixos dos mancais e o posicionamento incorreto do pino na carcaça.

O primeiro gera problemas na montagem do motor no truque dos trens/locomotivas, sendo que uma montagem incorreta pode acarretar o travamento do motor em operação. O segundo propicia problemas na montagem do motor.

### **4.3.4 Coletor**

No coletor, podem ocorrer faíscas ou desgaste excessivo da escova de carvão aplicada no motor, o que gera diminuição do desempenho mínimo para o motor, podendo causar falha elétrica ou queima do motor.

Outro modo de falha dessa função é o posicionamento incorreto dos porta-escovas do motor, que leva a problemas de montagem da armadura na carcaça.

### **4.3.5 Outros elementos do motor**

Nesta função, estão reunidos componentes do motor distintos dos já apresentados. Os efeitos ocasionados pelos modos de falha são, entretanto, comuns, pois tanto estes como aqueles geram problemas na montagem do motor.

Foram considerados os seguintes modos de falha: montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura e dimensional do ventilador fora de especificação.

#### 4.4 Causas

O levantamento dos modos de falha e seus efeitos foi de fácil realização devida à experiência da equipe de projeto e à farta documentação disponibilizada pela empresa, sendo apenas necessário o agrupamento de algumas ocorrências e a compreensão dos efeitos decorrentes. As causas dessas falhas, no entanto, ainda não eram conhecidas.

Seguindo a técnica FMEA, inicialmente foi realizado um *brainstorming* das possíveis causas, de modo que toda a equipe de projeto, além da autora participaram das sessões de discussões.

Nessas reuniões foram levantadas inúmeras possibilidades. Contudo, segundo Palady (1997), um dos erros mais comuns cometidos no desenvolvimento da coluna “Causa” do formulário do FMEA é a prática de inclusão de todas as causas identificadas na sessão de *brainstorming*. De acordo com esse autor, todas as causas identificadas tendem a contribuir com o modo de falha que está sendo investigado, mas muitas dessas causas talvez contribuam muito pouco com esse modo de falha.

Assim, deve-se relacionar no formulário do FMEA somente as causas mais relevantes levantadas nas discussões. A importância de cada uma das causas é subjetiva, mas não há outro critério senão a utilização da experiência dos funcionários. Vale ressaltar ainda que mesmo as causas escolhidas passarão por avaliação subsequente quando o formulário FMEA for aplicado. Deve-se, então, selecionar somente causas plausíveis e relevantes, mas dentre elas todas podem ser mantidas, uma vez que serão julgadas mais adiante.

A seguir são expostas as causas já selecionadas pela equipe como as mais relevantes.

### **Isolação:**

- Não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo.
  - ✓ Parafuso usado apresentando fadiga: nesse caso, é colocado no equipamento um parafuso usado que apresenta fadiga;
  - ✓ Não torqueamento do parafuso após aperto: para correta fixação do parafuso ele deve ser torquado após o aperto com a pressão adequada.
- Quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/ terminal da bobina de interpolo.
  - ✓ Método do processo de soldagem equivocado: nesse caso, o procedimento a ser seguido apresenta desvios, de forma que, mesmo que seja seguido corretamente, ocasionará falhas;
  - ✓ Falta de qualificação do soldador: sabe-se que o profissional de soldagem deve ser bem qualificado, já que sua atividade exige excelência;
  - ✓ Má qualidade dos materiais utilizados para solda: aqui se incluem a vara de solda ou o próprio gás utilizado.
- Acúmulo de sujeira/óleo no motor.
  - ✓ Manutenção preventiva não adequada por parte do cliente: não são utilizados os procedimentos indicados pela empresa na manutenção do motor por parte dos clientes, gerando acúmulo de sujeira no motor;
  - ✓ Processo incorreto de aplicação de resina (pouco produto): a resina que envolve o motor tem como função protegê-lo do ambiente externo. Assim, caso a camada colocada seja insuficiente, sua função pode não ser cumprida.
- Má isolação de ligação elétrica interna na carcaça.
  - ✓ Método do processo equivocado: as etapas do processo de isolação elétrica podem estar equivocadas, ou a maneira como é realizada cada etapa;
  - ✓ Falta de qualificação do operador;

✓ Má qualidade do material utilizado: má qualidade por parte dos isolantes fornecidos à empresa;

**Eixo:**

- Alteração da dimensão devido à aplicação de resina.

✓ Falta de material adequado para remoção da resina: a empresa não utiliza nenhum material específico para remover a resina colocada em excesso. A utilização em excesso dos materiais já disponíveis pode ocasionar remoção de parte do material do eixo, sendo assim utilizados com restrição;

✓ Falta de procedimento específico para remoção da resina: nada é dito sobre a remoção da resina excedente, ficando a cargo do operador a decisão sobre o que fazer.

- Modelo de eixo diferente do especificado.

✓ Documentação equivocada da especificação do modelo.

- Dimensional da extremidade cônica fora do especificado.

✓ Falha na especificação das dimensões;

✓ Erro do fornecedor: as peças são entregues fora dos dimensionais especificados;

✓ Falta de calibrador para inspeção das peças recebidas: a empresa não possui calibrador para checagem das peças produzidas externamente, o que impossibilita a detecção de peças fora de especificação.

**Mancal:**

- Desalinhamento entre os centros dos eixos dos mancais.

✓ Falha no método do processo de usinagem: o processo atual exige que o trabalhador realize atividades com alto grau de exatidão, possibilitando pequena margem de erro.

- Posicionamento incorreto do pino na carcaça.

✓ Falha na especificação do escopo do serviço: dentro do escopo do serviço, não é dito que se deve usinar o buraco do pino na carcaça.

**Coletor:**

- Faiscamento ou desgaste excessivo da escova de carvão aplicada no motor.
  - ✓ Material de má qualidade: as escovas de carvão podem apresentar problemas;
  - ✓ Erro no processo de fabricação na etapa de determinação da pressão do porta-escova: caso a pressão seja superior à necessária para sua fixação, ela irá ocasionar desgaste;
  - ✓ Falha do operador no processo de usinagem dos pólos: as escovas de carvão ficam posicionadas de forma incorreta;
  - ✓ Maquinário utilizado para usinagem apresenta problemas: como no item anterior, gera problemas no posicionamento das escovas.
- Posicionamento incorreto dos porta-escovas do motor.
  - ✓ Falha do operador na montagem.

**Outros elementos do motor:**

- Montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura.
  - ✓ Procedimento realizado fora da ordem: colocação do eixo sem a porca e posterior posicionamento desta.
- Dimensional do ventilador fora de especificação.
  - ✓ Falha no processo de usinagem;
  - ✓ Falta de especificação para soldagem;
  - ✓ Falta de controle da dimensão no processo de fabricação: a dimensão do ventilador não está entre aquelas que são controladas.



#### **4.5 Formas de controle**

O último elemento do FMEA que foi levantado diz respeito às formas de controle utilizadas para detectar os modos de falha.

A seguir são apresentadas formas de controle listadas pela equipe. A sua relação com os modos de falha será exposta mais adiante no formulário do FMEA.

- Inspeção visual;
- Controle de treinamento dos funcionários;
- Inspeção de recebimento;
- Medição durante o processo;
- Certificado de qualidade por parte do fornecedor.

#### **4.6 Formulário FMEA**

Obtidos os dados e expostos os elementos do FMEA, é apresentado seu formulário a seguir.

A última coluna do formulário (OPC) foi adicionada apenas para facilitar a exposição de informações no restante do relatório. Cada opção ou linha foi enumerada. Assim, quando mais adiante se referir à opção 1, basta verificar no formulário a que modo de falha e causa está se referindo.

Há também três colunas que ainda não estão preenchidas: severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D). Elas serão trabalhadas no próximo capítulo, que trata da análise dos dados.



Funções	Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Formas de Controle	D	RPN	OPC
Eixo	Alteração da dimensão devido a aplicação de resina	Não montagem da armadura na carcaça		Falta de material adequado para remoção da resina		-			11
				Falta de procedimento específico para remoção da resina		-			12
	Modelo de eixo diferente do especificado			Documentação equivocada da especificação do modelo		-			13
	Dimensional da extremidade cônica fora do especificado	Problemas na montagem ou devido a montagem incorreta vibração no motor e aquecimento do rolamento		Falha na especificação das dimensões		-			14
				Erro do fornecedor		-			15
Mancal				Falta de calibrador para inspeção das peças recebidas		-			16
	Desalinhamento entre os centros dos eixos dos mancais	Problemas na montagem do motor no truque dos trens/locomotivas ou devido a montagem incorreta travamento do motor em operação		Falha no método do processo de usinagem		Medição durante o processo			17
	Posicionamento incorreto do pino na carcaça	Problemas de montagem		Falha na especificação do escopo do serviço		-			18

Figura 4.2 - Formulário preliminar do FMEA (continuação).

Fonte: Elaborado pela autora.

Funções	Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Formas de Controle	D	RPN	OPC
Coletor	Fascamento ou desgaste excessivo da escova de carvão aplicada no motor	Diminuição do desempenho mínimo para o motor, podendo causar falha elétrica ou queima do motor		Material de má qualidade		Certificado de qualidade por parte do fornecedor			19
				Erro do processo de fabricação na etapa de determinação da pressão do porta-escovas		Certificado de qualidade por parte do fornecedor/ Inspeção no recebimento			20
				Falha do operador no processo de usinagem		Inspeção			21
				Maquinário utilizado para usinagem apresenta problemas		-			22
Outros elementos do motor	Posicionamento incorreto dos porta-escovas do motor	Problemas na montagem da armadura na carcaça		Falha do operador na montagem		-			23
	Montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura			Procedimento realizado fora da ordem (colocação do eixo sem a porca)		-			24
	Dimensional do ventilador fora de especificação	Problemas na montagem do motor		Falha no processo de usinagem		Inspeção			25
				Falta de especificação para usinagem		-			26
				Falta de controle da dimensão no processo de fabricação		-			27

Figura 4.3 - Formulário preliminar do FMEA (continuação).

Fonte: Elaborado pela autora.

## **5 ANÁLISE DOS DADOS**

Primeiramente foi realizado o levantamento dos dados para o formulário do FMEA, determinando as funções, modos de falha, causas e formas de controle. Na etapa subsequente, foram realizadas as análises dessas informações de modo a determinar a contribuição de cada modo de falha na operação da empresa, para, desta forma, priorizar as ações a serem realizadas no plano de melhoria visando à redução do retorno em garantia da MGE Transportes.

### **5.1 Escalas**

Como já foi mencionado no capítulo anterior, a ferramenta FMEA utiliza-se de três critérios para mensurar os efeitos de um modo de falha. Esses efeitos são representados por notas dadas para três avaliações sob ângulos distintos: severidade, ocorrência e detecção.

Na sequência serão expostas as descrições das escalas desses critérios.

#### **5.1.1 Severidade**

O início da fase de análise buscou compreender a gravidade do efeito do modo de falha. Tal avaliação normalmente é medida em uma escala de 1 a 10, na qual o número 1 indica que o efeito não é sério na percepção do cliente e o número 10 reflete os piores efeitos para o cliente.

O conceito de severidade engloba a segurança dos clientes e os custos que a falha irá ocasionar para a organização.

A escala de severidade utilizada na realização deste trabalho é apresentada a seguir:

**Tabela 5.1 - Escala de severidade – FMEA.**

<b>Escala de Severidade</b>	<b>Grau</b>
Efeito não percebido pelo cliente.	<b>1</b>
Efeito insignificante, porém percebido pelo cliente.	<b>3</b>
Efeito menor, inconveniente para o cliente, mas que não faz com que o equipamento pare de executar sua função.	<b>5</b>
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do equipamento levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do motor.	<b>7</b>
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do equipamento, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	<b>9</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que se optou pela escolha de uma escala somente com números ímpares. Tal procedimento foi adotado visando a minimizar possíveis equívocos devido à grande semelhança entre a caracterização de valores próximos no grau de severidade. Buscou-se, portanto, uma maior distinção entre as notas. Nota-se, também, que a escala de gravidade foi adaptada para a empresa, de forma a refletir a natureza dos serviços por ela realizados.

### **5.1.2 Ocorrência**

Por meio da análise da ocorrência é possível mensurar a frequência em que um modo de falha ocorre.

Existem duas abordagens possíveis para o estudo da ocorrência. A primeira trata da frequência com que o modo de falha ocorre e a segunda trata da ocorrência da causa do modo de falha.

Neste trabalho optou-se pela segunda abordagem, por entender-se que, desse modo, as causas dos modos de falha seriam privilegiada, e que, conseqüentemente, ter-se-ia um melhor alinhamento com o objetivo do trabalho de detectar as causas raízes e solucioná-las.

Assim como para a escala de severidade, também para a de ocorrência somente com graus ímpares foram utilizados. A graduação 1 refere-se a eventos de ocorrência remota e a 9 refere-se a uma grande possibilidade de ocorrência.

**Tabela 5.2 - Escala de ocorrência – FMEA.**

<b>Escala de Ocorrência</b>	<b>Grau</b>
Extremamente remoto, altamente improvável.	<b>1</b>
Pequena chance de ocorrência.	<b>3</b>
Espera-se um número ocasional de falhas.	<b>5</b>
Ocorrência freqüente.	<b>7</b>
Ocorrência muito elevada.	<b>9</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

### **5.1.3 Detecção**

Por fim, a última avaliação realizada concerne à detecção do modo de falha, ou seja, qual a chance de detectar um problema antes que chegue ao cliente.

Essa nota está relacionada às formas de controle existentes para o modo de falha. Deve-se frisar, no entanto, que o formulário FMEA apresentado relata apenas as formas de controle adotadas ou planejadas pela empresa, e não esgota, portanto, as possibilidades existentes.

Assim como para as outras escalas, notas baixas são mais positivas para a organização. O número 1 indica a detecção quase certa e 9 indica probabilidade remota de detecção.

**Tabela 5.3 - Escala de detecção – FMEA.**

<b>Escala de Detecção</b>	<b>Grau</b>
É quase certo que será detectado.	<b>1</b>
Alta probabilidade de detecção.	<b>3</b>
Chance média de detecção.	<b>5</b>
Baixa probabilidade de detecção.	<b>7</b>
Probabilidade remota de detecção.	<b>9</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

#### **5.1.4 RPN**

RPN (Risk Priority Number) ou Grau de Prioridade de Risco (GPR) é o produto das três escalas apresentadas anteriormente. Como o próprio nome indica, é por meio dele que são priorizados os modos de falha e suas causas.

Sua lógica é derivada dos fatores de sua multiplicação, e, assim, um RPN grande traduz uma prioridade maior.

## **5.2 Atribuição de notas**

Definidos os critérios para as escalas, reuniu-se a equipe do projeto, novamente para atribuição das notas. Para que não houvesse indução das respostas, primeiramente foram realizadas entrevistas em separado.

A etapa inicial consistia na aplicação de um formulário FMEA no qual as colunas das notas deveriam ser preenchidas. As escalas eram explanadas pela autora e, posteriormente, procurou-se evitar interferências. Apenas pequenos suportes foram necessários, em razão da maior dificuldade de alguns membros em compreender a escala. Pode-se citar como exemplo um funcionário que insistia em



dar notas pares para os critérios. Nesse caso, mais de uma vez foi necessária a exposição da forma de atribuição de nota utilizada.

A seguir é apresentada uma tabela com a síntese da primeira rodada de notas. Para expor tais dados, optou-se por apenas mencionar a opção a que nota se refere, e não toda a tabela de dados, devido à extensão desta. Denominou-se cada funcionário por uma letra para preservar a privacidade.

**Tabela 5.4 - Atribuição de notas – FMEA.**

OPC	Severidade								Ocorrência								Detecção							
	R	S	T	U	V	X	Z	R	S	T	U	V	X	Z	R	S	T	U	V	X	Z			
1	7	7	9	9	9	9	9	3	5	5	5	5	1	3	7	7	7	7	7	7	7			
2	7	7	9	9	9	9	9	5	5	3	5	3	5	5	5	5	7	5	7	7	1			
3	9	7	9	9	9	7	7	5	3	5	3	3	3	5	7	7	5	7	7	7	5			
4	9	7	9	9	9	7	7	5	5	5	5	7	5	7	5	5	5	5	7	7	7			
5	9	7	9	9	9	7	7	3	1	3	1	3	3	3	9	7	5	5	9	7	7			
6	5	7	7	7	7	1	5	9	5	5	5	7	3	9	3	5	3	7	7	1	7			
7	5	7	7	7	7	1	5	3	3	5	1	5	3	5	7	7	1	3	7	3	3			
8	7	7	5	7	7	3	7	3	5	3	7	5	7	5	5	5	3	5	7	7	5			
9	7	7	5	7	7	5	7	3	3	5	3	5	3	5	5	5	3	3	7	7	7			
10	7	7	5	7	7	5	7	1	1	3	3	3	5	5	7	5	3	7	7	7	1			
11	5	5	7	7	7	3	5	3	3	1	1	3	3	3	3	3	1	5	5	1	3			
12	5	5	7	5	7	3	5	3	5	5	5	5	5	3	3	5	1	5	5	1	1			
13	9	9	9	9	9	9	9	1	3	5	1	3	5	3	3	1	5	3	3	5	1			
14	9	9	9	9	9	7	9	3	3	7	3	3	5	7	3	3	5	3	3	7	7			
15	9	9	9	9	9	7	9	5	5	5	5	5	3	5	3	3	5	3	3	5	5			
16	9	9	9	9	9	7	9	3	5	3	1	5	3	5	3	3	5	3	3	5	1			
17	9	9	9	9	9	7	7	5	5	9	7	9	3	9	3	5	5	3	3	1	3			
18	7	7	7	7	7	7	7	3	5	7	5	7	7	7	1	5	5	3	3	1	1			
19	7	7	9	7	7	9	9	3	3	5	5	5	5	3	5	7	3	5	5	3	5			
20	7	7	9	7	7	9	9	3	3	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5			
21	7	7	9	7	7	9	9	3	5	5	5	5	5	5	3	5	3	5	5	3	3			
22	7	7	9	7	7	9	9	3	5	3	5	5	5	5	3	5	3	3	5	3	3			
23	7	7	5	7	7	5	7	5	3	5	5	5	3	5	3	5	5	3	3	5	3			
24	3	7	9	7	7	5	7	3	5	7	7	7	5	7	5	5	7	7	7	3	3			
25	9	7	9	7	9	7	7	3	3	3	3	5	3	5	1	3	3	3	3	3	1			
26	9	7	9	7	9	7	7	5	3	3	5	5	1	5	3	5	5	3	3	3	3			
27	9	7	9	7	9	7	7	3	3	5	5	5	5	5	3	5	5	3	3	3	5			

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que alguns dados foram destacados na tabela. Esses dados foram discrepantes em relação aos demais. Notas fora do intervalo de duas gradações foram analisadas novamente.

As divergências se concentraram nas opções 6 e 7, tanto em relação à severidade quanto em relação à detecção, e, na opção 17, em relação à ocorrência. Em quatro das cinco notas dignas de reavaliação o funcionário responsável foi o X.

Ao todo, as notas apresentadas foram bem consistentes. Entretanto, apenas para certificar-se da direção correta, mais duas rodadas de entrevistas foram realizadas.

Na segunda, procurou-se compreender o motivo das notas discrepantes do funcionário X. Por meio de questionamentos foi possível compreender que a concepção utilizada foi otimista e, assim, suas notas foram inferiores às dos demais. Contudo, pelo ponto de vista que foi exposto pelo funcionário, as notas poderiam ter sido maiores, dado que estas não traduziram a verdadeira condição da empresa, mas a visão mais otimista do processo produtivo.

Na terceira reunião todos os integrantes da equipe do FMEA estavam presentes. Foram discutidas todas as notas de todas as opções apenas para a validação do resultado. Nessa etapa, foi possível observar o ponto de vista de cada indivíduo em relação à empresa e ao processo produtivo. Claramente, alguns possuem uma visão mais enviesada que os outros, como é o caso dos líderes de usinagem e montagem de carcaça nos processos nos quais são os responsáveis. Considerou-se, entretanto, que as notas foram homogêneas, não havendo uma cisão em nenhum caso, e que conseguiram refletir a realidade da empresa.

Com as notas individuais em mãos, bastava que a decisão sobre como utilizá-las para a composição da nota final fosse tomada. As opções seriam o uso em cada critério de:

- Nota mais alta;
- Média aritmética.

O critério da nota mais alta tem uma abordagem mais conservadora, enquanto a média aritmética traduz a opinião de todos os membros da equipe, uma vez que todas as notas seriam utilizadas como parcelas para o resultado final.

Para a decisão sobre o método a ser utilizado, a nota de severidade foi a que mereceu maior atenção. A autora entende que se deve ser extremamente cauteloso e conservador ao lidar com esse tópico. Como foi levantado por um dos membros da

equipe um grau de severidade alto para um modo de falha, este deve ser avaliado de forma mais detalhada, dado que ele deve causar grande insatisfação por parte do cliente, prejuízo para a operação e pode até mesmo vir a afetar a segurança.

Para que o critério fosse igual para todas as escalas, decidiu-se que a melhor abordagem seria a utilização da nota mais alta.

Selecionadas as notas extremas de cada critério para cada opção, lembrando que uma opção se refere a um modo de falha relacionado com sua causa, utilizou-se o indicador RPN (Grau de Prioridade de Risco).

$$\text{RPN} = \text{severidade} \times \text{ocorrência} \times \text{detecção}$$

A seguir será apresentado o formulário FMEA com os seus elementos, as notas finais de cada escala e o RPN de cada opção.

Vale ressaltar que um formulário FMEA completo apresenta duas colunas adicionais: ações recomendadas e situações das recomendações. A primeira traduz o que pode ser realizado para prevenção do modo de falha, redução da severidade e detecção do problema internamente, enquanto a segunda refere-se à avaliação da viabilidade das ações recomendadas, tanto na parte financeira quanto na técnica/operacional. Esses tópicos serão abordados nos próximos capítulos deste trabalho.

### FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha

**Descrição Projeto:**  
Este projeto visa a reduzir o retorno em garantia dos equipamentos que sofreram manutenção por parte da MGE Transportes por meio da detecção de suas causas e posterior implementação de ações de melhoria.

**Membros da Equipe:**  
 Wilson  
 Clarel  
 Antônio Olmos  
 Vagner

Fugita  
Carlos Nalin  
Nilson

Funções	Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Formas de Controle	D	RPN	OPC	
Isolação	Não fixação do parafuso que prende bobina de interpólo	Falha elétrica	9	Parafuso usado apresentando fadiga	5	Inspeção visual do parafuso	7	315	1	
			9	Não torqueamento do parafuso após aperto	5	-	7	315	2	
	Quebra do terminal no ponto de ligação/ ventilador/ terminal da bobina de pólo		9	Método do processo de soldagem equivocado	5	Inspeção visual	7	315	3	
			9	Falta de qualificação do soldador	7	Controle de treinamento dos funcionários	7	441	4	
			9	Má qualidade dos materiais utilizados para a solda	3	Inspeção de recebimento	9	243	5	
	Acúmulo de sujeira/óleo no motor		7	Manutenção preventiva não adequada por parte do cliente	9	-	7	441	6	
			7	Processo incorreto de aplicação de resina (pouco produto)	5	-	7	245	7	
	Má isolação da ligação elétrica interna da carcaça (nos barramentos/saída do terminal do interpólo ou terminal da bobina de pólo próximo da carcaça)		7	Método do processo equivocado	7	Inspeção visual	7	343	8	
			7	Falta de qualificação do operador	5	Controle de treinamento dos funcionários	7	245	9	
			7	Má qualidade do material utilizado	5	Inspeção de recebimento	7	245	10	

Figura 5.1 - Formulário final do FMEA.

Fonte: Elaborado pela autora.

Funções	Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Formas de Controle	D	RPN	OPC
Eixo	Alteração da dimensão devido a aplicação de resina	Não montagem da armadura na carcaça	7	Falta de material adequado para remoção da resina	3	-	5	105	11
			7	Falta de procedimento específico para remoção da resina	5	-	5	175	12
	Modelo de eixo diferente do especificado		9	Documentação equivocada da especificação do modelo	5	-	5	225	13
	Dimensional da extremidade cônica fora do especificado		9	Falha na especificação das dimensões	7	-	7	441	14
			9	Erro do fornecedor	5	-	5	225	15
Mancal	Desalinhamento entre os centros dos eixos dos mancais	Problemas na montagem do motor no truque dos trens/locomotivas ou devido a montagem incorreta travamento do motor em operação	9	Falta de calibrador para inspeção das peças recebidas	5	-	5	225	16
	Posicionamento incorreto do pino na carcaça	Problemas de montagem	9	Falha no método do processo de usinagem	9	Medição durante o processo	5	405	17
			7	Falha na especificação do escopo do serviço	7	-	5	245	18

Figura 5.2 - Formulário final do FMEA (continuação).

Fonte: Elaborado pela autora.

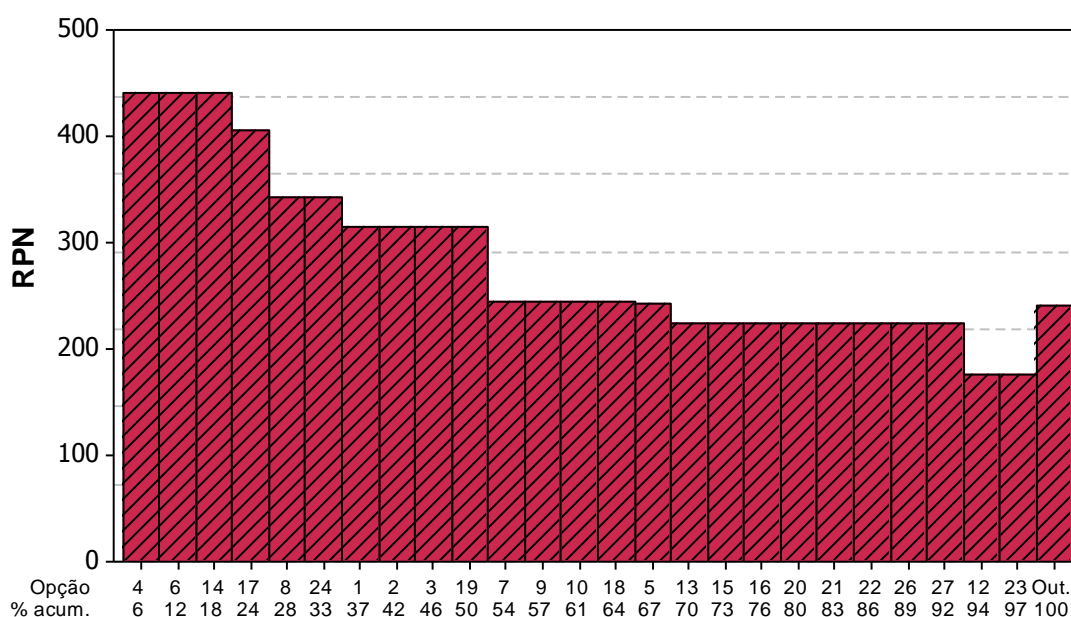
Funções	Modos de Falha	Efeitos	S	Causas	O	Formas de Controle	D	RPN	OPC
Coletor	Fisicamento ou desgaste excessivo da escova de carvão aplicada no motor	Diminuição do desempenho mínimo para o motor, podendo causar falha elétrica ou queima do motor	9	Material de má qualidade	5	Certificado de qualidade por parte do fornecedor	7	315	19
			9	Erro do processo de fabricação na etapa de determinação da pressão do porta-escovas	5	Certificado de qualidade por parte do fornecedor/ Inspeção no recebimento	5	225	20
			9	Falha do operador no processo de usinagem	5	Inspeção	5	225	21
			9	Maquinário utilizado para usinagem apresenta problemas	5	-	5	225	22
Outros elementos do motor	Posicionamento incorreto dos porta-escovas do motor	Problemas na montagem da armadura na carcaça	7	Falha do operador na montagem	5	-	5	175	23
	Montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura		7	Procedimento realizado fora da ordem (colocação do eixo sem a porca)	7	-	7	343	24
	Dimensional do ventilador fora de especificação	Problemas na montagem do motor	9	Falha no processo de usinagem	5	Inspeção	3	135	25
			9	Falta de especificação para usinagem	5	-	5	225	26
			9	Falta de controle da dimensão no processo de fabricação	5	-	5	225	27

Figura 5.3 - Formulário final do FMEA (continuação).

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3 Identificação das prioridades

Com o formulário FMEA completo, deve-se determinar os métodos de falhas mais relevantes. Essa priorização foi realizada por meio de um gráfico de Pareto que gerou os seguintes resultados.



**Figura 5.4 - Gráfico de Pareto para RPN.**

Fonte: Elaborado pela autora.

Pode-se observar que o diagrama não se apresenta concentrado em algumas opções, apresentando uma forma achatada. Desta forma, torna-se impreciso o destaque dos itens para a proposição de ações de melhoria. Assim, optou-se pela utilização de outra ferramenta, combinada ao gráfico de Pareto.

A ferramenta escolhida como complemento foi o diagrama de Esforço vs. Resultado. Tal método consiste em atribuir uma nota de 0 a 10 para ambos os quesitos. Para o primeiro critério, 0 representa um esforço muito pequeno e 10 representa um esforço altíssimo, e, para o segundo, 0 representa um resultado ínfimo, ao passo que 10 representa grandes resultados.

O esforço aqui citado engloba os conceitos financeiros, técnicos e de mobilização de pessoas, enquanto o resultado está ligado à área financeira e à

melhora operacional. Eles estão relacionados aos esforços e resultados obtidos para implementação de ações de melhoria para os modos de falha ou causas referentes a cada opção.

Uma nova reunião com a equipe de projeto foi realizada e, após a discussão sobre quais seriam os membros mais aptos a opinar nessa etapa, chegou-se à conclusão de que deveriam participar os gerentes e supervisores. Além deles, também participaram atribuindo notas o diretor da empresa – por possuir uma visão mais abrangente da empresa e mais voltada à eficiência operacional ligada a resultados financeiros – e a autora que nessa etapa fazia o papel de consultora externa. Devido ao longo período de execução deste projeto e ao conhecimento sobre as ferramentas utilizadas, os membros da equipe julgaram pertinente a participação.

As notas foram atribuídas, novamente, de forma individual, para que não houvesse interferências. Mais uma vez foi necessária a definição dos critérios utilizados para a consolidação das notas. No entanto, dessa vez optou-se por realizar uma média aritmética das opiniões. A seguir é apresentado o resultado consolidado.

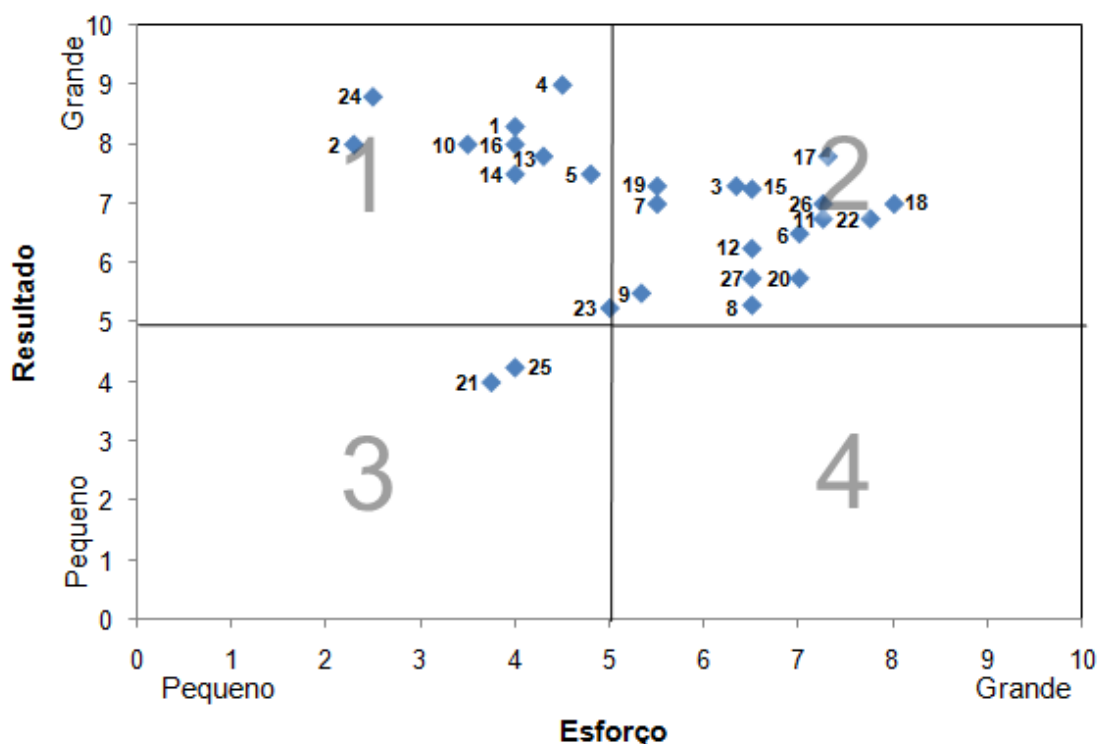


Tabela 5.5 - Notas do diagrama de Esforço vs. Resultado.

Opção	Esforço	Resultado
1	4,0	8,3
2	2,3	8,0
3	6,3	7,3
4	4,5	9,0
5	4,8	7,5
6	7,0	6,5
7	5,5	7,0
8	6,5	5,3
9	5,3	5,5
10	3,5	8,0
11	7,3	6,8
12	6,5	6,3
13	4,3	7,8
14	4,0	7,5
15	6,5	7,3
16	4,0	8,0
17	7,3	7,8
18	8,0	7,0
19	5,5	7,3
20	7,0	5,8
21	3,8	4,0
22	7,8	6,8
23	5,0	5,3
24	2,5	8,8
25	4,0	4,3
26	7,3	7,0
27	6,5	5,8

Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente, tais dados foram colocados em um gráfico. O diagrama Esforço vs. Resultado é dividido em quatro quadrantes: o primeiro requer um esforço pequeno e traz um grande resultado; o segundo apresenta também grande resultado, mas requer também um grande esforço; os quadrantes três e quatro são os de menor resultado, sendo que o terceiro requer também pequeno esforço e no quarto o esforço é grande.



**Figura 5.5 - Diagrama de Esforço vs. Resultado.**

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que grande parte das opções encontra-se nos dois primeiros quadrantes, o que significa que se acredita que ações de melhoria ligadas a elas trariam resultados significativos. Além disso, pode-se observar que metade delas pertence ao primeiro quadrante, indicando que tais resultados seriam gerados por meio de iniciativas que requerem pouco esforço.

Realizou-se, então, uma análise conjunta do diagrama de Pareto dos RPNs e do diagrama de Esforço vs. Resultado. Idealmente, pretende-se trabalhar, neste projeto, com as opções que pertencem ao primeiro quadrante, por requererem menor esforço e por trazerem grande resultado, porém, essas opções teriam também que ser representativas em termo de seu RPN.

Observando as notas (RPN) atribuídas às opções do primeiro quadrante, nota-se que todas são expressivas, e que juntas representam 40% da somatória das notas. Algumas das opções com maior RPN se enquadram nos critérios de pequeno esforço e grande resultado. Adicionalmente, a autora crê que um plano de ações com recomendações de menor esforço tende a ser mais bem recebido pela empresa para implementação a curto prazo, enquanto um de esforço maior requer mais

investimentos, tornando-se, portanto, uma excelente escolha para planos de médio e longo prazo.

A seguir são apresentadas as opções selecionadas para a proposição dos planos de melhoria:

- Opção 1: Não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido a parafuso usado apresentando fadiga;
- Opção 2: Não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido ao não torqueamento do parafuso após o aperto;
- Opção 4: Quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/terminal da bobina de pólo devido à falta de qualificação do soldador;
- Opção 5: Quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/terminal da bobina de pólo devido à má qualidade dos materiais utilizados para a solda;
- Opção 10: Má isolamento da ligação interna da carcaça devido à má qualidade do material utilizado;
- Opção 13: Modelo de eixo diferente do especificado devido à documentação da especificação do modelo equivocada;
- Opção 14: Dimensional da extremidade cônica fora do especificado devido à falha na especificação das dimensões;
- Opção 16: Dimensional da extremidade cônica fora do especificado devido à falta de calibrador para inspeção das peças recebidas;
- Opção 24: Montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura devido à realização do procedimento fora da ordem.

É importante ressaltar que a escolha dessas opções como foco das ações de melhoria a serem propostas teve início no capítulo 3, com a determinação do grupo de clientes que seria estudado. Foram selecionados os mais significativos em volume financeiro e de equipamento e que também apresentavam os maiores índices de retorno em garantia. Posteriormente, as principais reclamações desses clientes foram selecionadas e as mais freqüentes – mancal desalinhado, eixo fora de medida, baixa isolamento, problema na montagem do motor e *flash-over* no coletor – foram o cerne de estudo do método FMEA. Foi necessária, no entanto, uma

reclassificação dessas reclamações para sua adequação ao método, como apresentado no capítulo 4. Dessa forma, o resultado final do FMEA teve seus fundamentos nas análises iniciais deste projeto, sendo, portanto, a escolha dessas opções como foco do plano de ação a ser proposto a seguir fruto da análise conjunta de todos os dados já apresentados.

## 6 PLANO DE AÇÃO

Neste capítulo serão propostas ações de melhoria a fim de reduzir as principais causas, selecionadas pelos métodos já demonstrados, que geram retornos em garantia. Como dito anteriormente, algumas soluções serão simples. No entanto, não devem ser menosprezadas, uma vez que se acredita que trarão resultados satisfatórios.

Para a proposição de melhorias, a autora decidiu envolver a MGE Transportes, e a proximidade com a empresa tornou possível a discussão dos rumos do projeto, dos detalhes de engenharia, de compras e da implementação das soluções. Acredita-se que, dessa forma, este projeto terá maior chance de sucesso, podendo ser efetivamente utilizado pela empresa e não se tornando apenas um texto teórico.

Como em todo o desenvolvimento do FMEA, nesta etapa também serão adotados os usos de opções como forma de referência a um modo de falha atrelado a sua causa específica.

Assim, serão apresentados a seguir os planos de ação para cada uma das opções selecionadas no capítulo anterior. Pode haver intersecções de determinadas ações de melhoria em algumas dessas opções.

As opções 4/5 e as opções 14/16 serão analisadas em conjunto, uma vez que estão ligadas ao mesmo modo de falha e que suas soluções são complementares.

### 6.1 Opção 1

Esta opção refere-se à não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido ao parafuso usado apresentar fadiga.

Para a proposição de uma ação, foi necessária a compreensão do porquê do parafuso utilizado apresentar fadiga. A informação obtida foi a de que, ao se

desmontar um motor, os parafusos deste eram guardados para, no final do processo, serem novamente utilizados no mesmo motor. Apenas parafusos que apresentassem uma deformação facilmente perceptível por inspeção visual não eram empregados. Nesse caso, eles eram descartados e novos parafusos eram utilizados. Portanto, não era possível prever se o parafuso apresentava ou não fadiga.

É importante ressaltar que os parafusos que geraram um evento que culminou no retorno em garantia foram apenas aqueles que fixavam a bobina de interpolo. Eles correspondem a metade dos parafusos utilizados para a fixação da bobina, dado que a outra parte fixa o pólo. No entanto, o procedimento de não trocar os parafusos vale para todos.

Dependendo do modelo do motor, a quantidade de parafusos varia de 16 a 32 parafusos. Há casos em que são utilizados 4 parafusos no pólo e 4 no interpolo, mas, como o motor tem 4 bobinas, são 32 parafusos ao todo. Em outros casos, são aplicados 3 parafusos no pólo e 3 no interpolo, e ainda há aqueles que contam com 2 parafusos em cada elemento.

Para a fixação do interpolo, são utilizados parafusos de aço inoxidável, ao passo que aqueles empregados no pólo são mais variados. A seguir são apresentados os modelos desses elementos. Vale lembrar que eles são definidos segundo normas da ABNT.

#### Parafusos de interpolo:

- Parafuso cab. sext. aço inox 7/8"UNC X 3.3/4" – liga AISI 304;
- Parafuso cab. sext. aço inox  $\Phi 3/4$ "UNF X 4";
- Parafuso cab. sext. aço inox  $\Phi 1.1/8$ "UNC X 3.3/4" – liga AISI 304;
- Parafuso cab. sext. aço inox  $\Phi 1.1/4$ "UNF X 4";
- Parafuso cab. sext. aço inox  $\Phi 1$ "UNF X 3.3/4";
- Parafuso cab. sext. aço inox M20 X 100;
- Parafuso cab. sext. aço inox M16 X 50 – rosca total;
- Parafuso cab. sext. aço inox  $\Phi 3/4$ "UNC X 4.1/2";
- Parafuso allen c/cab. escariada aço inox M10 X 15;

Parafusos de pólo:

- Parafuso cab. sext. grau 5  $\Phi 1.1/8$ "UNC X 2.3/4" – cabeça=10mm;
- Parafuso cab. sext. grau 5  $\Phi 1.1/8$ "UNC X 3.1/2";
- Parafuso cab. sext. grau 5  $\Phi 7/8$ "UNC X 1.3/4" – cabeça=10mm;
- Parafuso cab. sext. grau 5  $\Phi 7/8$ "UNC X 3";
- Parafuso cab. sext. grau 5  $\Phi 1$ "UNC X 3.1/2" – bicromatizado.

**Solução**

Para esse caso, duas possíveis soluções foram levantadas: a realização de testes nos parafusos antes de empregá-los novamente no motor e a utilização de exclusiva de parafusos novos na montagem dos motores (substituição dos antigos).

No caso dos testes, eles teriam que ser realizados por uma empresa contratada, já que a MGE não conta com laboratórios para testes mecânicos. Ao contrário de um teste quando da fabricação do parafuso que pode ser realizado por amostragem, na situação em questão a totalidade dos parafusos deveria ser testada, uma vez que eles podem não ter sido originados do mesmo fornecedor ou do mesmo lote de fabricação. Não se sabe *a priori* desde quando esses parafusos estão sendo empregados, podendo ocorrer casos em que há mistura entre novos e usados. Assim sendo, todos os parafusos deveriam ser testados antes de serem empregados no motor para garantir sua qualidade.

Tal procedimento iria requerer um grande tempo para sua realização, sem contar o incrível investimento financeiro, dado que testes de tração são dispendiosos.

A solução de substituição de parafusos antigos por novos também requer custos extras, mas estes seriam inferiores aos dos testes e iriam garantir a utilização de componentes com as características esperadas. Para essa solução, a empresa já conta com acordos com fornecedores, que devem garantir a qualidade do material e os parâmetros do produto.

A utilização de novos parafusos daria fim à não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido à fadiga apresentada pelo mesmo.

## **6.2 Opção 2**

A não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido ao não torqueamento do parafuso após o aperto é do que trata esta solução. Observa-se que o modo de falha aqui apresentado é o mesmo da opção 1, embora a causa da falha seja distinta e, por isso, sua solução também o seja.

Para esta opção, a causa-raiz se encontra no processo produtivo quando da montagem do motor e da necessidade de se dar torque ao parafuso. Sabe-se que, após um aperto, é necessário que se exerça certa força para que o parafuso seja fixado com a pressão desejada para que não solte.

Na empresa, o método de montagem das bobinas de interpolo prevê tal torqueamento. No entanto, a realização das etapas do processo está nas mãos dos operadores, que devem seguir todos os passos, além de verificar e zelar pela qualidade de seu serviço.

### **Solução**

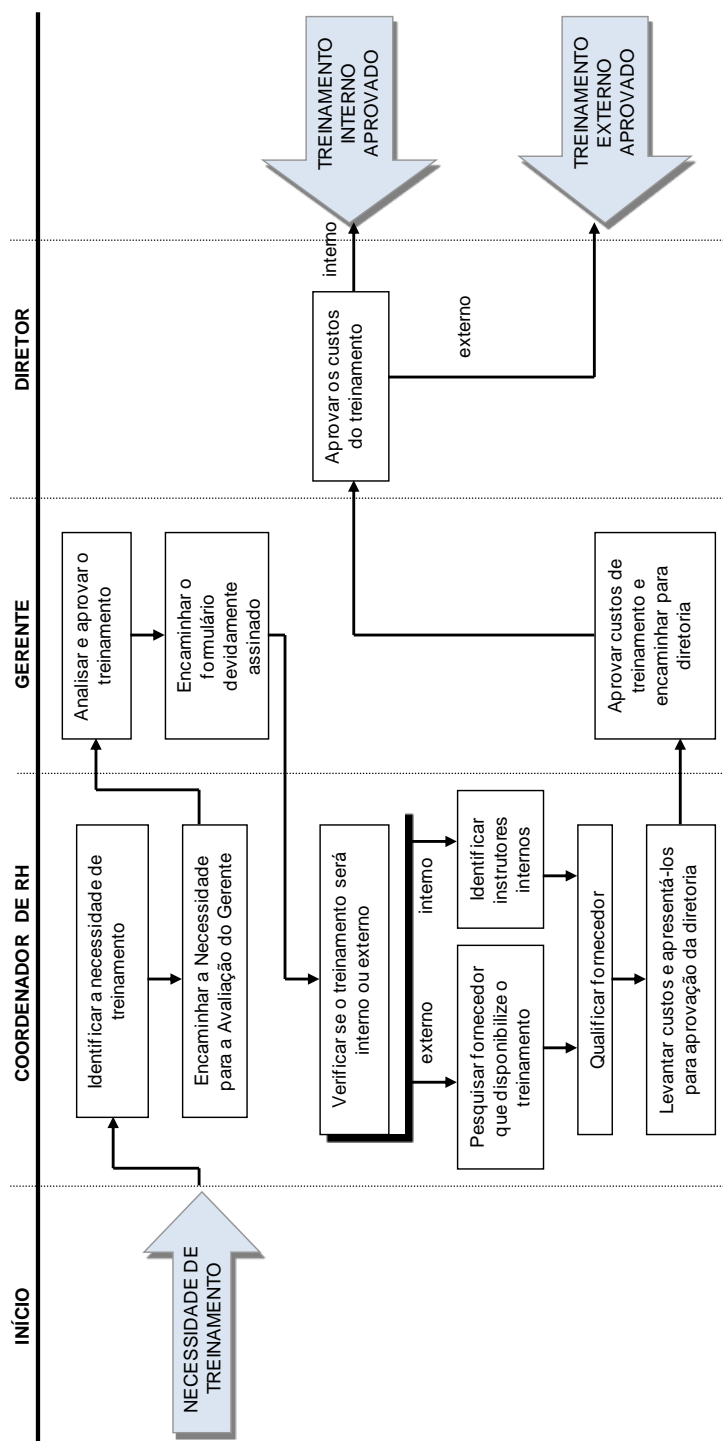
As soluções para esse desvio no processo produtivo podem se dar na verificação da qualidade do serviço realizado internamente, para que o cliente não sofra as consequências de uma falha interna, ou na melhoria do processo.

Obviamente, a adoção de uma inspeção de torque dos parafusos poderia evitar o retorno em garantia de grande parte dos equipamentos que hoje retornam devido a essa causa-raiz. Tal solução, contudo, não altera a causa real do problema. Ela apenas evita que ele chegue ao cliente, de forma que o retrabalho interno ainda irá ocorrer.



Uma segunda abordagem seria melhorar a qualidade do serviço realizado. As indicações do processo produtivo apresentam de forma correta o procedimento a ser realizado. O problema se encontra nos operadores que não seguem o que é proposto. Nesse caso, a solução estaria no treinamento desses funcionários, a fim de que assimilassem a importância de seguir os manuais e todas as etapas apresentadas por estes.

Por se tratar de uma empresa madura, existe um fluxo adotado que deve ser respeitado por todos os treinamentos a serem realizados, inclusive o treinamento aqui proposto. Este fluxo é apresentado a seguir.



**Figura 6.1 - Fluxo do processo de treinamento de funcionários.**

Fonte: MGE Transportes.

O passo inicial de levantamento das necessidades do treinamento já foi realizado neste projeto.

Todos os funcionários que realizam a montagem dessa parte do motor deveriam ser treinados, e os funcionários novos na função – novas admissões ou

transferências de outras áreas – receberiam treinamento antes de iniciar a execução dessa atividade.

Com base em estimativas fornecidas pela empresa referentes a outros treinamentos realizados, há expectativa de uma melhoria de cerca de 70% no processo. Assim sendo, os casos hoje registrados de não torqueamento de parafuso poderiam ser reduzidos a cerca de 30% dos casos atuais.

As duas alternativas de solução propostas podem ser combinadas e ambas podem ser implementadas. A curto prazo, a inspeção impediria que novas falhas externas ocorressem, e, a médio prazo, os funcionários seriam treinados e o processo seria realizado de forma correta, tornando a inspeção desnecessária.

### **6.3 Opção 4/5**

A quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/terminal da bobina de pólo é o modo de falha a que se referem as opções 4 e 5. Na primeira, a causa da quebra é a falta de qualificação por parte do soldador, ao passo que a segunda se deve à má qualidade dos materiais utilizados para a solda.

Os profissionais contratados como soldadores possuem cursos que os habilitam a exercer essa função e, portanto, estariam aptos a realizá-la. Contudo, já que essa causa foi levantada como crítica pela ferramenta FMEA, deve-se atentar para o que pode ser feito para garantir a qualificação desses funcionários.

Quanto à utilização de materiais de má qualidade, a MGE Transportes apenas se utiliza de fornecedores reconhecidos no mercado. No recebimento do material, ocorre uma inspeção, e, caso algum defeito seja encontrado, o material é devolvido. No entanto, se ocorre uma falha durante a operação quando o produto já está com o cliente, o caso é analisado em separado e, em caso de apuração de que o material pode ter sido a causa da falha, o fornecedor é contatado.

## **Solução**

Para garantir a qualificação dos soldadores, pode ser realizada a certificação destes. A certificação de qualificação do soldador assegura que ele está apto a exercer a atividade de solda. Ela é realizada por uma empresa independente que acompanha todo o processo de soldagem e realiza diversos testes com o corpo de prova produzido.

A empresa já possui a certificação quanto ao procedimento de soldagem, estando, portanto, ciente dos benefícios atingidos e dos procedimentos necessários.

Visando à garantia de sucesso dessa iniciativa, somente os funcionários com certificação poderiam realizar a atividade de soldagem, tornando-se proibido que qualquer outro funcionário realizasse a função de soldador. Para tanto, seria necessário um controle por parte dos encarregados do setor e da área de qualidade.

Quanto à qualidade do material utilizado para soldagem, poderiam ser realizados testes periodicamente para garantir as características do material entregue. Como dito anteriormente, a empresa não possui laboratórios, de forma que os testes seriam realizados externamente.

Com a certificação, espera-se que a qualificação dos soldadores seja garantida e, portanto, que essa causa não seja mais relevante, com um índice de falha de apenas 10%. Quanto aos testes, eles possibilitarão maior controle sobre os fornecedores e a classificação dos mesmos quanto a sua qualidade e ao período em que devem ser realizados testes ou inspeções de recebimento do material. Os testes devem garantir que ao menos 70% do material recebido sejam de qualidade.

### **6.4 Opção 10**

Esta opção trata da baixa isolamento interna da carcaça devido à má qualidade do material utilizado.

Mais uma vez é apresentado um problema semelhante ao da opção anterior, isto é, a falta de qualidade de material fornecido.

Também nesse caso apenas é realizada uma inspeção no momento do recebimento. Essa inspeção se atém aos aspectos físicos mais gerais. Quando há troca de material ou fornecedor, são realizados testes internos práticos, aplicando o material isolante em corpos de prova de cobre e sendo feitos testes de resistência à temperatura e à rigidez dielétrica.

### **Solução**

Analogamente à solução da opção 5, também agora é proposta a realização de testes periódicos para garantir as características do material entregue.

Nesse caso, os testes poderiam ser tanto internos quanto externos. Os internos poderiam seguir o procedimento que já é realizado hoje em dia quando há troca de fornecedor. No entanto, eles seriam realizados para todos os fornecedores atuais, também com uma frequência a ser determinada. Espera-se com isso que pequenos desvios de características sejam percebidos, permitindo que materiais de má qualidade não sejam aplicados nos equipamentos.

Os testes externos seriam mais sofisticados e buscariam determinar minuciosamente a composição do material e suas características. Eles poderiam ser realizados com menor frequência que os internos e deveriam ser aplicados no procedimento de troca do fornecedor.

Espera-se que tal controle permita uma redução na entrega de materiais com baixa qualidade.

## 6.5 Opção 13

A utilização de um modelo de eixo diferente do especificado devido à documentação da especificação do modelo equivocada é do que trata a opção 13.

Esse caso ocorreu apenas com um dos cinco clientes principais selecionados no início deste projeto. O fato é que tal companhia utiliza quatro tipos de modelo de motor, sendo que dois a dois são similares.

A MGE Transportes não identificou a diferença entre dois desses motores, e, portanto, tratou-os como iguais, aplicando, dessa forma, o mesmo modelo de eixo em ambos os casos.

Dado que os equipamentos são similares, o eixo pode ser montado. O motor, no entanto, não funciona perfeitamente quando em operação.

A falha poderia ocorrer tanto devido à troca dos eixos durante o processo produtivo como à documentação errônea no início do processo, com identificação equivocada do modelo do equipamento. A segunda opção foi a que de fato ocorreu.

### **Solução**

A solução aqui consiste em realizar uma melhor identificação do modelo do equipamento que a empresa recebe para manutenção. Deve-se dar maior atenção às etapas iniciais do processo quando da definição do escopo.

Isso poderia ocorrer com a adição de alguns passos ao processo, como a verificação de algumas dimensões-chaves no motor e no eixo que pudessem distinguir os equipamentos, e o correto arquivamento dessa documentação para que o erro não seja repetido.

A cada vez que um novo modelo for identificado, deve-se criar uma nova documentação com suas especificações.

Espera-se que a adoção de tais medidas torne possível a detecção de modelos diferentes de motor em 90% das vezes, de modo que apenas não seriam detectados

motores com um mesmo dimensional, mas com requisitos diferenciados que, segundo a empresa, são casos que raramente acontecem.

## **6.6 Opção 14/16**

Estas opções lidam com o dimensional da extremidade cônica do eixo fora do especificado devido à falha na documentação das dimensões e à falta de calibrador para a inspeção das peças recebidas.

O eixo utilizado nos motores apresenta formato cônico em sua extremidade, local onde se dará a montagem do pinhão. Existe uma medida de posicionamento do pinhão e, se o eixo não estiver com as dimensões corretas, o pinhão fica deslocado de sua posição especificada.

Uma analogia que poderia ser utilizada para melhorar a compreensão sobre esse problema é a de um lápis e seu apontador. O lápis seria o eixo e o apontador, o pinhão. Se a ponta cônica estiver maior ou menor, o apontador ficará deslocado mais para “fora” ou para “dentro”. No caso do motor, o pinhão deve permanecer na posição especificada. Se o cone do eixo estiver maior ou menor, ele não terá a montagem correta.

Para tanto, é necessária a determinação precisa das cotas do desenho do eixo. Tal desenho é realizado pela MGE, mas a fabricação do eixo é terceirizada, ficando a cargo do fornecedor a obediência à determinação do dimensional da parte cônica.

A empresa não adota nenhum método de inspeção dessa parte do eixo devido à dificuldade da checagem do dimensional da parte cônica.

## ***Solução***

A solução proposta para esse caso é a combinação de duas ações de melhoria. A parte inicial consiste em adotar um procedimento para o desenho para o

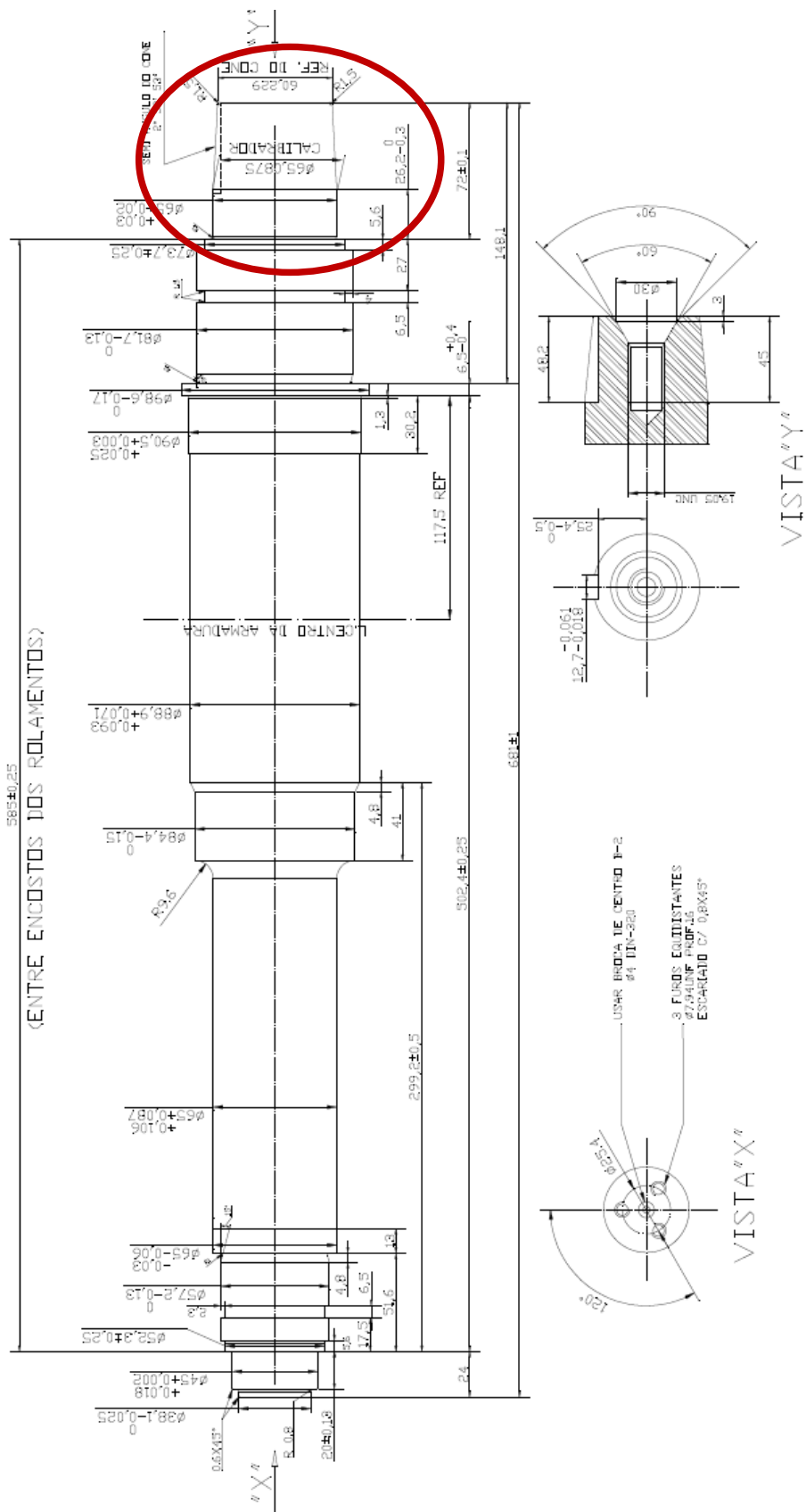
elemento eixo que permita delinear melhor as cotas do eixo, em especial a da extremidade cônica.

Porém, como as peças são fabricadas fora, é necessário também adotar uma etapa de inspeção desses eixos, na qual todas as dimensões serão medidas. A parte cônica necessitaria, no entanto, de mais um artifício que permitisse o correto aferimento de suas cotas. Para tanto, seriam utilizados calibradores. Tais calibradores seriam como, recorrendo novamente à analogia do lápis e do apontador, um apontador padrão que deveria envolver completamente a parte cônica se esta estivesse perfeita.

Como dito anteriormente, a MGE faz a manutenção de diversos equipamentos, e, portanto, necessita de eixos diferentes para cada um desses modelos. Dessa forma, seria necessário o desenvolvimento de um calibrador específico para cada tipo de eixo.

A seguir é exposto um exemplo de como seria posicionado esse calibrador no eixo. Utilizou-se o desenho de um dos eixos mais utilizados pela empresa e adicionou-se o calibrador. Busca-se com isso uma melhor visualização da solução aqui a proposta.





**Figura 6.2 - Posicionamento do calibrador no eixo.**

Fonte: MGE Transportes.

É importante ressaltar que os testes com o calibrador devem ser feitos a frio, uma vez que o metal sofre expansão quando aquecido, e que deve ser determinado exatamente em que posição deverá ficar o pinhão.

A seguir é apresentada uma lista com os modelos dos motores atendidos pela empresa e a distância da ponta do eixo até a face do calibrador/pinhão para cada uma deles.

**Tabela 6.1 - Parâmetros para inspeção a frio.**

**Cota: Ponta do Eixo até Face do Pinhão / Calibrador**

<b>Modelo</b>	<b>Calibrador</b>	<b>Pinhão</b>
1462A	4,5 a 5,5 mm	-
1462C	4,5 a 5,5 mm	-
D31	14,6 a 15,1mm	4 a 6 mm
D31_FCAB	20,6 a 21,1mm	8,5 a 9,0 mm
D77	.-0,80 a -1,30 mm	4 a 7 mm
D87	.-0,80 a -1,30 mm	4 a 7 mm
GE752AF	0,80 a 1,15 mm	4 a 8 mm
GE752AG	0,80 a 1,15 mm	4 a 8 mm
GE752AH	0,80 a 1,15 mm	4 a 8 mm
GE752E8	0,80 a 1,15 mm	4 a 8 mm
GE754	-	4 a 6 mm
GE761	.-1,1 a -1,6mm	4 a 6 mm
UPT 250/4	2 a 3 mm	-

Fonte: MGE Transportes.

Para impedir que falhas na extremidade cônica venham a se repetir, a empresa poderia adotar a inspeção 100%, ao menos nos primeiros meses, até obter a comprovação da qualidade do fornecedor. Com a utilização dos gabaritos, a inspeção se tornaria muito rápida, não ocasionando demora ou necessidade de novos funcionários para o setor.

## **6.7 Opção 24**

A última opção analisada é a de número 24 e trata da montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura devido à realização do procedimento fora de ordem.

No processo produtivo, a porca deve ser acoplada ao comutador para travá-lo na armadura em sua etapa final. Porém, o que ocorre é que, por muitas vezes, esse procedimento é antecipado, sendo realizado antes da devida hora e ocasionando falhas do travamento.

Um fato que agrava esse problema é a compra em separado do eixo e da porca, às vezes de fornecedores diferentes, o que ocasiona dificuldades da montagem do conjunto, independentemente do procedimento ser realizado na ordem correta de produção.

### **Solução**

Novamente, a solução proposta é uma combinação de duas ações. A primeira é o treinamento dos funcionários a fim de expor as etapas do processo produtivo a serem realizadas e a importância do correto seguimento dessas diretrizes.

A segunda parte está relacionada ao departamento de compras, que deve comprar apenas eixos que venham em conjunto com as porcas. Deve-se deixar claro que somente serão aprovadas compras nessa condição.

Espera-se que o trabalho com os fornecedores garanta que novas compras serão realizadas somente em conjunto. Quanto aos benefícios do treinamento, acredita-se que o nível de falha no procedimento exposto cairia para um nível de 30% dos atuais.

## 7 IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES

As ações propostas anteriormente requerem planos para suas implementações. A seguir são expostas as etapas iniciais desses planos.

### **Substituição de parafusos:**

A empresa já compra parafusos para utilização em seus processos, como é o caso da montagem de um novo motor ou para substituição de um parafuso apresentando defeito. O procedimento que deveria ser adotado seria a substituição de todos os parafusos utilizados nos motores a fim de garantir sua qualidade.

O departamento de compras seria o responsável por essa ação de melhoria e sua implementação seria facilitada pelo contato já existente com os fornecedores. Atualmente, os principais parceiros no fornecimento desses componentes são:

- Oxiparts Ind. e Com. de Peças;
- Metalúrgica Canindé Ltda;
- Fixopar Com. de Parafusos e Ferramentas Ltda;
- Comércio de Fixação Roscafiz Ltda;
- Sider Comércio Industrial Ltda.

Para garantir o sucesso do plano, a área de montagem dos motores deve garantir a utilização dos parafusos novos.

Essa medida pode ser implementada assim que a diretoria executiva aprovar a ação.

### **Inspeção do torqueamento dos parafusos:**

Uma das soluções propostas para os parafusos não fixados devido ao não torqueamento foi a inspeção desses componentes antes da expedição do

equipamento. No momento, não há um funcionário designado para tal função, sendo necessário um estudo para realocação do tempo de algum dos operadores para realizar essa inspeção.

Não se acredita que seja necessária a contratação de qualquer funcionário, pois o tempo requerido para a checagem dos parafusos é mínimo.

### **Treinamento dos funcionários:**

O treinamento de funcionários como solução foi adotado em dois casos, ambos visando à assimilação dos procedimentos corretos de produção. No primeiro caso, busca-se a compreensão da importância do torqueamento dos parafusos e, no segundo, a correta montagem da porca no comutador.

Como já foi exposto na figura 6.1, a empresa adota um procedimento para a realização de treinamentos que deve ser respeitado.

Os treinamentos a serem ministrados nesses casos devem ser internos e, como ministrantes, a autora propõe o líder da área de montagem em conjunto com o supervisor de qualidade.

O período de treinamento seria pequeno e, segundo informações fornecidas pela empresa, esse tipo de tema tende a requerer apenas uma tarde para sua exposição.

### **Certificação dos soldadores:**

A empresa conta hoje com três funcionários exercendo a função de soldador. Todos eles devem ser certificados para estarem aptos a realizar suas atividades.

A certificação se dá por meio de uma empresa independente que realiza testes com os funcionários e faz um estudo detalhado do corpo de prova para assim garantir a qualidade do serviço executado.

A certificadora vem até a empresa e o tempo requerido para os testes é reduzido, consistindo apenas na soldagem dos corpos de prova.

Verifica-se que um dos soldadores pode ser certificado no mesmo teste que assegura as especificações do procedimento de soldagem. Dessa forma, a empresa necessitaria realizar três testes, sendo um para a certificação do processo – que também pode certificar um soldador – e dois somente para certificação dos funcionários.

### **Testes de qualidade do material fornecido:**

São propostos testes para o material fornecido para garantir a qualidade, isto é, as características requeridas dos componentes.

No caso da adoção de testes externos, procedimento que a empresa ainda não adota, seria necessário um levantamento dos possíveis parceiros para essa atividade.

Para os testes internos que já são realizados, é proposto apenas que a frequência seja aumentada para uma periodicidade bimestral – no caso de fornecedores com menor tempo de fornecimento – ou semestral – para fornecedores cuja parceria é mais antiga.

### **Melhor identificação do modelo do equipamento no recebimento:**

Uma maior verificação das dimensões do motor torna-se necessária para a correta identificação de seu modelo. Propõe-se que, no momento do recebimento, ao serem realizados os testes iniciais e a definição do escopo realizem-se medições além das realizadas atualmente.

Outra medida para esse plano é a maior troca de informações entre a empresa e o cliente, uma vez que este deveria mandar todas as informações necessárias sobre o motor no que concerne a seu modelo.

**Fabricação de calibradores:**

A empresa não possui equipamentos e expertise para fabricação dos calibradores. O projeto, então, deveria ser desenvolvido por um fornecedor parceiro.

O material a ser utilizado deveria ser um aço carbono com maior resistência e dureza que o material dos eixos para evitar desgastes. Após a fabricação do calibrador, ele deve ser testado para, assim, ser aferida uma “medida” de calibração.

Vale recordar que cada modelo de eixo irá requerer um calibrador específico.

**Compra do conjunto eixo/porca:**

Essa solução deve ser implementada pela área de compras, que deve aceitar apenas o fornecimento do conjunto eixo/porca.

Como os fornecedores são os mesmos, essa solução não encontrará dificuldades e poderá ser posta em prática imediatamente. Deve-se supervisionar o correto seguimento dessa diretriz.

## 8 VIABILIDADE ECONÔMICA DAS AÇÕES

Este capítulo finaliza a proposição de ações de melhoria deste projeto. Ele tem por objetivo analisar a viabilidade econômica das ações propostas no capítulo 6.

A análise econômica é, certamente, uma ferramenta essencial para a decisão da empresa em relação aos seus investimentos. Contudo, é necessário recordar que há outros benefícios a serem considerados além dos financeiros. Neste projeto, desde seu momento inicial, priorizou-se a melhora da imagem da empresa frente aos clientes. Desse modo, as decisões de implementação das ações de melhoria tomadas pela empresa levarão em conta os dois aspectos, ou seja, econômicos e de imagem.

Os métodos a serem aplicados utilizam-se de modelos quantitativos de análise de viabilidade econômica das alternativas de investimento.

O primeiro deles é o VPL (Valor Presente Líquido). Assaf Neto (2006) conceitua VPL como a diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa, previstos para cada horizonte de duração do projeto, e o valor presente do investimento. O VPL exige a definição prévia de uma taxa de desconto a ser utilizada nos vários fluxos de caixa, e expressa, em última análise, o resultado econômico atualizado. O critério para aceitação-rejeição de um projeto por meio de seu VPL é simples: será considerado atraente todo investimento com VPL maior ou igual a zero.

A taxa de desconto ou taxa mínima de atratividade (TMA) utilizada pela empresa é de 15% ao ano. Essa taxa foi estabelecida pelo comitê executivo e é utilizada para a análise de investimentos da empresa em geral.

Para este estudo, será considerado que um benefício será originado de um não-custo, pois não ocorrerão entradas adicionais no fluxo da empresa, mas sim a minimização das saídas. De qualquer forma, o que será observado é um incremento no ganho da empresa.

Como já foi mencionado, a empresa não possui um sistema contábil que permita o rastreamento dos custos. Têm-se, porém, a quantidade de motores retornados no período de garantia e a quantia gasta com esses motores.



Aproximadamente 80% do custo do retorno em garantia de um motor refere-se à logística de transporte do motor – do cliente para a MGE e, depois de realizado o serviço, da MGE para o cliente. Pode-se fazer uma simplificação e estimar os custos por motor como sendo iguais, independentemente da reclamação apresentada e, conseqüentemente, do processo produtivo pelo qual o motor irá passar. Assim:

$$\text{Custo retorno em garantia/motor} = \frac{\sum \text{custos com garantia em 2008 (jan – mai)}}{\sum \text{motores retornados em 2008 (jan – mai)}}$$

Somente os dados de 2008 foram utilizados porque os custos da empresa aumentaram nesse período devido aos componentes logística e matéria-prima, que em sua maioria apresentaram grande alta, em especial o aço e o cobre.

Utilizando-se das informações apresentadas na tabela 3.1 sobre os custos com retorno em garantia, e sabendo que a quantidade de motores retornados em garantia foi de 34 equipamentos em 2008 (até o mês de maio), tem-se que:

$$\text{Custo do retorno em garantia/motor} \cong \text{R\$ 1.359/motor}$$

Cada uma das soluções apresenta um potencial de melhoria do processo que está ligado a alguma das reclamações dos clientes. A tabela a seguir apresenta a solução, sua eficiência, a reclamação do cliente à qual se refere, a frequência dessa reclamação, a opção do FMEA cujo resultado a solução visa a minimizar e a participação dessa opção do FMEA nas reclamações do cliente. A participação da opção do FMEA no total de equipamentos retornados pela mesma reclamação foi realizada por meio do cálculo do total das notas de ocorrência ligadas a cada reclamação e do percentual da opção em relação a essa nota total.

Dessa forma, é possível saber qual seria o benefício anual médio propiciado por cada alternativa de solução. Utilizou-se a estimativa de 130 equipamentos retornados por ano e o custo do retorno em garantia médio por motor apresentado acima. Outra hipótese utilizada é a de que a implementação das ações é independente e, assim, não foram considerados efeitos combinados.

Tabela 8.1- Benefícios anuais médios gerados pelas soluções propostas.

Solução	Eficiência da solução	Reclamação do cliente	Frequência	Opção do FMEA	Participação	Benefício anual médio (R\$)
Substituição dos parafusos	100%	Baixa isolação	9,58%	1	8,93%	1.511,40
Inspeção do torqueamento dos parafusos	100%	Baixa isolação	9,58%	2	8,93%	1.511,40
Treinamento dos funcionários	70%	Baixa isolação	9,58%	2	8,93%	1.057,98
	70%	Problema na montagem do motor	8,98%	24	31,81%	3.532,65
Certificação dos soldadores	90%	Baixa isolação	9,58%	4	12,50%	1.904,06
Testes de qualidade do material fornecido	70%	Baixa isolação	9,58%	5	5,36%	635,03
	70%	Baixa isolação	9,58%	10	8,93%	1.057,98
Melhor identificação do modelo do equipamento no recebimento	90%	Eixo fora de medida	10,78%	13	16,60%	2.845,33
Fabricação de calibradores	100%	Eixo fora de medida	10,78%	14	23,33%	4.443,20
Compra do conjunto eixo/porca	100%	Problema na montagem do motor	8,98%	24	31,81%	5.046,65

Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada uma das soluções será calculado o VPL utilizando-se um horizonte de 1 ano, que é o padrão para a análise de investimentos ditos pequenos pela empresa.

O segundo indicador a ser utilizado é a TIR (Taxa Interna de Retorno), que representa, de acordo com Assaf Neto (2006), a taxa de desconto que iguala, em determinado momento (geralmente usa-se a data de início do investimento), as entradas com as saídas previstas de caixa. Uma TIR que exceder ou igualar o percentual mínimo de retorno desejado pela empresa representa um investimento economicamente atraente. A TIR é aplicável apenas a casos que possuem investimentos iniciais, de modo que os demais farão uso de apenas um indicador, o VPL.

A comparação de TIRs entre projetos não deve ser utilizada para a definição da melhor solução, uma vez que os montantes decorrentes dos investimentos não são os mesmos.

Assim, os dados utilizados são:

- TMA: 15% ao ano;
- Horizonte de investimento: 1 ano;
- Média dos equipamentos retornados em garantia/ano: 130;
- Custo médio do retorno em garantia/motor: R\$ 1.359,00.

### **Substituição de parafusos:**

Essa substituição requer a compra de parafusos novos a serem utilizados na montagem de todos os motores nos quais a MGE realiza serviços. A produção média da empresa é de 1.500 motores/ano.

Em média, são utilizados 24 parafusos por motor, sendo 12 de pólo e 12 de interpolo. O custo médio de um parafuso de pólo é de R\$ 6,00, ao passo que um parafuso de interpolo custa em média R\$ 20,00.

Assim, a despesa anual com a compra de parafusos seria de R\$468.000,00. Contudo, a área de vendas da empresa informou que a maior parte dos clientes não

se opõe a uma elevação do preço da manutenção por conta da colocação de novos componentes e, desse modo, a empresa não arcaria com essa despesa, mas a transformaria em custo de produção, que poderia ser repassado. Essa atitude por parte dos clientes é compreensível se mensurarmos os prejuízos que podem ser causados por uma falha em operação e pelo período de ausência do equipamento por estar em manutenção, mesmo que ainda esteja em seu período de garantia.

Dessa forma, para a empresa, tal solução não iria requerer nem um custo inicial nem despesas ao longo do tempo. Apenas seria observado o benefício gerado.

- Benefício anual: R\$ 1.511,40.

Calculando-se o VPL, tem-se:

- **VPL** = R\$ 1.314,26.

#### **Inspeção do torqueamento dos parafusos:**

O custo por hora de um funcionário é, já com os encargos, em torno de R\$ 5,20. Prevê-se que uma hora por dia seria suficiente para a realização desse serviço específico, e, utilizando a estimativa de 252 dias para um ano comercial, tem-se:

- Benefício anual: R\$ 1.511,40;
- Custo anual mão-de-obra: R\$ 1.310,40.

Novamente, o cálculo da TIR perde seu sentido. Calculando-se o VPL:

- **VPL** = R\$ 174,78.

#### **Treinamento dos funcionários:**

Esta solução poderá ser aplicada a dois casos distintos, que serão analisados separadamente.

Ambos os treinamentos – isto é, o para o correto torqueamento dos parafusos e aquele para a colocação do eixo com a porca na ordem correta – são simples e o

supervisor de qualidade crê que um treinamento de 4 horas, ou seja, uma tarde, seria o suficiente para exposição dos temas.

O custo envolvido no treinamento é somente o das horas paradas dos funcionários. Será utilizada a mesma estimativa de custo/hora do item anterior. Sabe-se ainda que cada área a ser treinada é composta por, aproximadamente, 20 funcionários. Assim:

#### Torqueamento do parafuso

- Benefício anual: R\$ 1.057,98;
- Investimento inicial: R\$ 416.

Calculando-se o VPL e a TIR, tem-se:

- **VPL** = R\$ 503,98;
- **TIR** = 154%.

#### Revisão do método de colocação do eixo e porca

- Benefício anual: R\$ 3.532,65;
- Investimento inicial: R\$ 416.

Calculando-se o VPL e a TIR, tem-se:

- **VPL** = R\$ 2.655,87;
- **TIR** = 729%.

#### **Certificação dos soldadores:**

O custo total para esta solução inclui a certificação do processo, que deve ser realizado novamente, e a certificação de mais dois soldadores. Existem diversas empresas independentes que realizam esse tipo de serviço, sendo que algumas delas já foram ou são parceiras da MGE Transportes. O preço médio encontrado para a certificação do processo é de R\$1.500,00, e, para a certificação de cada soldador, é de aproximadamente R\$ 400,00. Dessa forma:

- Benefício anual: R\$ 1.904,06;

- Investimento inicial: R\$ 2.300,00.

Calculando-se o VPL e a TIR, tem-se:

- **VPL** = - R\$ 644,30;
- **TIR** = - 17%.

Observa-se que tal solução não apresenta viabilidade econômica se utilizados a TMA e o horizonte de investimentos adotados pela empresa. No entanto, a certificação do processo de soldagem e dos soldadores é necessária para uma empresa se enquadrar nas normas da ISSO 9001, por tratar-se de um processo especial. Desse modo, a implementação dessa solução não depende de sua viabilidade econômica de curto prazo, mas é uma necessidade da empresa para o cumprimento das normas de qualidade.

Adicionalmente, nota-se que, se observado outro horizonte de investimento, essa solução torna-se viável.

#### **Testes de qualidade do material fornecido:**

O custo anual inclui os testes internos e os externos. Para os custos internos, foram consideradas as horas destinadas a esta atividade.

Esses testes podem ser voltados para dois tipos de material, o de solda e o da isolamento elétrica interna da carcaça.

Para o material da solda, prevê-se um teste a cada seis meses, realizado externamente, e que incluiria ensaios de tração e de dobramento. Os orçamentos para cada teste são de aproximadamente R\$ 102,00 e R\$ 54,00 por corpo de prova. Assim:

##### Material de solda

- Benefício anual: R\$ 635,03;
- Custo anual: R\$ 312,00.

Calculando-se o VPL, tem-se:

- **VPL** = R\$ 240,20.

Já para o material isolante, prevê-se também testes externos – a serem realizados semestralmente e que custam aproximadamente R\$ 100,00 por corpo de prova – e testes internos – a serem realizados bimestralmente durante um turno de um funcionário, isto é, durante 8 horas. Utilizando-se a mesma estimativa de custo/hora dos itens anteriores, tem-se:

#### Material isolante

- Benefício anual: R\$ 1.057,98;
- Custo anual: R\$ 452,00.

Calculando-se o VPL, tem-se:

- **VPL = R\$ 467,98.**

#### **Melhor identificação do modelo do equipamento no recebimento:**

Para esta solução, não há necessidade de investimentos ou despesas, apenas deve-se acrescentar algumas informações nos formulários.

Assim, tem-se:

- Benefício anual: R\$ 2.845,33.

Calculando-se o VPL:

- **VPL = R\$ 2.474,20.**

#### **Fabricação de calibradores:**

Como apresentado acima, é necessária a fabricação de 12 calibradores para que todos os modelos de eixo se beneficiem desta solução. Contudo, a empresa aponta que, atualmente, um modelo de eixo é o mais crítico, devendo, portanto, ter prioridade. As contas apresentadas a seguir representam o investimento de um único calibrador. Assim:

- Benefício anual: R\$ 4.443,20;
- Investimento inicial: R\$ 3.500,00.

Calculando-se o VPL e a TIR, tem-se:

- **VPL** = R\$ 363,65;
- **TIR** = 17%.

#### **Compra do conjunto eixo/porca:**

Esta solução requer apenas um procedimento, a ser realizado pela área de compras.

Assim, tem-se:

- Benefício anual: R\$ 5.046,65.

Calculando-se o VPL:

- **VPL** = R\$ 4.388,39.

Em suma, são apresentados a seguir os projetos que apresentam VPLs positivos:



Tabela 8.2 - Resumo dos indicadores VPL e TIR para as soluções.

Solução	Reclamação do cliente	Opção do FMEA	VPL	TIR
Substituição dos parafusos	Baixa isolação	1	R\$ 1.314,26	-
Inspeção do torqueamento dos parafusos	Baixa isolação	2	R\$ 174,78	-
Treinamento dos funcionários	Baixa isolação	2	R\$ 503,98	154,32%
	Problema na montagem do motor	24	R\$ 2.655,87	749,19%
Testes de qualidade do material fornecido	Baixa isolação	5	R\$ 240,20	-
	Baixa isolação	10	R\$ 467,98	-
Melhor identificação do modelo do equipamento no recebimento	Eixo fora de medida	13	R\$ 2.474,20	-
Fabricação de calibradores	Eixo fora de medida	14	R\$ 363,65	26,95%
Compra do conjunto eixo/porca	Problema na montagem do motor	24	R\$ 4.388,39	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Deve-se priorizar o investimento nas ações que possuem os maiores VPLs aliados a TIRs aceitáveis.

Mais uma vez, vale ressaltar que algumas soluções não possuem o cálculo da TIR. Isso ocorre devido à simplicidade da solução proposta e à inexistência de um fluxo de caixa que possibilite seu cálculo.

## 9 CONCLUSÃO

A percepção da qualidade de um serviço realizado por parte do cliente é essencial para qualquer empresa, pois, além de possibilitar futuras parcerias em novos projetos, consolida a imagem da empresa frente ao cliente e ao mercado como um todo. Para uma empresa de manutenção de motores elétricos, como é o caso da MGE Transportes, o retorno de um equipamento ainda no seu período de garantia, além de gerar custos adicionais, depõe contra a imagem que a empresa visa a consolidar no mercado.

Este trabalho teve por objetivo principal reduzir o retorno de equipamentos no período de garantia por meio do levantamento das principais causas que originaram tal fato.

Como a empresa tem uma gama muito ampla de serviços oferecidos, uma vez que a realização da manutenção de um equipamento é extremamente individualizada, foram necessárias algumas delimitações do escopo deste projeto. Iniciou-se por selecionar as principais reclamações dos mais relevantes clientes da empresa. São elas:

- Mancal desalinhado;
- Eixo fora de medida;
- Baixa isolamento;
- Problema na montagem do motor;
- *Flash-over* no coletor.

Essas reclamações por parte dos clientes estão relacionadas tanto à parte fixa do motor elétrico (carcaça) – como, por exemplo, reclamações sobre o desalinhamento do mancal e baixa isolamento – quanto à parte rodante (armadura) – como flash-over no coletor e eixo fora de medida. Problemas na montagem podem advir de qualquer uma das partes do motor.

Foram, então, utilizados os métodos como QC Story e o FMEA, que possibilitaram a sistematização da busca pelas principais causas dos retornos.

A presença de uma equipe para a implementação do FMEA foi essencial para o desenvolvimento deste projeto. Todo o conhecimento dos membros do grupo, que pertenciam a diferentes áreas da empresa, colaborou para o desenvolvimento de cada etapa do trabalho. Nada foi descartado sem que fosse analisado e o formulário do FMEA expôs a opinião da equipe. O modo como as reclamações dos clientes foram apresentadas foi diferente da classificação das reclamações utilizada pela empresa, para que, assim, fossem adaptadas da melhor forma possível ao formulário do FMEA. Foram levantadas vinte e sete opções, que neste relatório significam o conjunto de uma função, seu modo de falha e sua possível causa, e que buscaram traduzir as principais reclamações dos clientes.

A parte quantitativa permitiu realizar a priorização das opções a serem abordadas no plano de ações. Em conjunto, foram utilizados o RPN (Grau de Prioridade de Risco), indicador atrelado ao formulário do FMEA, e um diagrama de Esforço vs. Resultado, que atribui notas de acordo com a amplitude desses quesitos. Com base nesses critérios, as opções selecionadas para a proposição de ações de melhoria foram:

- Opção 1: Não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido a parafuso usado apresentar fadiga;
- Opção 2: Não fixação do parafuso que prende a bobina de interpolo devido ao não torqueamento do parafuso após o aperto;
- Opção 4: Quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/terminal da bobina de pólo devido à falta de qualificação do soldador;
- Opção 5: Quebra do terminal no ponto de ligação/ventilador/terminal da bobina de pólo devido à má qualidade dos materiais utilizados para a solda;
- Opção 10: Má isolamento da ligação interna da carcaça devido à má qualidade do material utilizado;
- Opção 13: Modelo de eixo diferente do especificado devido à documentação da especificação do modelo equivocada;
- Opção 14: Dimensional da extremidade cônica fora do especificado devido à falha na especificação das dimensões;

- Opção 16: Dimensional da extremidade cônica fora do especificado devido à falta de calibrador para inspeção das peças recebidas;
- Opção 24: Montagem equivocada da porca que trava o comutador na armadura devido à realização procedimento realizado fora da ordem.

Visando a combater essas causas do retorno de equipamentos em garantia, foram, então, propostas as ações expostas a seguir. Vale ressaltar que, também nessa etapa, o contato da autora com os funcionários da empresa foi importante para a geração de um plano de melhoria que se enquadrasse na vida prática de fábrica, não o tornando puramente teórico.

As oito ações de melhoria propostas foram:

- Substituição de parafusos;
- Inspeção do torqueamento dos parafusos;
- Treinamento dos funcionários;
- Certificação dos soldadores;
- Testes de qualidade do material fornecido;
- Melhor identificação do modelo do equipamento no recebimento;
- Fabricação de calibradores;
- Compra do conjunto eixo/porca.

Posteriormente, foram estimados os ganhos monetários de cada uma das soluções propostas. Os benefícios trazidos à empresa estão atrelados ao potencial número de equipamentos que não retornará em garantia devido às ações propostas. Apenas uma proposta não apresentou ganhos positivos no horizonte de 1 ano, que é o utilizado pela empresa para a análise de investimentos. Ela, porém, deve ser avaliada e implementada, pois é um requisito para que a empresa se adeque às normas de qualidade.

Algo que não foi possível mensurar é o ganho de imagem que a empresa poderá obter pela melhora da qualidade de seu serviço, ficando a cargo dos próprios membros da MGE Transportes o julgamento desse ponto.

Este projeto foi, então, exposto à empresa, que deveria analisá-lo para a possível implementação das ações de melhoria propostas. A resposta dada pela MGE Transportes foi a de que, inicialmente, há interesse na substituição dos parafusos, uma vez que esta é a medida que, por meio da negociação com os clientes, não trará qualquer custo adicional e melhorará a qualidade do serviço oferecido. Também há interesse na certificação dos soldadores, medida que já estava nos planos da área da qualidade, na fabricação dos calibradores, com prioridade para o modelo de eixo identificado como o principal alvo das reclamações dos clientes, e na compra do conjunto eixo/porca.

As demais propostas de ação de melhoria serão avaliadas em um maior grau de detalhamento pela empresa, podendo ser implementadas futuramente.

Avaliando as propostas que a empresa visa a implementar a curto prazo, pode-se mensurar o benefício monetário do projeto como um todo. Assim, tem-se:

- Benefício anual global: R\$ 12.905,31;
- Investimento inicial: R\$ 5.800.

Calculando-se o VPL, com TMA de 15%, e a TIR, ambos para o horizonte de 1 ano, tem-se:

- **VPL** = R\$ 5.422,00;
- **TIR** = 122,50%.

Sabe-se que o benefício monetário trazido pela implementação das ações não é de grande expressividade. Isso se deve à simplicidade das ações e ao universo de análise desse projeto, que foi pequeno em relação às possibilidades apresentadas pela empresa.

Mais relevante que o impacto financeiro gerado pelas propostas é o benefício da redução do índice de retorno em garantia. Por meio de estimativas apresentadas em capítulos anteriores – uma produção de 1.500 equipamentos dos quais, em média, 130 retornam no período de garantia –, chega-se a um índice de aproximadamente 8,7%. Com a adoção das ações de melhoria por parte da empresa, esse percentual cairia para 8%, tomando como base para o cálculo os dados da Tabela 8.1, que possibilitam mensurar quantos motores deixariam de retornar em garantia.

Observa-se que apesar da relevante redução do índice de retorno em garantia, ele ainda se encontra longe da meta estabelecida pela empresa de 3%. Há, portanto, uma ampla gama de temas e de processos produtivos a serem analisados para uma completa varredura do universo da empresa. Dessa forma, há possibilidades para a realização de novos projetos como este para a MGE Transportes, e também para uma melhor exploração da ferramenta FMEA por parte dos membros do departamento de qualidade da empresa, seja utilizando-a para a análise de outras reclamações, seja para novos projetos.

Caso pretenda-se continuar este trabalho a partir dos levantamentos já realizados, uma abordagem natural seria a proposição de melhoria para as opções do FMEA com alto RPN e que ficaram no segundo quadrante do diagrama de Esforço vs. Resultado.

Dentro do escopo selecionado, este projeto teve seu objetivo alcançado, já que possibilitou um levantamento das principais causas do retorno em garantia e propôs soluções que se mostraram eficientes. Adicionalmente, foram levantados pontos importantes, que são deficientes na área de qualidade da empresa e que a diretoria executiva desconhecia, fazendo com que as ações de qualidade sejam mais bem analisadas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2006. 656 p.

CARVALHO, M. M. et al. **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 355 p.

KUME, H. **Métodos estatísticos para melhoria da qualidade**. São Paulo: Editora Gente, 1993. 245 p.

LEMES, D. V. **Proposta de método de análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos empregando dados de retorno em garantia**. 2006. 153 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MANUAL DA QUALIDADE. MGE Transportes. Diadema. 2007. 34 p.

MANUAL DE TREINAMENTO. MGE Transportes. Diadema, 2007.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2003. 370 p.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3ª ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2004. 270 p.

SÉRIE ESTUDOS FERROVIÁRIOS. São Paulo: SIMEFRE. Anual. Junho de 2008.

SERVIÇO DE BIBLIOTECA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. Diretrizes para apresentação de dissertações e teses. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.poli.usp.br/Bibliotecas/PublicacoesOnLine/Diretrizes3.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2008.





## APÊNDICE A – Composição dos custos da área de qualidade

**Tabela A.1 – Custo de equipamentos.**

Custo Equipamentos					
Equipamentos	Valor	Deprec anual	Custo 2006	Custo 2007	Custo 2008*
01 Aparelho p/testes de enrolamentos eletricos	42.818,10	10,00%	4.281,81	4.281,81	1.784,09
01 Pannel de 2,5 mt de comp. com 05 mod	1.505,00	10,00%	150,50	150,50	62,71
02 Amperimetro e 02 Voltmetro	393,75	5,00%	19,69	19,69	8,20
02 Pontas de prova corrente/tektronix	3.440,00	10,00%	344,00	344,00	143,33
03 Micrometro externo digital	1.856,00	5,00%	92,80	92,80	38,67
05 Multmetro digital minipa mod ET 1502	300,00	10,00%	30,00	30,00	12,50
09 Aperimetro e milivoltmetro	891,99	10,00%	89,20	89,20	37,17
18 Contatore/reles	2.325,00	10,00%	232,50	232,50	96,88
Aparelho para teste	3.000,00	10,00%	300,00	300,00	125,00
Bucha conica p/teste motor d31	1.243,00	10,00%	124,30	124,30	51,79
Chapelona	619,00	10,00%	61,90	61,90	-
Chapelona	362,90	10,00%	36,29	36,29	-
Chapelona D-31	180,00	10,00%	18,00	18,00	7,50
Desempeno de ferro fundido	1.500,00	10,00%	150,00	150,00	62,50
Fonte de alimentacao analogico	700,00	10,00%	70,00	70,00	29,17
Hipo tensão saída	3.050,00	10,00%	305,00	305,00	127,08
Instrumentos de medição	1.208,63	10,00%	120,86	120,86	-
Instrumentos de medição	526,56	10,00%	52,66	52,66	-
Instrumentos de medição	298,96	10,00%	29,90	-	-
MD 5056/ Megohmetro digital megabras	192,00	10,00%	19,20	19,20	-
Megohmetro digital megabras	1.562,40	10,00%	156,24	156,24	8,00
Megometro mod 5500	1.250,00	10,00%	125,00	125,00	65,10
Mesa de desempenho	5.000,00	10,00%	500,00	500,00	52,08
Micrometro	9.115,18	10,00%	-	-	208,33
Micrometro EXT.225-250 MM	283,59	10,00%	28,36	-	-
Multmetro minipa ET 2040/1502	305,00	10,00%	30,50	30,50	12,71
Osciloscopio dig. Bancada mod. TDS210	3.864,00	10,00%	386,40	386,40	161,00
Paquim univ. 150MM/6IN	65,00	10,00%	6,50	6,50	2,71
Paquimetro eletron digital 150 MM starret	180,00	10,00%	18,00	18,00	7,50
Paquimetro REF534102 DUMIT	617,65	10,00%	61,77	61,77	-
Relogio base, paquimetro, micrometro	23.855,28	10,00%	2.385,53	2.385,53	993,97
Relógio REF 2113E-10 AUMIT	117,98	10,00%	11,80	11,80	-
Shunts norma DN 300 AMP	660,00	5,00%	33,00	33,00	13,75
Testdo de alta tensao alternada	5.600,00	10,00%	560,00	560,00	233,33
Variador de tensao	700,00	5,00%	35,00	35,00	14,58
Voltmetro fm 96X96 mm - 550 VAC /shunt 50A/60 MV	184,87	10,00%	18,49	18,49	7,70
<b>Total</b>			<b>R\$ 10.885,18</b>	<b>R\$ 10.826,92</b>	<b>R\$ 4.367,35</b>

\* Referente Janeiro-Maio de 2008

**Tabela A.2 – Custo de mão-de-obra.**

Custo Mão-de-Obra			
Funcionários	Custo 2006	Custo 2007	Custo 2008*
Gerente qualidade	79.859,59	84.651,16	37.800,00
Supervisor qualidade	34.225,54	36.279,07	16.200,00
Encarregado teste elétrico	34.225,54	36.279,07	16.200,00
Encarregado metodologia e instrumentos	29.662,13	31.441,86	14.040,00
Inspetor mecânico	19.394,47	20.558,14	9.180,00
Inspetor elétrico	-	20.558,14	9.180,00
Operador mecânico	20.535,32	21.767,44	9.720,00
Operador mecânico	-	-	12.960,00
<b>Total</b>	<b>R\$ 217.902,59</b>	<b>R\$ 251.534,88</b>	<b>R\$ 125.280,00</b>

\* Referente Janeiro-Maio de 2008

## APÊNDICE B – Notas individuais do diagrama de Esforço vs. Resultado

Tabela A.3 – Notas individuais do diagrama de Esforço vs. Resultado.

OPC	Esforço				Resultado			
1	4	5	3	4	8	9	9	7
2	3	1	2	3	8	9	7	8
3	7	6	6	6	7	7	8	7
4	5	4	3	6	10	10	8	8
5	6	4	4	5	8	8	7	7
6	7	6	7	8	6	6	7	7
7	8	4	4	6	8	8	6	6
8	8	6	5	7	5	5	6	5
9	5	5	5	6	5	7	5	5
10	4	3	3	4	8	10	7	7
11	8	6	7	8	6	8	7	6
12	6	6	7	7	6	8	6	5
13	6	3	4	4	7	9	8	7
14	5	3	4	4	6	9	7	8
15	7	6	5	8	7	7	8	7
16	5	3	4	4	8	9	7	8
17	9	6	7	7	8	8	7	8
18	10	6	8	8	9	8	5	6
19	5	6	5	6	8	7	7	7
20	8	5	7	8	6	6	6	5
21	5	3	4	3	5	4	3	4
22	8	7	9	7	6	7	7	7
23	6	4	5	5	6	5	4	6
24	2	2	3	3	8	10	9	8
25	5	4	4	3	5	4	4	4
26	8	6	8	7	8	8	6	6
27	7	6	6	7	6	7	5	5

## ANEXO A – Fluxogramas do processo produtivo

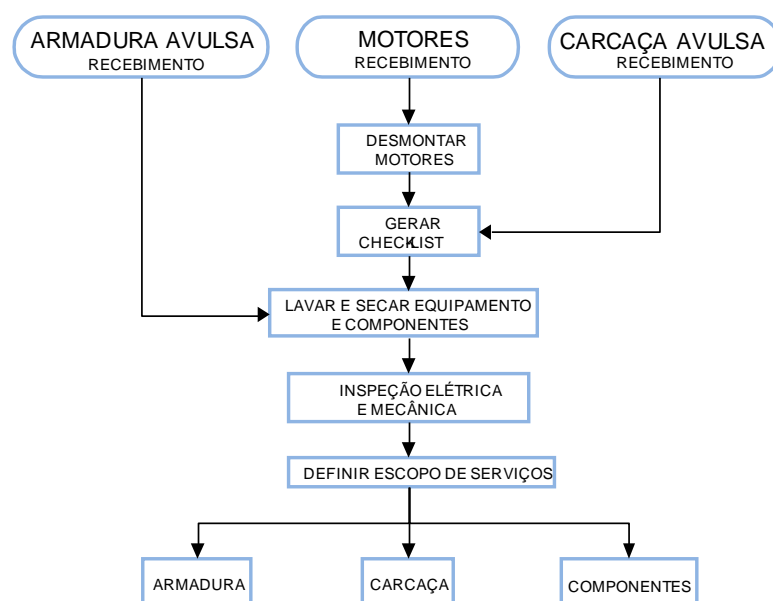


Figura A.1 – Fluxograma do recebimento dos equipamentos.

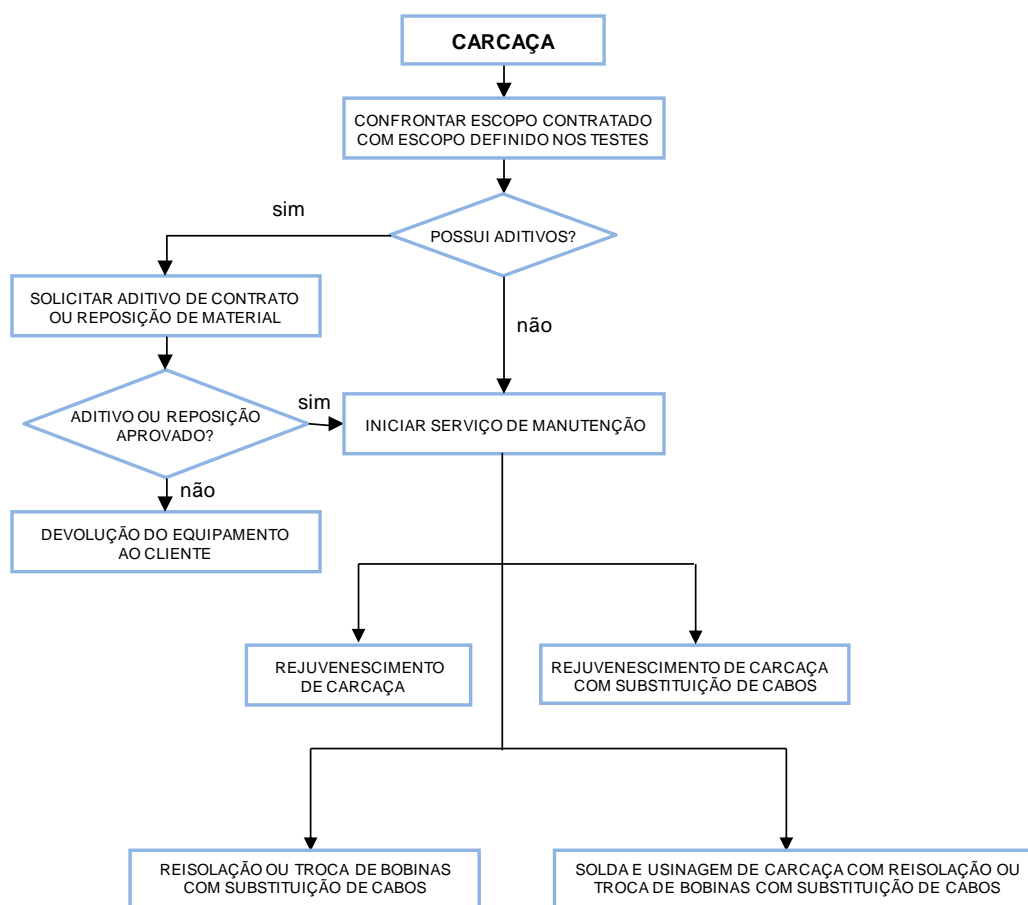


Figura A.2 – Fluxograma da definição do escopo de serviço da carcaça.

## ANEXO B – Fluxos dos processos de treinamento dos funcionários

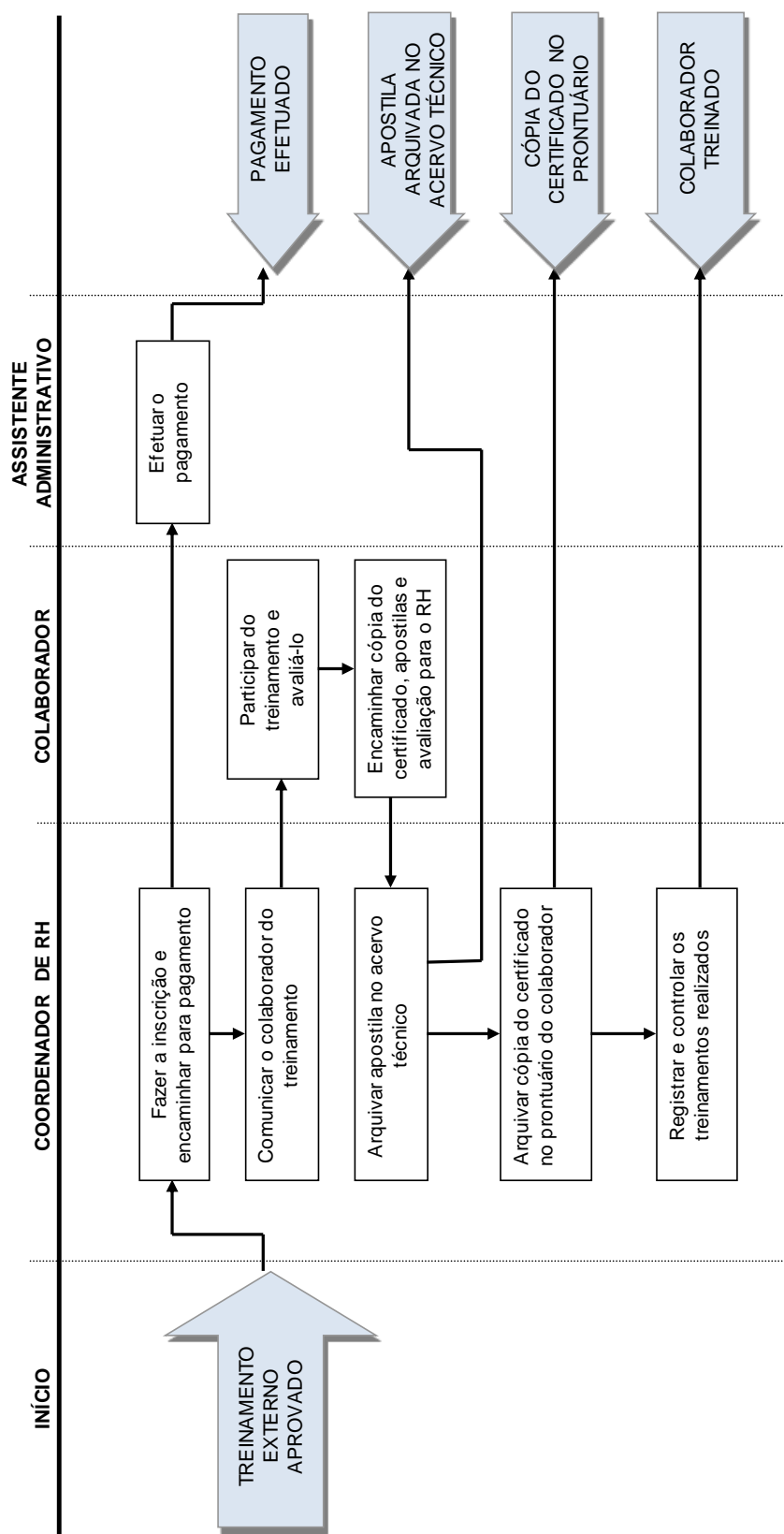


Figura A.3 – Fluxo do processo de treinamento externo de funcionários.

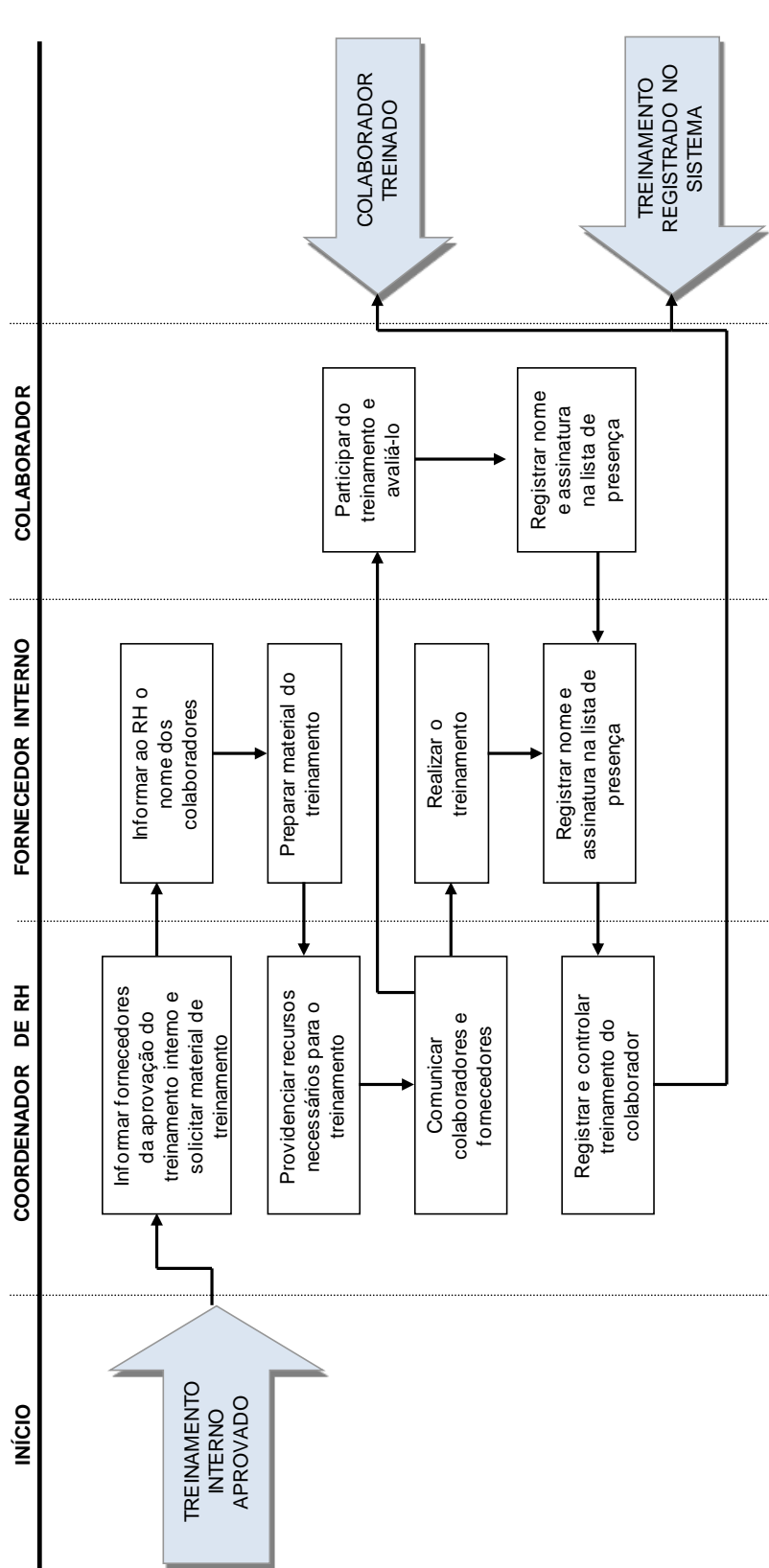


Figura A.4 – Fluxo do processo de treinamento interno de funcionários.