

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAMILA YOLANDA SILVA DOS REIS

**IMPLANTAÇÃO DO FMEA DE PROCESSO EM UMA LINHA DE
MONTAGEM DE 2º EIXO DIANTEIRO DIRIGÍVEL.**

MARÍLIA
2014

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CAMILA YOLANDA SILVA DOS REIS

**IMPLANTAÇÃO DO FMEA DE PROCESSO EM UMA LINHA DE
MONTAGEM DE 2º EIXO DIANTEIRO DIRIGÍVEL.**

Plano de Trabalho apresentado ao Núcleo de Apoio à Pesquisa e Extensão da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Rodrigo Fabiano Ravazi.

MARÍLIA
2014

Reis, Camila Yolanda Silva dos
Implantação do FMEA de Processo em uma linha de montagem
de 2º eixo dianteiro dirigível/ Camila Yolanda Silva dos Reis;
orientador: Rodrigo Fabiano Ravazi. Marília, SP: [s.n.], 2014.
85 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) -
Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides
Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de
Marília –UNIVEM, Marília, 2014.

1. FMEA de Processo 2. Redução dos riscos 3. Qualidade

CDD: 658.562



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

Camila Yolanda Silva dos Reis - 45266-1

TÍTULO "Implantação do FMEA de processo em uma linha de montagem de 2º eixo dianteiro dirigível "

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 100

ORIENTADOR: Rodrigo Fabiano Ravazi
Rodrigo Fabiano Ravazi

1º EXAMINADOR: Giulianna Marega Marques
Giulianna Marega Marques

2º EXAMINADOR: Geraldo Cesar Meneghêllo
Geraldo Cesar Meneghêllo

Marília, 01 de dezembro de 2014.

À Deus, pela coragem, força e sabedoria.

*Aos meus pais Carlos e Eunice Reis e à minha
irmã Bruna, pelo apoio.*

Aos demais familiares pela confiança.

*Ao meu noivo, Caio Godoi pelo
companheirismo.*

*Ao professor, Rodrigo Fabiano Ravazi pela
assistência.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela coragem, força e sabedoria que deu ao meu caminho na realização deste curso e deste trabalho final, e porque sua Palavra mais uma vez se cumpriu e se fez verdadeira em minha vida.

Aos meus pais Carlos e Eunice Reis e à minha irmã Bruna, que sempre me mostraram o caminho da educação e pelo incentivo.

Aos demais familiares por terem depositado em mim tanta confiança, manifestando-a em incontáveis ocasiões, sob diversas formas de apoio.

Ao meu noivo, Caio Godoi pelo companheirismo e fonte inesgotável de motivação.

Aos meus amigos que sempre compartilharam comigo as minhas conquistas.

À UNIVEM pela oportunidade.

Aos professores em geral, mas em especial ao meu orientador Rodrigo Fabiano Ravazi, que forneceu as condições e a assistência necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

À empresa que apoiou e viabilizou a realização deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos aqueles, que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o bom desenvolvimento deste trabalho.

“Sobre tudo o que se deve guardar, guarda o teu coração, porque dele procedem as fontes da vida”.

Provérbios, capítulo 4, versículo 23.

“Sabemos que Deus age em todas as coisas para o bem daqueles que o amam, dos que foram chamados de acordo com o seu propósito”.

Romanos, capítulo 8, versículo 28.

Reis, Camila Yolanda Silva dos. **Implantação do FMEA de Processo em uma linha de montagem de 2º eixo dianteiro dirigível**. 2014. 85 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

RESUMO

O presente trabalho explorar a teoria da ferramenta P-FMEA (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas no Processo) e implantá-la em uma linha de montagem de segundo eixo dianteiro dirigível de caminhões Ford Cargo 2429, em uma empresa sediada na cidade de Tupã interior de São Paulo. Para isso, o trabalho teve como objetivo evidenciar todas as possíveis falhas de montagem ainda na concepção do projeto, buscando agir preventivamente, de maneira a minimizar os potenciais modos de falha oriundos do processo, para assim garantir a qualidade do produto. Portanto, falhas foram levantadas, colaboradores treinados, responsabilidades e ações delegadas, resultados avaliados e ações de melhorias propostas. Os resultados mostraram uma redução de risco de falhas significativa na estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível, o que representa que a empresa conseguiu preparação para a implantação da metodologia, diminuição do risco de falhas, mudança de cultura e obtenção do foco na qualidade. No presente momento, das 40 unidades montadas foram auditadas 3, dentre estas foi encontrado apenas um defeito relacionado a falha humana indicando que a ferramenta é eficaz para esta aplicação.

Palavras-chave: FMEA de Processo. Redução dos riscos. Qualidade.

Reis, Camila Yolanda Silva dos. **Implantação do FMEA de Processo em uma linha de montagem de 2º eixo dianteiro dirigível**. 2014. 85 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

ABSTRACT

This paper explore the theory of P- FMEA tool (Analysis of Failure Modes and Effects in the Process) and deploys it into an assembly line of a second steerable front axle truck in a company based in the city of Tupã inside São Paulo. For this, the study aimed to highlight all the possible flaws assembly still in project design, seeking to act preventively in order to minimize potential failure modes arising from the process, thereby ensuring the product quality. Therefore, failures were raised, trained employees, responsibilities and delegated actions, evaluated results and actions proposed improvements. The results showed a significant reduction in risk of failure in the assembly of the second steerable front axle, which represents the company managed to preparation for deployment methodology, decreasing the risk of failures, culture change and getting the focus on quality station. At present, 40 of the mounted units were audited 3, among these only found a defect related to human error indicating that the tool is effective for this application.

Keywords: Process FMEA. Reducing risks. Quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Formulário P-FMEA.....	41
Figura 2 - Diagrama de Ishikawa.	45
Figura 3 - Símbolos do Fluxograma.....	51
Figura 4 - Barra do eixo Ford Cargo 2429.	54
Figura 5 - Barra de direção.....	55
Figura 6 - Manga do Eixo.....	55
Figura 7 - Embuchamento (pinos e rolamentos).	55
Figura 8 - Espelho Completo e Cubo.	56
Figura 9 - Layout de modificação do segundo eixo dianteiro dirigível.....	57
Figura 10 - Antes do Segundo eixo Ford modelo Cargo 2429.....	58
Figura 11 - Depois do Segundo eixo Ford modelo Cargo 2429.....	58
Figura 12 - Organograma Equipe P-FMEA.	59
Figura 13 - Exemplo de Fluxograma de Processo.....	61
Figura 14 - Exemplo de Fluxograma de potenciais modos de falha.	62
Figura 15 - Exemplo de Fluxograma dos efeitos para os potenciais modos de falha.....	63
Figura 16 - Exemplo de Fluxograma para as causas dos modos de falhas.....	64
Figura 17 - Estação 3 de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível.	66
Figura 18 - 1º Passo da montagem do 2º eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.	67
Figura 19 - Passo 2 da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.....	67
Figura 20 – 3º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.....	68
Figura 21 – 4º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.....	68
Figura 22 - 5º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.	69
Figura 23 – 6º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.....	69
Figura 24 - Segundo eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429 montado.	70
Figura 25 - Gráfico de Pareto da Estação 03.	72

Figura 26- Diagrama de Ishikawa e Análise da Árvore de Falhas.	74
Figura 27 – Poka Yoke implantado para evitar o posicionamento incorreto.	75
Figura 28 - Diagrama de Ishikawa e FTA.	76
Figura 29 - Sequência de ferramentas para Montagem do Cubo no espelho completo.	77
Figura 30 - Gráfico de Pareto – RPN antes x RPN depois.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Etapas para implantação do P-FMEA.	31
Tabela 2 - Critério de pontuação para severidade.	33
Tabela 3 - Critério de pontuação para ocorrência.....	35
Tabela 4 - Critério de pontuação para detecção de cada modo de falha.	36
Tabela 5 - Em direção ao zero erro humano.....	39
Tabela 6 - Fases do Ciclo PDCA.....	43
Tabela 7 - Exemplo de Fluxograma Vertical.....	50
Tabela 8 - Histórico de Falhas.....	60
Tabela 9- Formulário P-FMEA da estação 3 de montagem do 2º eixo dianteiro dirigível.....	71
Tabela 10 - Etapas do Formulário P-FMEA da estação 3.	73
Tabela 11 - Formulário com as Ações de Melhorias.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA: Análise dos Efeitos e Modos de Falhas.

P-FMEA: Análise dos Efeitos e Modos de Falhas no Processo.

NASA: Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço.

RPN: Número de Prioridade de Risco.

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.

IAQ: Instituto da Qualidade Automotiva.

PDCA: Planejar, Executar, Verificar, Agir.

FTA: Análise da Árvore de Falhas.

DFM: Design de Manufatura.

DFA: Design de Montagem.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	17
1.1 Delimitação do Tema.....	17
1.2 Objetivo	17
1.3 Objetivos Específicos	17
1.4 Justificativa.....	18
1.5 Metodologia.....	18
1.6 Estrutura do Trabalho	19
CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Definições do FMEA.....	20
2.2 Os tipos de FMEA	25
2.2.1 FMEA de Produto ou Projeto	25
2.2.2 FMEA de Procedimentos Administrativos.....	27
2.2.3 FMEA de Processo	27
2.3 Objetivo da Implantação do FMEA	29
2.4 Metodologia FMEA.....	30
2.5 Etapas para Implantação do FMEA de Processo (P-FMEA)	30
2.6 A equipe da FMEA.....	38
2.7 O erro humano	38
2.8 Formulário P-FMEA.	40
2.9 Ferramentas que podem auxiliar a implantação do (P-FMEA).....	42
2.9.1 PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir).....	42
2.9.2 Brainstorming	43
2.9.3 Diagrama de causa e efeito.....	44
2.9.4 O 5 W e 2H.....	45
2.9.5 Gráfico de Pareto	45

2.9.6 Análise da Árvore de Falhas (<i>Fault Tree Analysis - FTA</i>).....	46
2.9.7 Poka-Yoke	47
2.9.8 Diagrama de Gantt.....	48
2.9.9 Fluxograma.....	48
3. Qualidade.....	51
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO.....	53
3.1 Histórico da empresa	53
3.1.1 Segundo eixo dianteiro dirigível.....	54
3.1.2 Segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429.	54
3.2 Elaboração das etapas.....	58
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	66
4.1 A linha de Montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.....	66
4.2 Estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.....	66
CONCLUSÃO.....	80
REFERÊNCIAIS	81

INTRODUÇÃO

Com a grande concorrência entre as indústrias, as empresas, organizações têm procurado melhorar continuamente a qualidade e a confiabilidade de seus produtos e processos, para atenderem requisitos de satisfação, para garantir a necessidade de seus clientes, adquirir conhecimento e agregarem valor a seus produtos.

A metodologia FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas), é uma ferramenta que busca, evitar, por meio da análise das falhas em potenciais, falhas oriundas do projeto do produto ou do planejamento e execução do processo. Essa metodologia é derivada da Teoria de Engenharia da Confiabilidade, e tem por objetivo aumentar a confiabilidade dos produtos, ou seja, reduzir a taxa de falhas dos produtos, processos e serviços (TOLEDO, 2002).

O objetivo desta metodologia é detectar as falhas antes que se produza, ou distribua um produto, ou seja, o FMEA é proativo, implicando na eliminação de problemas, falhas potenciais, antes que os mesmos sejam criados em um protótipo, durante o processo. Pode-se dizer que, esta técnica é vital para o desenvolvimento dentro dos programas de qualidade e confiabilidade da organização, ou seja, com sua utilização, diminui as chances do produto ou processo falhar (PALADY, 1997).

Um dos fatores mais importantes para se obter sucesso na implantação do FMEA, é o momento certo de sua execução, ou seja, para obter resultados satisfatórios, o FMEA deve ser feito antes de um modo de falha de projeto ou processo fazer parte do produto ou processo.

Esta dimensão da qualidade dos produtos, a confiabilidade, tem se tornado cada vez mais importante para os consumidores, pois, a falha de um produto, mesmo que rapidamente reparada pelo serviço de assistência técnica e coberta totalmente por termos de garantia, causa, no mínimo, uma insatisfação ao consumidor ao privá-lo do uso do produto por determinado tempo (TOLDEDO, 2002).

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada também para diminuir as falhas de produtos e processos existentes e para diminuir a probabilidade de falha em processos administrativos. Mas tem sido crescente a sua incorporação e aplicação nos modelos dos processos de desenvolvimento de novos produtos, visando assegurar a confiabilidade do produto já durante as suas fases de desenvolvimento e projeto. Tem sido empregada também em aplicações específicas tais como análises de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de

alimentos, para assegurar que a segurança do alimento esteja em níveis aceitáveis de contaminações de ordem física, química ou microbiológica (TOLEDO, 2002).

Após o início de sua aplicação, o FMEA deve transformar-se em um documento vivo que deverá ser atualizado e revisto sempre que necessário, uma vez que no decorrer do tempo mudam os critérios de percepção e avaliação da qualidade pelos clientes, mudam os fornecedores de componentes e insumos, mudam as aplicações e usos do produto e aprende-se, por meio de dados da área de Assistência Técnica, sobre novas falhas que anteriormente não eram conhecidas e previstas. Isto confere a este método um grande dinamismo, e utilidades nas mais diversas áreas empresariais (ROZENFELD *et al.*, 2005).

O presente trabalho, objetiva demonstrar essa metodologia (seus princípios, passos, resultados, etc) seus conceitos e estratégias para eliminação de dúvidas ao que diz respeito a interpretação de FMEA de Processos, apresentando os pontos importantes da aplicação desta técnica no intuito de se evitar falhas potenciais e para facilitar a compreensão das pessoas, para total entendimento e viabilização de sua implantação.

Para isto, o trabalho teve como objetivo evidenciar todas as possíveis falhas de montagem ainda na concepção do projeto, buscando agir preventivamente, de maneira a minimizar os potenciais modos de falha oriundos do processo, para aumentar a qualidade e a confiabilidade do produto.

Este trabalho, foi desenvolvido em uma linha de montagem de segundo eixo dianteiro dirigível em caminhões Ford modelo cargo 2429, em uma empresa localizada em Tupã, interior de São Paulo, e conta com as experiências vividas, pela sua autora, dentro e fora da empresa. Todas as descrições contidas neste trabalho são fundamentais para a compreensão da importância de cada passo que se segue, na aplicação do FMEA, durante o processo de montagem do produto.

O desenvolvimento deste trabalho seu deu com o apoio teórico (bibliografia) e prático (experiência na empresa), sendo utilizado material didático utilizado pela empresa, usando as instalações, equipamentos e corpo técnico da própria empresa.

CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

1.1 Delimitação do Tema

Estudo e implantação da ferramenta de Análise dos Efeitos e Modos de Falhas de Processo (FMEA de Processo) em uma linha de montagem de segundo eixo dianteiro dirigível de caminhões Ford modelo Cargo 2429.

1.2 Objetivo

O presente trabalho, objetiva implantar a ferramenta P-FMEA (FMEA de Processo) de maneira a minimizar os potenciais modos de falha no processo de uma linha de montagem de segundo eixo dianteiro dirigível, em caminhões Ford modelo Cargo 2429, agindo preventivamente para aumentar a qualidade, e conseqüentemente a confiabilidade do produto.

1.3 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo pretendido será necessário definir os seguintes objetivos específicos:

- Utilizar a metodologia FMEA;
- Analisar os riscos envolvidos no processo;
- Diminuir a probabilidade de ocorrência das falhas no processo;
- Diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade;
- Criar uma cultura de qualidade nas pessoas envolvidas nos projetos e processos;
- Desenvolver dentro da organização uma atitude de prevenção às falhas, trabalho em equipe e cooperação, com a preocupação em satisfazer os clientes;
- Avaliar os resultados;
- Implantar ações de melhorias.

1.4 Justificativa

O assunto a ser abordado neste trabalho, foi escolhido tendo em vista a importância do uso da metodologia FMEA para um planejamento eficiente de prevenção de falhas potenciais que ocorram no processo, implicando nas chances do produto, processo ou serviço falhar durante a operação, com o objetivo de detectar falhas antes que se produza, ou se distribua o produto, e propor ações de melhorias como: aumento da qualidade, da confiabilidade para o processo de fabricação e montagem do segundo eixo dianteiro dirigível em caminhões Ford modelo Cargo 2429.

Com o estudo e a implantação do FMEA, busca-se prevenir defeitos oriundos do processo, minimizar os potenciais modo de falhas, obter ações de melhorias e aumentar a qualidade e a confiabilidade do produto e processo para consequentemente aumentar a segurança e a satisfação do cliente.

1.5 Metodologia

Neste presente trabalho, a pesquisa a ser realizada é de natureza aplicada e se caracteriza como descritiva e explicativa, ou seja, bibliográfica, através de livros, artigos e estudo de caso, ou seja, pesquisa de campo, buscando com isso um referencial teórico para o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Este método objetiva o estudo profundo de poucos objetos de maneira que se permita o detalhado conhecimento (SILVA; MENEZES, 2001). Portanto, a metodologia de pesquisa a ser utilizada, é de natureza aplicada, porque tem objetivo de gerar conhecimento para aplicação prática direcionados à solução de problemas específicos (SILVA; MENEZES, 2001). Possui objetivo descritivo e explicativo, porque de acordo com os mesmos autores objetiva identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Com relação à forma de abordagem, é considerada qualitativa.

Este trabalho é estruturado em duas partes: levantamento bibliográfico e pesquisa de campo.

O levantamento bibliográfico envolve os temas Análise dos Efeitos e Modos de Falhas (FMEA), Análise Efeitos e Modos de Falhas no Processo (P-FMEA) e Qualidade. A partir da literatura, será formalizado o conceito de P-FMEA.

Com relação às atividades na organização, será analisado o produto, o processo, os problemas e falhas atuais levantados durante o processo. Em seguida, serão feitas análises do método atual utilizado, com o objetivo de implantar o FMEA de Processo de maneira a eliminar ou minimizar os potenciais modos de falhas no processo, buscando a melhor forma de transição para uma estrutura que trará um melhor retorno para empresa, baseada no conceito de FMEA.

1.6 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, detalhados a seguir.

O Capítulo um apresenta as considerações sobre o tema escolhido, como a delimitação do tema, o objetivo de implantar a metodologia FMEA, os objetivos específicos para alcançar o objetivo pretendido, a justificativa da pesquisa, a metodologia adotada e a classificação dessa pesquisa e por fim a estrutura do trabalho que compõe todos os capítulos citados no decorrer desta pesquisa.

O Capítulo dois descreve uma breve discussão introdutória sobre o próprio capítulo e a construção do referencial teórico a respeito dos temas Análise dos Efeitos e Modos de Falhas, Análise dos Efeitos e Modos de Falhas no Processo, ferramentas que auxiliaram na implantação do FMEA de Processo e Qualidade. Esta revisão fornece subsídios para a realização e análise do estudo de caso.

O Capítulo três é destinado à pesquisa de campo, apresentando o estudo de caso de uma empresa de prestação de serviços em caminhões.

O Capítulo quatro apresenta os resultados obtidos no trabalho, de forma clara e concisa, apresentando as principais contribuições da pesquisa, bem como a identificação das limitações.

E por fim será apresentada a conclusão, ou seja, o fechamento do presente trabalho, tendo como base todo o conteúdo do mesmo para uma discussão sobre a importância do tema escolhido, apresentando o cumprimento dos objetivos que foram propostos no início do trabalho.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA

O objetivo deste capítulo é aprofundar a contextualização da metodologia FMEA direcionada ao processo, mencionando fatos que foram determinantes para o surgimento dessa metodologia, e o quanto a mesma é de inteira importância para tornar uma organização em referência de qualidade.

Este capítulo deve, também, proporcionar ao leitor conhecimento de algumas linguagens e conceitos para o entendimento da metodologia abordada. Deve mostrar como é o funcionamento da sistemática para identificação e resolução de problemas durante o processo.

Deve, também, mostrar os diversos conceitos envolvidos para aplicação dessa metodologia, que visa o aumento da qualidade e da confiabilidade nos produtos e processos.

E, por fim, apresentar a implantação dessa metodologia, que tem como título FMEA que surgiu em 1.949 para análise de falhas em sistemas e equipamentos do exército americano, em uma empresa responsável pela fabricação e montagem de segundo eixo dianteiro dirigível em caminhões, em específico em caminhões Ford, modelo Cargo 2429.

Assim, a base teórica que dará suporte ao estudo de caso proposto, será estruturada em dez partes:

- Definições de Análise dos Efeitos e Modos de Falhas (FMEA);
- Os tipos de FMEA;
- Objetivo da implantação da FMEA.;
- Metodologia da FMEA;
- Etapas para a implantação da FMEA de Processo (P-FMEA);
- A equipe da FMEA;
- O erro humano;
- Formulário da P-FMEA;
- Ferramentas que auxiliaram na implantação da FMEA de Processo;
- Qualidade.

2.1 Definições do FMEA

O FMEA (do inglês Failure Mode and Effect Analysis), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhorias, que ocorram falhas no projeto do produto ou do processo. Este é o objetivo básico

desta técnica, ou seja, detectar falhas antes que se produza uma peça e/ou produto. Pode-se dizer que, com sua utilização está diminuindo as chances do produto ou processo falhar, ou seja, com o uso desta ferramenta se está almejando aumentar a qualidade e a confiabilidade (MANUAL QS 9000, 1997).

Stamatis (1995) define FMEA como um método de análise de produtos, processos ou serviços, usado para identificar todos os possíveis modos de falhas potenciais e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema, mediante um raciocínio dedutivo. Se tratando de um método analítico padronizado para detectar e eliminar potenciais de forma sistemática e completa (STAMATIS, 1995 *apud* SILVA, TIN e OLIVEIRA, 1997, p. 01).

Sakurada (2001) define FMEA como “um método qualitativo que estuda os possíveis modos de falhas dos componentes, sistemas, projetos e processos e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha” (SAKURADA, 2001 *apud* ANDRADE, ZARDO e FORCELLINE, 2005, p.03).

Sobre o ponto de vista de Silva, Fonseca e Brito (2006, p.01):

FMEA é um método de análise e risco indutivo, que permite avaliar, a partir de um modo de falha, as respectivas causas e consequência de efeitos, assim como os meios de detecção e prevenção dos modos de falha e de mitigação dos seus efeitos.

Para Conte e Compani (2007, p.02) e de acordo com Helman e Andery (1995):

FMEA é um método de produtos ou processos, industriais e/ou administrativos, usado para identificar todos os possíveis modos de falha e determinar o efeito de cada uma sobre o desempenho do sistema (produto ou processo), mediante um raciocínio basicamente dedutivo.

Segundo Rodrigues (2004, p.148):

Análise dos Modos de Falhas e Efeito – FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é um método estruturado e formalmente documentado, que permite prevenir falhas e analisar os riscos e a criticidade de um processo, ou de seus eventos, através da identificação de causas e efeitos e da consequente utilização de mecanismos ou ações para inibir as falhas potenciais.

A Análise dos Efeitos e Modos de Falhas (FMEA) é um método para evitar problemas, que pode ser executado por engenheiros de projeto e de segurança nos primeiros estágios de introdução do produto em questão. A FMEA determina a chance de falha e a chance de detecção usando ponderação na classificação para cada um dos modos de falha. A técnica FMEA é um método estruturado de revisão de projeto que levam os profissionais a considerarem modos de falha em potencial e atribuírem prioridades de acordo com o impacto

que terão na confiabilidade. A FMEA, identifica problemas que necessitam de atenção imediata e define ações preventivas que devem ser executadas antes de um projeto novo ser liberado (HRADESKY, 1989, p. 241).

Portanto é um método analítico padronizado de detecção e eliminação de problemas potenciais de forma sistemática e completa (HELMAN e ANDERY, 1995, p. 25).

A metodologia FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas), é uma ferramenta que busca, evitar, por meio da análise das falhas em potenciais, falhas oriundas do projeto do produto ou do planejamento e execução do processo. Essa metodologia é derivada da Teoria de Engenharia da Confiabilidade, e tem por objetivo aumentar a confiabilidade dos produtos, ou seja, reduzir a taxa de falhas dos produtos, processos e serviços. (TOLEDO, 2002)

A FMEA surgiu por volta de 1949 para análise de falhas em sistemas e equipamentos do exército americano. Na década dos anos 60, foi desenvolvida e aprimorada pela indústria aeroespacial NASA – Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (do inglês National Aeronautics and Space Administration). Porém, desde 1976 vem sendo usada no ramo automobilístico, tornando-se uma ferramenta fundamental para as empresas fornecedoras deste segmento. No ambiente industrial, a FMEA pode ser compreendida como uma metodologia sistemática que permite identificar falhas potenciais de um sistema, projeto, processo ou serviço, com o objetivo de reduzir ou eliminar os riscos associados, antes que estas falhas ocorram (BASTOS, 2006, p.01 – 02).

Nos dias de hoje, a indústria automotiva adaptou a metodologia para utilizá-la nos processos e produtos, aumentando o nível de qualidade (MCDERMOTT; MIKULAK e BEAUREGARD, 2009).

Para Moura (2000, p.06)

Apesar de sempre terem sido realizadas análises semelhantes a FMEA nos projetos e processos de manufatura, a primeira aplicação formal da FMEA foi uma inovação da indústria aeroespacial em meados dos anos 60.

Para Toledo e Amaral (2006, p. 02)

Apesar de ter sido desenvolvida com um enfoque no projeto de novos produtos e processos, a metodologia FMEA, pela sua grande utilidade, passou a ser aplicada de diversas maneiras. Assim, ela atualmente é utilizada para diminuir falhas de produtos e processos existentes e para diminuir probabilidade de falhas em processos administrativos. Tem sido empregada também em aplicações específicas tais como análise de fontes de risco em engenharia de segurança e na indústria de alimentos.

O FMEA torna-se útil ao detectar e analisar possíveis falhas em um determinado produto, processo ou serviço, identificando as ações que possam reduzir ou eliminar as ocorrências de possíveis falhas potenciais, traçando planos de ação que determinam as melhores providências cabíveis (BASTOS, 2006, p. 01).

Para Paul Palady (1997, p. 05):

O FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas.

O FMEA é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados.

O FMEA é o diário do projeto, processo ou serviço.

Para melhor entendimento sobre o FMEA, deve-se entender duas definições básicas, conforme a IQA (2003) que se seguem:

Falha: falta de capacidade de um item em entender a sua função (funcionar). Perde a função principal (ou função secundária ou de estima).

Defeito: causa um grau elevado de insatisfação, pois refere-se a uma não-conformidade do produto em relação aos requisitos do cliente, normalmente está associado a um problema (ou deficiência) no projeto do produto.

O FMEA pode ser descrito como uma metodologia sistemática que deve ser aplicada por grupos multidisciplinares, para aumentar, com a sinergia e agregação dos conhecimentos das pessoas envolvidas, o grau de percepção e de solução dos defeitos e falhas (TOLEDO, 2002).

A ferramenta FMEA tem sido executada como esforço individual, mas para que essa ferramenta seja mais eficaz, é ideal que a mesma seja aplicada em um esforço de equipe, logicamente que cada abordagem tem suas vantagens e desvantagens quando se diz respeito ao custo e benefício de cada uma. O desenvolvimento e a execução da FMEA gera custos, entretanto, quando a FMEA, é feita em equipe, existe uma chance de melhor identificação e prevenção dos modos de falhas potenciais quando é feita apenas por um indivíduo, porém, quando é feita individualmente os custos são relativamente menores, mas as chances de melhor identificação e prevenção dos modos de falhas também é menor e não talvez não tenha o retorno de qualidade/confiabilidade esperados (PALADY, 1997).

Os objetivos do grupo, na aplicação do FMEA são: reconhecer e avaliar as falhas potenciais de um produto ou processo e seus efeitos; identificar as causas dessas falhas; identificar ações, principalmente de prevenção, que possam eliminar ou reduzir a chance de uma falha potencial ocorrer; avaliar os riscos envolvidos com a falha, considerando sua gravidade, chance de ocorrer e possibilidade de ser identificada antes do produto ser

encaminhado ao mercado; documentar o processo, para trabalhos futuros e registrar e compartilhar as lições aprendidas pelo grupo na aplicação específica de FMEA.

E no caso de novos produtos, é um complemento ao desenvolvimento do projeto do produto, pois auxilia na definição do que realmente é importante e deve ser feito para satisfazer o cliente. Também é uma ferramenta complementar na prática de melhoria contínua de produtos já existentes (ROZENFELD, 2005).

Uma vez que esta ferramenta pode reduzir ou eliminar a chance de implantação de mudanças corretivas. (Análise do Efeitos e Modos de Falhas – Apostila do Participante, SETEC, FMEA 3º edição, 2002, p. 11)

Aplicado o FMEA corretamente, este deve ser um processo iterativo sem fim, gerando a melhoria contínua do produto, particularmente numa dimensão da qualidade: a confiabilidade.

Segundo Nogueira; Toledo (2000), a ferramenta FMEA deve ajudar também no desenvolvimento de novas máquinas e equipamentos. O método é o mesmo, entretanto, a máquina ou o equipamento que está sendo desenvolvido deverá ser considerado como o produto. Quando Modos de Falhas em potencial são identificados, as ações corretivas devem ser trabalhadas para eliminá-los ou, continuamente, reduzir sua probabilidade de ocorrência.

Os benefícios gerais são: melhorar a qualidade, a confiabilidade e segurança dos produtos, melhorar a competitividade e a imagem da empresa, ajudar a alcançar e superar as expectativas dos clientes, reduzir o custo e o tempo de desenvolvimento dos produtos, documentar e acompanhar as ações tomadas com o objetivo de reduzir riscos.

Diante destes pontos, o FMEA garante à empresa que: um projeto de FMEA bem executado irá assegurar, ou melhorar, a robustez do produto e do processo; Durante a fase de produção, um FMEA incompleto aumenta o risco do projeto e do produto da empresa não ser capaz de cumprir as especificações de fabricação; Uma vez que o projeto do produto, os processos de fabricação e de montagem mudam durante o desenvolvimento, o FMEA e sua documentação passam por uma série de revisões. A documentação é dinâmica, portanto reflete as mudanças significativas no produto e no processo para a memória histórica da corporação, rastreabilidade e aprendizagem organizacional; A documentação do FMEA “fecha o círculo de resolução do problema” assegurando que o que poderia dar errado foi reconhecido e ações de prevenção foram tomadas.

Além de ser uma das técnicas de baixo risco mais eficientes o método de FMEA pode auxiliar com mais eficiência na etapa de busca das causas fundamentais dos problemas, bem como na etapa de elaboração de um plano de ação para o bloqueio dessas causas. A

metodologia FMEA é uma técnica de confiabilidade que auxilia na avaliação de produtos, processos ou serviços, que contribui para a redução da taxa de falhas. É também considerada como uma ferramenta de gerenciamento de risco com enfoque preventivo, que auxilia na identificação falhas potenciais, suas causas e efeitos (CONTE e COMPANI, 2007, p. 02).

Visto que o FMEA busca garantir a qualidade e a confiabilidade dos produtos e processos ou serviços, segundo Bastos (2006) a confiabilidade pode ser entendida como a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições estipuladas durante um determinado período de tempo sem falhas (JURAN e GRZYNA, 1991, p.26 *apud* BASTOS, 2006, p. 01).

No FMEA, aplica-se um raciocínio bottom-up, como sugere o termo, começa com o desenvolvimento de FMEAs no nível de componentes individuais, que servem como input para os FMEAs no nível de subsistema, que juntam para auxiliar o desenvolvimento do FMEA do sistema, ou seja, procura determinar modos de falhas dos componentes mais simples, suas causas e de que maneira eles afetam os níveis superiores do sistema (PALADY, 1997).

2.2 Os tipos de FMEA

Para (PALADY, 1997 p.07) FMEA pode ser aplicada tanto no desenvolvimento do projeto do produto como no projeto do processo. A realização das análises e das etapas são as mesmas, o que diferencia as FMEAs de projeto e processo está nos objetivos. Assim as análises FMEAs são classificadas em dois tipos que são bem conhecidos: FMEA de Produto e FMEA de Processo.

Essa metodologia ainda reserva um terceiro tipo, menos comum que é a FMEA de procedimentos administrativos.

Para melhor entendimento, a seguir serão descritos os três tipos de FMEAs.

2.2.1 FMEA de Produto ou Projeto

Em uma FMEA de produto, são consideradas as falhas que poderão ocorrer com o produto dentro das especificações do projeto. O objetivo desta análise é evitar falhas no produto ou no processo decorrente do projeto que está sendo planejado (TOLEDO e AMARAL, 2006, p.02).

Para Moura (2000, p.08), uma FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada pela equipe responsável pelo projeto com a finalidade de assegurar que na medida do possível, os modos de falhas potenciais e suas causas associadas sejam considerados e endereçados. Deve-se avaliar os produtos finais, componentes, subsistemas e sistemas relacionados. De forma mais clara, FMEA é um resumo dos pensamentos da equipe de como um componente, subsistema ou sistema é projetado. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta a linha de pensamento que é percorrida durante o desenvolvimento de um projeto.

Segundo Moura (2000, p.08), a FMEA de projeto dá suporte ao desenvolvimento do projeto reduzindo os riscos de falhas por: Auxiliar na avaliação objetiva dos requisitos do projeto e das soluções alternativas; Considerar os requisitos de manufatura e montagem no projeto inicial; Aumentar a probabilidade de que os modos de falhas potenciais e seus efeitos nos sistemas e na operação do veículo tenham sido consideradas no processo de desenvolvimento/projeto; Proporcionar informações adicionais para ajudar no planejamento de programas de desenvolvimento e de ensaios de projetos eficientes e completos; Desenvolver uma lista de modos de falhas potenciais classificadas de acordo com os seus efeitos no cliente, estabelecendo assim um sistema de priorização para melhorias do projeto e ensaios de desenvolvimentos; Proporcionar uma forma de documentação aberta para recomendar e rastrear ações de redução de risco; Proporcionar referências para no futuro ajudar na análise de problemas de campo, na avaliação de alterações de projeto e no desenvolvimento de projetos avançados.

O “cliente” de uma FMEA de projeto não é apenas o “usuário final”, mas também os engenheiros e as equipes responsáveis pelo projeto de montagens de níveis superiores ou do produto final, e/ou os engenheiros responsáveis pelo processo de manufatura em atividades como Manufatura, Montagem e Assistência Técnica (MOURA, 2000, p.08).

Para (Apostila do Participante, SETEC, FMEA 3º edição, p.20), Os objetivos do FMEA de Projeto são:

- Melhorar o projeto (objetivo primário);
- Avaliar o projeto inicial para manufatura, montagens e serviços;
- Ajudar a identificar Modos de Falhas Potenciais de produto na fase de desenvolvimento, antes da liberação dos desenhos;
- Ajudar a identificar características especiais em potencial que serão confirmados no FMEA de Processo;

- Ajudar a identificar possíveis problemas relacionados a itens de segurança e que afetam regulamentações governamentais do produto para que possam ser resolvidos ainda nesta etapa;
- Ajudar a avaliar objetivamente os requisitos e alternativas do projeto, estabelecendo prioridades para ações de melhorias;
- Documentar o raciocínio por trás das mudanças de projeto, para direcionar o desenvolvimento de futuras alterações do produto;
- Prover documentação adequada para desenvolvimento de futuros projetos (referências para o futuro);
- Buscar soluções alternativas para o projeto utilizando conceitos de DFA (Design do Assembly) e DFM (Design of Manufacturing).

2.2.2 FMEA de Procedimentos Administrativos

Há ainda um terceiro tipo, menos comum, que é o FMEA de procedimentos administrativos. Nele analisa-se as falhas potenciais de cada etapa do processo com o mesmo objetivo que as análises anteriores, ou seja, diminuir os riscos de falha (TOLEDO E AMARAL, 2006).

2.2.3 FMEA de Processo

O FMEA de Processo é direcionado ao desenvolvimento de um processo, para que todas as falhas potenciais e suas causas sejam analisadas e tomadas todas as ações preventivas necessárias. O objetivo do FMEA de Processo é evidenciar todas as possíveis falhas ao longo do fluxo produtivo, para que sejam identificados todos os riscos que um produto possa apresentar no decorrer do seu processo (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas – Apostila do Participante, SETEC, FMEA 3º edição, p. 73).

Para Toledo e Amaral (2006, p.02):

Em uma FMEA de processo são consideradas as falhas no planejamento e execução do processo, ou seja, o objetivo desta análise é evitar falhas do processo, tendo como base as não conformidades do produto com as especificações do projeto.

Segundo Moura (2000, p. 25) uma FMEA de processo é uma técnica analítica usada pelo engenheiro e por uma equipe responsável pela manufatura com a finalidade de assegurar

que, na medida do possível, os modos de falhas potenciais e suas causas sejam analisados e avaliados. De uma forma mais clara, uma FMEA é um resumo dos pensamentos de toda a equipe durante o desenvolvimento de um processo e inclui a análise de itens que poderiam falhar baseados nos problemas passados e na experiência da equipe. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta a linha de pensamentos da equipe que é normalmente percorrida durante o processo de planejamento da manufatura.

Para Moura (2000, p.25) a FMEA de processo:

- Identifica os modos de falhas potenciais do processo relacionados ao produto;
- Avalia os efeitos potenciais da falha no cliente;
- Identifica as causas potenciais de falhas do processo de manufatura ou montagem e as variáveis que deverão ser controladas para redução da ocorrência ou melhoria da eficácia da detecção das falhas;
- Classifica modos de falha potenciais, estabelecendo assim um sistema de priorização para tomada das ações corretivas;
- Documenta os resultados do processo de manufatura ou montagem.

O FMEA de Processo se aplica a: novos processos, processos existentes, mas que estão passando por aperfeiçoamentos e processos existentes, mas que estão sendo realizados com nova tecnologia. (Análise dos Efeitos e Modos de Falhas – Apostila do Participante, SETEC, FMEA 3º edição, p. 73)

Os objetivos do FMEA de Processo são:

- Melhoria do processo (objetivo primário);
- Ajudar na análise de um novo processo de montagem ou fabricação;
- Identificar modos de falhas relativos ao processo e avaliar seus efeitos sobre o cliente;
- Identificar variáveis de processo nas quais serão focalizados controles para redução de índices de ocorrências ou detecção das condições de falhas;
- Identificar características especiais e ajudar na estruturação dos planos de controle e controles especiais a serem adotados;
- Estabelecer prioridades para ações de melhoria do processo;
- Documentar o raciocínio das mudanças de processo para dirigir o desenvolvimento de futuros processos de montagem ou fabricação.

A avaliação dos riscos das falhas acontecerem é determinada por três fatores: Gravidade: a consequência, caso a falha ocorra; Ocorrência: a probabilidade de ocorrência da falha; Detecção: a possibilidade de identificar a falha.

Usando os dados e conhecimento do processo, cada falha potencial e efeito são avaliados em cada um destes três fatores em uma escala que varia de 1 a 10, sendo respectivamente, baixa a alta. Multiplicando a classificação para os três fatores (efeito x ocorrência x detecção), um número de prioridade de risco (RPN - *Risk Priority Number*) será determinado para cada potencial modo de falha. O número de prioridade de risco (varia de 1 a 1.000 para cada modo de falha) é usado para classificar a necessidade de ações corretivas para eliminar ou reduzir os potenciais modos de falha. Os modos de falha com maior RPN devem ser atendidos em primeiro lugar, embora a atenção especial deva ser dada quando a gravidade da pontuação é elevada (9 ou 10), independentemente do RPN. Uma vez que as ações corretivas tenham sido tomadas, um novo RPN é determinado e reavaliado, sendo chamado de "RPN resultante", que até estar em um nível aceitável, as ações de melhoria devem continuar, comparado aos demais modos de falha (MCDERMOTT; MIKULAK e BEAUREGARD, 2009).

2.3 Objetivo da Implantação do FMEA

O objetivo da Análise do Efeito e Modo de Falhas é identificar as características do produto, processo ou serviço, que são críticas para vários tipos de falhas. É um modo de identificar falhas antes que elas aconteçam, através de um procedimento chamado de "lista de verificação" (check-list), que é desenvolvida em torno de três perguntas, consideradas perguntas-chaves:

- Qual é a probabilidade de a falha acontecer?
- Qual seria a consequência da falha?
- Com qual probabilidade essa falha é detectada antes que afete o cliente?

Baseado em uma avaliação quantitativa dessas três perguntas, é calculado um número de prioridade de risco (RPN) para cada causa potencial de falha. Ações de correção que visam prevenir falhas são então aplicadas às causas cujo NPR indica que justificam prioridade. (SLACK, 2002, p.637).

O foco principal da FMEA é identificar, delimitar e descrever as possíveis não-conformidades (modo de falha) de um projeto, processo ou serviço, seus efeitos e causas, e

criar condições organizacionais para minimizá-los ou eliminá-los, através de ações de prevenção estruturada e realizada no prazo e por profissional especializado. (RODRIGUES, 2004, p.148).

2.4 Metodologia FMEA

A metodologia independe do tipo de FMEA, pois a aplicação é a mesma, ou seja, se é FMEA de produto, processo ou procedimento e se é aplicado para produtos/processos ou serviços novos ou já em operação. A análise consiste basicamente na formação de um grupo de pessoas que identificam para o produto/processo ou serviço em questão duas funções, os tipos de falhas que podem acontecer, os efeitos e as possíveis causas desta falha. Logo em seguida são avaliados os riscos de cada causa de falha por meio de índices e, com base nesta avaliação, são decididas quais as ações de melhorias necessárias para diminuir os riscos, aumentando a confiabilidade do produto, processo ou serviço (PALADY, 1997).

A metodologia FMEA é importante porque pode proporcionar para a empresa: Uma forma sistemática de se registrar informações sobre as falhas dos produtos, processos ou serviços; Melhorar o conhecimento dos problemas nos produtos, processos ou serviços; Ações de melhorias no projeto do produto, processo ou serviço, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua); Diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas; O benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes (PALADY, 1997).

2.5 Etapas para Implantação do FMEA de Processo (P-FMEA)

Para a implantação do P-FMEA são utilizadas dez etapas conforme descritas na Tabela 1:

Tabela 1 - Etapas para implantação do P-FMEA.

Etapas	Descrição
1	Revisão do processo.
2	Reunião para obter os potenciais modos de falha.
3	Listagem dos potenciais efeitos para cada modo de falha.
4	Atribuição de pontuação para severidade de cada efeito.
5	Identificar as causa e atribuição de uma pontuação de ocorrência para cada modo de falha.
6	Atribuição de pontuação para detecção de cada modo de falha.
7	Calcular o RPN (Grau de Prioridade de Risco) para cada modo de falha.
8	Priorizar os modos de falha para ação.
9	Realizar ações para eliminar ou reduzir os modos de falha de risco maior.
10	Calcular o resultado do novo RPN para verificar se o valor foi reduzido ou eliminado.

FONTE: MCDERMOTT, MIKULAK e BEAUREGARD (2009)

Cada etapa descrita na Tabela 1, será detalhada nos parágrafos a seguir:

Etapa 1: Revisão do processo

Para garantir que a equipe do P-FMEA tenha o mesmo entendimento da operação que está sendo analisada, é importante a criação de um fluxograma, descrevendo o fluxo do produto dentro do processo, referente a entrada até a saída. Incluindo cada etapa do processo de montagem assim como as respectivas entradas (característica do processo, fontes de variação, etc.) e saídas (características do produto, requisitos, expedição, etc.) (AIAG, 2008 ; STAMATIS, 2003).

O desenvolvimento do P-FMEA ocorre através da identificação dos requisitos para cada função do processo, que são as saídas de cada etapa do processo descritas nos requisitos do produto. Os requisitos fornecem as informações das metas que devem ser cumpridas em cada etapa do processo, promovendo a equipe o básico para que sejam identificados os potenciais modos de falha (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Para assegurar a continuidade e eficiência da análise é recomendado que a equipe do P-FMEA se mantenha estável durante o desenvolvimento do Fluxograma de Processo, P-FMEA e Plano de Controle (AIAG, 2008 ; STAMATIS, 2003).

Etapa 2: Reunião para obter os potenciais modos de falha.

O modo de falha potencial é definido como a maneira pela qual um componente, sistema potencial ou subsistema falharia ao cumprir a função pretendida descrita. O modo de

Falha Potencial pode ser também a causa de uma falha potencial em um sistema ou subsistema de um nível superior, ou ser o efeito de um componente em um nível inferior.

Liste cada modo de falha associado com o item particular e sua função. Assume-se que a falha pode ocorrer, mas não necessariamente vai ocorrer. O início recomendado é a análise crítica de problemas passados, relatórios, e a discussão em equipe. Modos de falhas potenciais que poderiam ocorrer somente sob certas condições de uso e da operação deveriam ser considerados. (MANUAL FMEA, 2001).

Modo de falha é forma como um processo, ou seus eventos, podem ser induzido a operar de forma deficiente e é constituído por efeito, causa e detecção. Efeito é a consequência para o cliente, já a causa é o que indica a razão da falha, e a detecção é a forma de controle usada no projeto ou na operação do processo para evitar as potenciais falhas. (RODRIGUES, 2004, p.148).

Entende-se por “modos de falhas” os eventos que levam associados a eles uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho. (HELMAN e ANDERY, 1995, p.34).

Após o completo entendimento do processo por todos os membros do grupo é iniciado o ciclo de *Brainstorming* para levantar os potenciais modos de falha em cada etapa (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

As reuniões devem seguir a sequência de montagem da estação de análise para, as informações são anotadas diretamente no formulário do P-FMEA. O objetivo é gerar uma lista de ideias de melhorias (AIAG, 2008).

Etapa 3: Listagem dos potenciais efeitos para cada modo de falha.

Efeitos potenciais da falha são definidos como os efeitos do modo de falha na função, como percebido pelo cliente. Definir se a função pode afetar a segurança ou o incumprimento do regulamento/legislação. Os efeitos devem sempre ser definidos em termos de um sistema, subsistema ou componente específico que estará sendo analisado.

Portanto, entende-se por “efeitos de falhas” as formas como os modos de falha afetam o desempenho do sistema, do ponto de vista do cliente. É o que o cliente observa. (HELMAN e ANDERY, 1995, p.35).

Depois de listados no formulário de P-FEMA todos os potenciais modos de falha para cada etapa do processo, a equipe identifica quais serão as consequências se esta falha ocorrer. Essa etapa do preenchimento é extremamente importante, pois é baseado nesta

avaliação que é definido o índice de severidade (MCDERMOTT; MIKULAK ;BEAUREGARD, 2009).

Etapa 4: Atribuir uma pontuação para severidade de cada efeito.

Severidade (S): é uma apreciação do quão sério é o efeito do modo de falha potencial no seu cliente. O cliente, neste caso, poderia ser a próxima operação, subsequentes operações, ou o usuário final. (TREINAMENTO SEIS SIGMA DA THYSSENKRUPP, 2006).

Essa pontuação é baseada em uma escala de 10 pontos, sendo 1 o índice menor e 10 o maior, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Critério de pontuação para severidade.

Efeito	Critério: Severidade do Efeito		Classif.
	Efeito no cliente	Efeito no setor de manufatura/montagem	
Perigoso sem aviso prévio	Severidade muito alta quando o modo de falha potencial afeta a segurança do veículo e/ou não atende regulamentações governamentais, sem aviso prévio.	Ou pode colocar em risco o operador (de máquina ou montagem), sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Severidade muito alta quando o modo de falha potencial afeta a segurança do veículo e/ou não atende regulamentações governamentais, com aviso prévio.	Ou pode colocar em risco o operador (de máquina ou montagem), com aviso prévio.	9
Muito elevado	Veículo/item fora de operação (perda de função primária)	Ou 100% dos produtos deve ser sucateado, ou o veículo/item deve ser consertado em departamento de reparos por mais que 1 hora.	8
Elevado	Veículo/item em operação mas com nível reduzido de desempenho. Cliente insatisfeito.	Ou o produto deve ser selecionado e uma parte 9 (menos de 100%) sucateado, ou o veículo/item consertado em departamento de reparos entre 30 minutos e 1 hora.	7
Moderado	Veículo/item em operação mas com algum nível de conforto/comodidade fora de operação. Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menos de 100%) dos produtos deve ser sucateada sem seleção, ou o veículo/item consertado em departamento de reparos em menos de 30 minutos.	6
Baixo	Veículo/item em operação mas com algum item de conforto/comodidade em operação com nível reduzido de desempenho.	Ou 100% dos produtos deve ser retrabalhado, ou o veículo/item consertado fora da linha de produção mas em ir para o departamento de reparos.	5
Muito baixo	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por mais de 75% dos clientes.	Ou o produto deve ser selecionado, sem refugo, e uma parte (menos de 100%) retrabalhada.	4
Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menos de 100%) dos produtos deve ser retrabalhada, sem refugo, na linha de produção mas fora da estação de trabalho.	3
Muito menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por menos de 25% dos clientes.	Ou uma parte (menos de 100%) dos produtos deve ser retrabalhada, sem refugo, na linha de produção mas na estação de trabalho.	2
Nenhum	Sem efeito	Ou pequena inconveniência para a operação ou operador, ou sem efeito.	1

FONTE: Análise dos Efeitos e Modos de Falhas – Apostila do Participante. SETEC – Consultoria de Interface. Setembro/2002.

A pontuação para severidade deve ser estimada e observada levando em consideração aos impactos negativos que o efeito pode causar para o cliente caso a falha ocorra.

Algumas organizações que utilizam o FMEA como procedimento interno, consideram de forma especial, os modos de falhas que apresentam efeitos com severidade estimada ou superior a 9. (PALADY, 1997)

É importante que cada modo de falha possa ter diversos efeitos, e cada efeito possa ter diferentes graus de severidade. O efeito do modo de falha é que deve ser avaliado e não o modo de falha isolado. Portanto, cada efeito deve ter sua pontuação de severidade própria, mesmo que existam vários efeitos dentro de um único modo de falha. (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009)

Etapa 5: Identificaras causa e atribuição de uma pontuação de ocorrência para cada modo de falha.

Causa da falha: são os eventos que geram, provocam, induzem o aparecimento do tipo (modo) de falha. (HELMAN, HORÁCIO, 1995, p.25).

Ocorrência (O): é a probabilidade de um mecanismo/causa específico ocorrer durante a vida do projeto. A probabilidade de ocorrência tem um significado relativo mais importante que apenas um valor absoluto. (MANUAL SISTEMA DE TREINAMENTO, 2003).

Nesta etapa são identificadas as possíveis causas para cada modo de falha, podendo utilizar as ferramentas da qualidade como auxílio. Logo depois é atribuída uma pontuação para cada ocorrência que é baseada em uma escala de 10 pontos, sendo 1 o índice menor e 10 o maior demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Critério de pontuação para ocorrência.

Avaliação	Critérios para estimativa de probabilidade de ocorrências (Po)	Po	PPM
1	Probabilidade remota de ocorrência, por ex: processo ou design Poka-Yoke.	< 1 / 100,000	10
2 - 3	Muito baixa probabilidade de ocorrências. Sem reclamações anteriores.	< 1 / 10,000	100
4 - 5	Baixa probabilidade de ocorrência.	< 1 / 1,000	1000
6 - 7	Probabilidade de ocorrência moderada.	< 1 / 100	10.000
8 - 9	Probabilidade de ocorrência alta	< 1 / 10	100.000
10	Probabilidade de ocorrência muito alta.	< 1 / 1	1.000.000

FONTE: Manual de FMEA AIAG (2008).

O melhor método para se determinar a pontuação de ocorrência é através dos históricos de falhas, no processo e no campo. Caso não exista uma base de dados disponíveis, a equipe deve estimar a probabilidade das falhas ocorrerem (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Etapa 6: Atribuir uma pontuação para detecção de cada modo de falha.

A pontuação para detecção deve ser baseada em como o processo é capaz de identificar a falha ou efeito, em uma escala de 10 pontos, porém, ao contrário das anteriores, sendo 10 o índice de menor detecção e 1 o de maior detecção, conforme ilustrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Critério de pontuação para detecção de cada modo de falha.

Detecção	CRITÉRIO	Tipo de Inspeção			PROBALIDADE DE DETECÇÃO "Meios e Métodos de Detecção"	Índice
		A	B	C		
Quase Impossível	Certeza absoluta da não detecção			X	Controle não pode detectar ou não é realizado.	10
Muito Remota	Controles provavelmente não irão detectar			X	Controle realizado por meio de verificação indireta e aleatória.	9
Remota	Controle tem poucas chances de detectar			X	Controle realizado apenas por meio de Inspeção Visual.	8
Muito Baixa	Controle tem poucas chances de detectar			X	Controle realizado apenas por meio de Inspeção Visual dupla.	7
Baixa	Controles podem detectar		X	X	Controle realizado por meio de métodos gráficos "CEP".	6
Moderada	Controles podem detectar		X		Controle realizado por meio de sistemas de medição de variáveis, após as peças terem saído da estação, ou são usados dispositivos PNP em 100% das peças após elas terem saído da estação.	5
Moderadamente Alta	Controles têm boa chance de detectar	X	X		Detecção do erro em operações subsequentes ou medição realizada durante o <i>setup</i> e verificação da 1ª peça (caso de <i>setup</i>).	4
Alta	Controle tem boa chance de detectar	X	X		Detecção do erro na estação ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecimento, seleção, instalação, verificação. Não aceita peças discrepantes.	3
Muito Alta	Quase certeza de detecção pelos controles	X	X		Detecção do erro é feita na estação de trabalho através de sistemas de medição automático com dispositivos de parada automática. Peças não conformes não passam adiante.	2
Garantida	Certeza de detecção pelos controles	X			Detecção do erro é feita na estação de trabalho através de dispositivos a prova de falhas/erros (<i>Poka-Yoke</i>) no projeto do processo ou produto. Peças não conformes não são feitas.	1
Tipo de Inspeção						
A	Prova de erro					
B	Medição					
C	Manual de Inspeção					

FONTE: Manual de FMEA AIAG (2008).

A análise começa identificando os controles atuais do processo, que pode ser dividido em dois tipos:

- **Prevenção** -Previne a ocorrência da causa da falha ou o modo de falha, ou apenas reduz a taxa de ocorrência.
- **Detecção** - Detecta a causa da falha ou o modo de falha, conduzindo ao desenvolvimento de ações corretivas ou contramedidas (AIAG, 2008; MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Etapa 7: Calcular o RPN (Grau de Prioridade de Risco) para cada um dos modos de falha.

O Grau de Prioridade de Risco (RPN) é calculado de forma quantitativa entre pontuações de severidade, ocorrência e detecção para cada item.

- Grau de Prioridade de Risco = Severidade x Ocorrência x Detecção

O número total de prioridade de risco pode ser calculado através da soma total de todos os números de prioridade de risco. Porém, este número só tem sentido se cada FMEA possuir sua própria quantidade de modos de falha dependendo do seu grau de complexidade. Esse valor final pode servir para uma comparação futura após os planos de ações terem sido implantados e passados por uma reavaliação das suas pontuações (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Etapa 8: Priorizar os modos de falha para ação.

Um dos métodos para se priorizar os modos de falha para ação é o gráfico de Pareto. Onde os modos de falha são ordenados do maior número de prioridade de risco para o menor utilizando a conceito de Pareto 80/20. Isso significa que 80 por cento do total do RPN vêm de apenas 20 por cento dos potenciais modos de falha. Recomenda-se que os modos de falha com pontuação 9 e 10 para severidade sejam automaticamente priorizados independentemente do valor final do RPN (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

Etapa 9: Realizar ações para eliminar ou reduzir os RPNs mais altos.

Estabelecer um plano de ação para resolver os problemas, identificando, analisando e programando as ações, com objetivo de reduzir ou até mesmo eliminar os valores dos RPNs.

Recomenda-se que as ações tomadas para reduzir as pontuações sigam a ordem de severidade, ocorrência e detecção (AIAG, 2008).

Etapa 10: Calcular o resultado do novo RPN

Para verificar se o valor reduziu ou se foi eliminado. Após conclusão das ações de melhorias planejadas e acompanhamento dos resultados, as pontuações de severidade, ocorrência e detecção devem ser reavaliadas para comprovar se foram eficazes, e conseqüentemente o recálculo do novo RPN. Recomenda-se que a nova avaliação do RPN seja organizada também em forma de Pareto e comparada com o Pareto original. Depois de implementar as melhorias espera-se que os RPNs tenham reduzido pelo menos 50 por cento do valor inicial. Se esse objetivo não for alcançado inicia-se novamente a análise. O foco deve ser sempre a melhoria contínua. (MCDERMOTT; MIKULAK; BEAUREGARD, 2009).

2.6 A equipe da FMEA

Essa ferramenta tem sido executada como esforço individual, embora, a FMEA se torna mais eficaz quando utilizada em um esforço de equipe, porque na verdade essa ferramenta é o conjunto de pensamentos de todos os membros da organização, sendo assim, há grandes chances de identificação e prevenção dos modos de falha potenciais. (PALADY, 1997)

Para a coordenação de um FMEA, existe uma pessoa responsável para liderar a equipe base para aplicação do método. O líder será escolhido através do gerente dentre o time formado. O objetivo do grupo FMEA é trazer uma diversidade de perspectivas e experiências para o projeto, e o número de pessoas será ditado pelo número de áreas que são afetadas pelo FMEA (AIAG, 2008).

Cada área deverá ter um participante. Recomenda-se ter pessoas de diferentes níveis de familiaridades de conhecimento no processo ou produto para trazer ideias imparciais para a equipe. Um ponto a ser debatido no FMEA é o papel do especialista no processo, que estará em análise constante. O FMEA possui um olhar crítico no processo ou produto, as pessoas da equipe que fazem parte do processo em análise não podem permitir que seus egos influenciem o andamento do FMEA. (MCDERMOTT; MIKULAK ;BEAUREGARD, 2009).

2.7 O erro humano

Mesmo com colaboradores treinados e motivados, ainda existe uma grande preocupação ao que diz respeito aos erros humanos, porque quando acontecem e não são detectados, podem causar perdas e erros irreparáveis.

O fator erro humano tem sido analisado em muitos processos de manufatura e nos sistemas produtivos, para isto, todos os funcionários devem cooperar para elevar a qualidade e fornecer aos clientes produtos livres de problemas. Baseado no conceito fundamental de que a qualidade deve ser construída e verificada em cada etapa do processo dos produtos (YAMASHINA, 2011).

Segundo (YAMASHINA, 2011), as falhas decorridas do homem devem atingir a condição zero relacionado ao erro humano, a Tabela 5 descreve as etapas que devem ser aplicadas em busca do zero erro humano.

Tabela 5 - Em direção ao zero erro humano.

1. Gerenciamento para evitar erros humanos.	Estabelecimento de um ambiente agradável de trabalho.
2. Desenvolver operadores capazes de não cometerem erros (Treinamento)	Eliminar os erros humanos devido a falta de conhecimento. Eliminar erros humanos devido a falta de habilidade.
3. Trabalho padronizado das atividades (Instruções de trabalho padrão).	Trabalho padronizado especificado para todas as etapas do processo. O trabalho padronizado deve garantir 100% de qualidade do operador. O trabalho padronizado deve ser continuamente revisto.
4. Inspeções no processo.	Inspeções em pontos estratégicos do processo para não permitir defeitos para o cliente.
5. Lições aprendidas com os problemas ocorridos.	Permitir que o operador aprenda com os próprios erros. Sempre verificar a garantia da qualidade.
6. Estudo da causa raiz.	Eliminar o erro através da causa raiz.

FONTE: Material YAMASHINA (2011).

Existem três condições de amenizar o acontecimento dos erros humanos. (YAMASHINA, 2011).

1- Como ensinar tarefas executadas com frequência (trabalho repetitivo).

De modo geral, em média, uma pessoa pode lidar com uma sessão de treinamento de aproximadamente 30 minutos de duração, que inclui a apresentação do trabalho e a prática do trabalho pelo aluno. Recomenda-se uma pequena quantidade de informação, pois são mais fáceis de serem armazenadas na memória. Sistemas de aprendizagem interativa, com vídeos dos modos certo e errado de fazer as etapas do trabalho, são muito eficazes (YAMASHINA, 2011).

2- Estabelecimento de um ambiente amigável de trabalho.

As fontes de erros humanos devem ser eliminadas, sendo necessário melhorar o ambiente de trabalho, tornando as tarefas facilmente compreensíveis. Utilizar cores e desenhos de forma eficaz para identificação, dar informações concretas e precisas, fazer

operações fáceis de executar de tal forma que não exija uma boa memória para realizá-la (YAMASHINA, 2011).

3- Melhorias no processo

Através da utilização de ferramentas que possam melhorar o processo, evitando os erros humanos, padronizar peças e minimizar o número de variação, inspeção ao final de cada processo, são importantes para garantir a qualidade do processo anterior. Simplificar a operação e tornar o equipamento de mais fácil manipulação, instalando sensores adequados para detectar anormalidades e implementando meios de pará-lo de forma autônoma. (YAMASHINA, 2011).

2.8 Formulário P-FMEA.

O grupo do FMEA de processo preenche um formulário, onde as informações discutidas pelo grupo durante o processo são preenchidas, definindo conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Formulário P-FMEA.

Análise do Tipo de Efeito e Falha														
Cod. Do Serviço:		1										<input type="checkbox"/> FMEA de Processo. <input type="checkbox"/> FMEA de Produto.		
Nome do Serviço:														
Data:														
Folha Nº														
2	3	4	5	6	7	8 9 10 11			12	13	14			
Descrição do Processo	Funções do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	INDICES			Ações Recomendadas	Ações de Melhorias		Índices Atuais		
						S	O	D		R	S	O	D	R

FONTE: adaptado de Toledo e Amaral (2006).

Durante as reuniões este formulário pode ser impresso em formato A0 ou projetado a partir de um computador, otimizando a visualização. (PALADY, 2007).

A utilização de uma identificação por números para controlar as revisões dos FMEAs realizados é importante para a manutenção dos registros. As cópias de todos os FMEAs devem ser mantidas em um local de fácil acesso para futuras revisões ou auditorias dos processos internos (AIAG, 2008).

2.9 Ferramentas que podem auxiliar a implantação do (P-FMEA)

As ferramentas que podem auxiliar a implantação do P-FMEA são as sete ferramentas básicas da qualidade, que serão descritas a seguir.

2.9.1 PDCA (Planejar, Executar, Verificar, Agir)

O PDCA é um método gerencial que contém em suas quatro fases a base da filosofia da melhoria contínua, promovendo uma prática organizacional de busca pela qualidade. Seguir as etapas do ciclo PDCA é importante para se chegar ao sucesso no aprimoramento da qualidade e evitar desperdícios de recursos (OLIVEIRA, 1996; CIERCO, 2003).

As etapas do método PDCA iniciam-se em Planejar (*Plan - P*), que define o que será feito, as datas de início e fim do projeto e a disponibilidade de recursos necessários. A etapa execução (*Do - D*) do plano segue obedecendo as linhas de trabalho pré-definidas na etapa anterior, seguindo o cronograma das atividades, conforme a disponibilidade de recursos. Na fase verificação (*Check - C*) do resultado da execução é feita uma avaliação dos resultados para saber se houve ou não sucesso no trabalho. Na fase de padronização (*Action - A*) no plano de resultados, as informações são alinhadas para que sejam realizadas ações de padronização do plano ou para uma reprogramação do ciclo PDCA (OISHI, 1995), conforme a Tabela 6 ilustra as quatro fases essenciais do ciclo PDCA.

Tabela 6 - Fases do Ciclo PDCA.

	Problema: Identificar o problema.	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
P	Analisar o fenômeno: Reconhecer as características do problema.	Investigar as características do problema e descrevê-la de forma mais específica.
	Análise das causas do problema/análise do processo:	Descobrir as causas principais.
	Elaboração do plano de ação:	Elaborar um plano de ação para bloquear a causa raiz.
D	Implementação do plano de ação.	Contramedidas à causa raiz. Executar o que foi planejado para bloquear a causa raiz.
C	Verificação da ação.	Verificar se o que foi planejado realmente foi realizado.
A	Padronização da solução:	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	Registro das informações:	Registrar no formulário para trabalhos futuros, o resumo das atividades juntamente com toda a documentação utilizada para solucionar o problema.

FONTE: CAMPOS (1995).

A busca por soluções aplica-se na eficácia da gestão dos processos produtivos, quando o resultado não for conforme o esperado, realiza-se um novo ciclo PDCA (RODRIGUES, 2006; CIERCO, 2003).

2.9.2 Brainstorming

O Brainstorming (do inglês tempestade cerebral), conhecido como “Tempestade de ideias”, é o método criado pelo publicitário norte americano Alex Faickney Osborne, que consiste em produzir um número extenso de ideias (DELLARETI FILHO, 1996).

Após a explicação do tema, as ideias são geradas espontaneamente ou por sequência pré-definida, buscando sempre fatos que levem a identificação de problemas (DELLARETI FILHO, 1996).

O processo faz com que seus participantes rompam seus paradigmas, gerando novas ideias e soluções criativas (OLIVEIRA, 1996).

Os participantes do Brainstorming não são necessariamente especialistas no assunto, o convite deve ser feito para pessoas diretamente e indiretamente envolvidas ao tema, portanto, não existe hierarquia entre os participantes. Para o sucesso de um Brainstorming não

se deve rejeitar e nem criticar as ideias. No momento das gerações das ideias o importante é registrar as sugestões, que devem ficar expostas, a fim de provocar novas sugestões. O resultado é uma lista extensa de novas propostas para uso posterior (DELLARETI FILHO, 1996).

2.9.3 Diagrama de causa e efeito

Conhecido como Diagrama Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa, criado por Kaoni Ishikawa que o desenvolveu na universidade de Tóquio, em 1843, é geralmente usado junto com o Brainstorming, facilitando a busca pela compreensão de problemas e representando as possíveis causas que geram um efeito, uma falha ou um erro (KOCK, 1999).

Para Werkema, 2006:

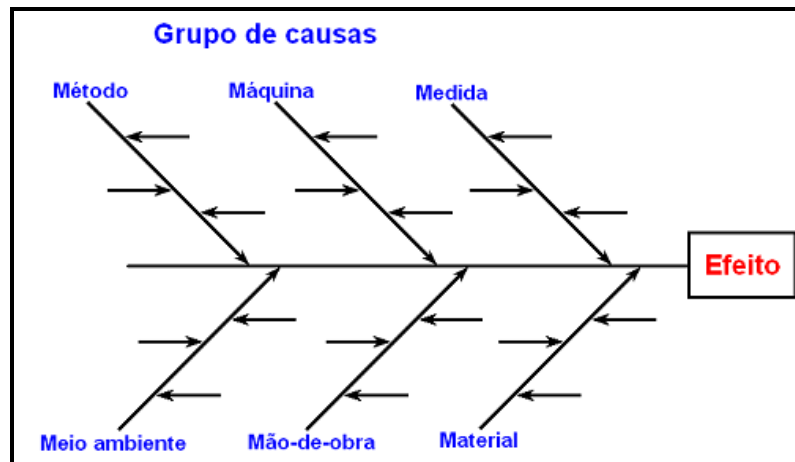
O diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado.

O Diagrama de Ishikawa organiza as informações por meio gráfico, identificando prováveis causas de um específico problema ou efeito (OLIVEIRA, 1996).

O Diagrama facilita a identificação das causas de um determinado efeito, podendo estar relacionadas às áreas de material, mão de obra, meio ambiente, equipamento, medidas, métodos, operação, manutenção, como descritas na Figura 2 (PALADINI, 1994).

Após a conclusão, é feita uma coleta de dados e uma análise qualitativa das informações, chegando-se às possíveis causas do efeito. Essa prática gera um nível maior de compreensão do problema, estimulando um hábito proativo na busca das causas por meios de levantamento de dados (ISHIKAWA, 1993).

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa.



Fonte: A autora

2.9.4 O 5 W e 2H

A ferramenta os 5W e 2H é utilizada na padronização de processos, servindo para estabelecer procedimentos e contribuindo de maneira importante na confecção de um plano de ação (SELL JUNIOR, 2008).

Derivada das expressões em inglês: *What* (Qual é), que determina qual será a etapa do processo; *Why* (Por que), que busca uma tendência ou padrão observado no problema; *When* (quando), em qual momento o problema ocorreu; *Where* (onde), em qual lugar o problema foi observado; *Who* (quem), a pessoa que observou a falha; *How* (Como), de que maneira o estado do produto ou componente se encontra e quantas vezes ocorreram. Para completar esse método mais uma letra H foi incorporada nos últimos tempos, seu significando vem da expressão em inglês *How much* (quanto custa), assim o método 5W e 2H assegura os objetivos do planejamento (SELL JUNIOR, 2008).

2.9.5 Gráfico de Pareto

Em 1897, o economista e sociólogo Vilfredo Pareto apresentou sua teoria sobre a distribuição desigual de renda, e J. W. Juran adaptou-a no método para os problemas da qualidade, nomeando-o de Diagrama de Pareto (WERKEMA, 1995).

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta da qualidade que utiliza o impacto gráfico visual, o que facilita a visualização de elementos críticos responsáveis pela maior parte dos problemas que afetam as empresas como venda, defeitos, falhas, reclamações e receita (PALADINI, 1994).

Os problemas relacionados à qualidade se traduzem na forma de custos, ou seja, os poucos vitais, que acumulam grandes perdas para empresa, porém representam poucos problemas. Os muitos triviais, embora em grande quantidade, são perdas pouco significativas. Pareto estabelece uma relação de 80% para os poucos vitais e 20% para os muitos triviais (WERKEMA, 1995).

Para Godoy, 2009, p. 10:

O Gráfico de Pareto é uma ferramenta da qualidade em forma de gráfico de barras que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de temas. A informação assim disposta também permite o estabelecimento de metas numéricas e viáveis de serem alcançadas.

Para Werkema, 2006:

O Gráfico de Pareto, é um gráfico de barras no qual as barras são ordenadas a partir da mais alta até a mais baixa e é traçada uma curva que mostra as porcentagens acumuladas de cada barra.

A classificação das informações como causa das falhas ou perdas é feita no eixo horizontal do gráfico, no sentido da esquerda para direita em ordem decrescente segundo a sua importância, esse método destaca o primeiro elemento a ser trabalhado. Nas linhas verticais estão as escalas de valores. Ao associar as informações obtém-se uma curva de valores, geralmente percentuais, que representa o acumulado dos resultados obtidos (PALADINI, 1994).

A visualização gráfica dos problemas com maior ocorrência indica onde devem ser concentrados os esforços para ações corretivas e preventivas, podendo ser novamente utilizada quando os elementos críticos de maior número estiverem resolvidos (PALADINI, 1994).

Os problemas são resolvidos de maneira mais eficiente quando as ações são concentradas sobre os poucos vitais, possibilitando uma eliminação maior de grande parte das perdas do que se os muitos triviais fossem tratados por primeiro (WERKEMA, 1995).

2.9.6 Análise da Árvore de Falhas (*Fault Tree Analysis - FTA*)

O método FTA, criado por H. A. Watson em 1961, é usado para identificação das causas primárias das falhas de processos industriais, administrativos e também para projetos, identificando os aspectos mais relevantes de um sistema em relação a uma falha particular (HELMAN E ANDRERY, 1995).

A ferramenta FTA estuda a estrutura através de símbolos que unidos formam uma árvore de decisões, um método sequencial, lógico, dedutivo e estruturado que pode ser usado em qualquer processo ou projeto, para identificar falhas potenciais (RODRIGUES, 2006).

A metodologia FTA estabelece uma padronização para o estudo de eventos “falhas”, exigindo um maior detalhamento de informações e um profundo conhecimento do processo de estudo (HELMAN E ANDRERY, 1995).

Rodrigues (2006) estabelece que na confecção de um FTA seja preciso: Definir o processo ou evento; Estruturar a árvore estabelecendo a relação efeito e causa; Analisar qualitativamente e dedutivamente as informações levantadas.

A falha ou problema a ser solucionado é classificado como “evento de topo”, que é desdobrado em eventos mais simples ligados por símbolos. O bloqueio desses caminhos inviabiliza a continuação do estudo, e quando isso acontece, as atenções são voltadas à compreensão de outro evento. O bloqueio de todos os caminhos leva à função mais básica, conhecida como “limite de resolução” ou “causa básica”. Esse raciocínio é conhecido como “*Top Down*” (HELMAN e ANDRERY, 1995).

Um bom uso dos resultados de uma Análise da Árvore de Falhas fundamenta o conhecimento real do fator agravante sobre o produto ou processo, indica os componentes ou processos mais críticos e gera uma lista de recomendações e providências a serem tomadas (HELMAN e ANDRERY, 1995).

2.9.7 Poka-Yoke

Dentro de um sistema produtivo, espera-se que uma tarefa seja feita com o máximo de sucesso e dentro do prazo previsto, mas quando isso não ocorre, deve-se aos erros humanos, que podem ser decorrentes da concepção do sistema ou até do modo de operação. Com frequência, grande parte dos estudos visa garantir o funcionamento das máquinas e seus componentes, subestimando a importância do método utilizado pelo homem (KEYWORDS, 2008).

Há várias origens para falhas humanas durante o processo produtivo, que são geralmente motivadas por falta de atenção, fadiga, negligência, falta de capacidade técnica, falta de treinamento e até erros premeditados. O método chamado *Poka-Yoke* utiliza dispositivos para prevenir possíveis falhas do homem (RODRIGUES, 2006).

O termo *Poka-Yoke* significa “à prova de erros”, tendo como uma das funções básicas garantir que processos com algum tipo de erro não passem para a próxima fase,

através do desligamento automático do equipamento caso exista uma operação com erro ou o simples fato do operador esquecê-lo ligado.

Existem duas maneiras de medir a regulação do *Poka-Yoke*, usado para corrigir erros (SHINGO,1996):

- Método de Controle: Quando o *Poka-Yoke* é ativado, a máquina ou linha de processamento para, de forma que o problema possa ser corrigido, geralmente se utilizam sensores e dispositivos de contatos;
- Método de advertência: Quando o *Poka-Yoke* é ativado, um alarme soa ou uma luz sinaliza, visando alertar o trabalhador.

Esse método tem melhorado significativamente as taxas de retrabalho e os índices de acidentes de trabalho, contribuindo para as melhorias nos processos (RODRIGUES, 2004).

2.9.8 Diagrama de Gantt

Para ilustrar as diversas tarefas e os avanços no trabalho ao longo de um intervalo de tempo, o Engenheiro norte americano Henry L. Gantt criou no início do século XX um gráfico constituído por barras coloridas. Neste gráfico as tarefas que serão executadas são incluídas no eixo vertical, assim como o responsável por cada uma delas, as barras no eixo horizontal representam o início e o fim de cada tarefa. Para montar esse diagrama é necessário decompor todo o trabalho em suas menores partes (FACCIONI FILHO; BITTEM COURT, 2007; PALADY, 1997).

O diagrama Gantt permite acompanhar o desenvolvimento da tarefa, pois a barra é preenchida conforme a tarefa vai sendo cumprida, da mesma maneira é possível acompanhar a proporção de atraso em relação ao tempo previsto. Assim, o empenho de cada membro pode ser analisado de maneira isolada, permitindo ainda analisar os custos de recursos para a conclusão de cada uma das tarefas do projeto (FACCIONI FILHO E BITTEM COURT, 2007; PALADY, 1997).

2.9.9 Fluxograma

Para o estudo dos processos que envolve o fluxo de materiais, pessoas e equipamentos existentes dentro de uma organização uma das ferramentas comumente utilizadas é o fluxograma. Esta ferramenta é conhecida por vários nomes: gráficos de procedimentos, gráficos de processos, fluxo de pessoas e papéis, fluxo de documentos e

outros como fluxo de processo, gráfico de sequência, gráfico de processamento, etc (OLIVEIRA, 2007).

Segundo Araujo (2005), o fluxograma representa graficamente o fluxo de determinado processo, dentro de uma organização. É completa, afirmando que este apresenta o processo passo a passo, ação por ação. Além de argumentar que o fluxograma permite a análise e o redesenho do processo, pois identifica possíveis falhas no mesmo.

D'Ascensão 2001, p. 110 diz que:

É uma técnica de representação gráfica que se utiliza de símbolos previamente convencionados, permitindo a descrição clara e precisa do fluxo, ou sequência, de um processo.

Portanto, o fluxograma auxilia o mapeamento do fluxo de um processo, descrevendo-o ação por ação por meio da representação gráfica, usando símbolos convencionados. Ele permite a visão clara e precisa do fluxo, facilitando a análise da situação atual do processo, para possíveis mudanças no mesmo.

As informações básicas representadas em um fluxograma podem ser relacionadas aos seguintes aspectos: as operações que são realizadas, onde são realizadas, quem as executa, quais as entradas e saídas, qual o fluxo de informações, quais os recursos empregados no processo, qual o tempo de execução, qual o volume de trabalho, e quais são os custos (D'Ascensão, 2001). Veja o exemplo de um fluxograma na Tabela 7.

Tabela 7 - Exemplo de Fluxograma Vertical.

Fluxograma Vertical									
Símbolos	●	Análise ou Operação	Totais	3	Rotina	Atual	X	De recepção de material	
	■	Execução ou Inspeção		2		Proposta			
	◐	Demora ou Atraso		∅	Unidade organizacional: Suprimentos				
	▲	Arquivo Provisório		2	Estudado por:				
	▼	Arquivo Definitivo		3	Em de de 20				
	➔	Transporte		9	Assinatura				
Ordem	Símbolos				Unidades Organizacionais	Descrição dos Passos			
1	○	➔	□	◐	▲	▼	Recepção	Recebe do fornecedor Nota Fiscal (N.F.) e Material	
2	●	➔	□	◐	▲	▼		Emite Aviso de Recebimento (A.R.) em quatro vias	
3	○	➔	□	◐	▲	▼		Arquiva 4ª via do A.R. em ordem numérica crescente	
4	○	➔	□	◐	▲	▼		Remete N.F e 1ª via do A.R. para o Setor de Contas a Pagar	
5	○	➔	□	◐	▲	▼		Remete 2ª via do A.R. para o Setor de Compras	
6	○	➔	□	◐	▲	▼		Remete 3ª via do A.R. e material para o Almoxarifado	
7	○	➔	□	◐	▲	▼	Contas a Pagar	Recebe N.F e 1ª via do A.R.	
8	○	➔	■	◐	▲	▼		Confere N.F com A.R.	
9	○	➔	□	◐	▲	▼		Arquiva 1ª via do A.R. por ordem numérica crescente, aguardando pagamento	
10	○	➔	□	◐	▲	▼		Arquiva N.F em ordem alfabética de fornecedor, aguardando fatura	
11	○	➔	□	◐	▲	▼	Compras	Recebe 2ª via do A.R.	
12	●	➔	□	◐	▲	▼		Registra entrega de material pela 2ª via do A.R.	
13	○	➔	□	◐	▲	▼		Remete 3ª via do A.R. para o Setor de Contabilidade - Controle de Estoques	
14	○	➔	□	◐	▲	▼	Controle de Estoque	Recebe 2ª via do A.R.	
15	●	➔	□	◐	▲	▼		Registra entrada de material na ficha de estoque correspondente	
16	○	➔	□	◐	▲	▼		Arquiva 2ª via do A.R. em ordem cronológica - data de lançamento	
17	○	➔	□	◐	▲	▼	Almoxarifado	Recebe 3ª via do A.R. e material	
18	○	➔	■	◐	▲	▼		Verifica exatidão do A.R. pelo material recebido	
19	○	➔	□	◐	▲	▼		Arquiva 3ª via do A.R. em ordem cronológica	

FONTE: Oliveira (2007, p. 268).

Schmenner (1999) ainda divide o fluxograma em dois: o de informação e o de processo. Segundo o autor, eles são ferramentas essenciais na análise de processos, além também de identificarem e corrigirem gargalos (acrescentando pessoal ou equipamento) e apontarem possíveis mudanças a serem feitas no arranjo físico do processo.

SCHMENNER, 1999, p.53 afirma que:

Os fluxogramas de processo e de informação ajudam a definir o sistema de prestação de serviço e destacam os pontos onde controles e padrões do serviço possam ser necessários para manter a função do serviço intacta e assim propiciar um agradável encontro de serviço para o cliente.











Percebe-se que essa divisão feita pelo autor tem seu foco nas operações de serviços, ou seja, melhor se adequam a análise de processos em organizações de serviços.

O fluxograma de processo é uma descrição do desenvolvimento do processo. Descreve de forma sequencial quais as fases operacionais que são executadas antes de outras e aquelas que podem ser feitas em paralelo. Além das fases, pode descrever a tecnologia e os equipamentos escolhidos, a capacidade dos passos do processo, as tarefas requeridas da força de trabalho, etc. (SCHMENNER, 1999)

Como parceiro do fluxograma de processo, o fluxograma de informação pode conter vários tipos de informações desde a identificação das necessidades dos clientes até informações sobre as necessidades de recursos para as operações.

Devido à variedade de tipos de fluxograma, há também uma variedade de símbolos que são usados para representar esses fluxogramas. Segue na Figura 3 alguns símbolos mais usados.

Figura 3 - Símbolos do Fluxograma.

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Início ou Fim		Inspeção
	Operação		Estoque
	Transporte		Espera
	Conector		Decisão
	Documento		Sentido

FONTE: Elaborado pela autora.

3. Qualidade

Qualidade é “o prejuízo ocasionado pela sociedade em consequência da variação funcional do produto ou serviço e seus efeitos adversos a partir do momento em que o produto ou serviço é recebido pelo consumidor” (TAGUCHI 1988).

Qualidade é um conjunto de atributos que atendem os objetivos para qual foi concebido dentro de suas especificações, tais como: segurança, confiabilidade, conforto, resistência, durabilidade entre outras que se deseja atender. Para atingir a qualidade, deve-se

primeiramente investir na qualidade do processo produtivo deste produto ou serviço, e também acompanhar o ciclo de vida do produto desde seu desenvolvimento até o pós venda. Devem se mencionar alguns atributos ao produto de maneira que o mesmo atenda com êxito estes pontos conforme suas especificações detalhadas no projeto (FEIGENBAUM *et al.*, 1986).

Para Feigenbaum (1961):

Qualidade é a composição total das características de marketing, engenharia, produção e manutenção de um produto ou serviço, através das quais o mesmo produto ou serviço em uso, atenderá as expectativas do cliente.

Segundo Juran (1974), “Qualidade é o nível de satisfação alcançado por um determinado produto, no atendimento aos objetivos do usuário, durante a sua utilização, chamado de adequação ao uso”.

Segundo Campos (1992, p. 229) define um produto ou serviço de qualidade como sendo “aquele que atenda perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo, às necessidades do cliente”.

Para garantir a satisfação do consumidor deve-se buscar uma forma de atendê-lo de maneira ágil, segura, conhecendo suas preferências, analisando sua satisfação em promoções preço, qualidade, atendimento e fidelidade. Deve-se estar atento ao que mais impacta na decisão de comprar e o que se espera do produto quando se decide comprá-lo. (FRAZELLE e GOELZER, 1999 *apud* MONTEBELLER, 2002, P.17)

Na fabricação e montagem do segundo eixo dianteiro dirigível há uma preocupação com a qualidade do processo, que no ponto de vista do desenvolvedor associa-se a concepção de que o segundo eixo dianteiro dirigível atenda as especificações das normas do INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) e que não afete a originalidade do veículo.

Podemos concluir como qualidade, algo fundamental para o produto, processo ou serviço, visto que a mesma visa atender as normas de qualidade e necessidades dos clientes.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

Este capítulo irá descrever o estudo de caso, que foi realizado em uma empresa responsável pela prestação de serviços em caminhões, na cidade de Tupã interior de São Paulo, que teve por objetivo implantar uma metodologia conhecida como FMEA, direcionada ao processo de montagem de segundo eixo dianteiro dirigível em caminhões Ford, modelo Cargo 2429.

Neste capítulo, será apresentado o histórico da empresa, o produto e seus benefícios, as peças que compõe o 2º eixo, o layout do produto, a elaboração das etapas do P-FMEA juntamente com o histórico de falhas no decorrer do processo do produto e o fluxograma do processo, ou seja, será explicado passo a passo a montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford, modelo Cargo 2429.

3.1 Histórico da empresa

A empresa é responsável pela prestação de serviços em caminhões, e dentro deste complexo industrial encontra-se a fabricação e montagem do segundo eixo dianteiro dirigível em caminhões. Fundada em Tupã, interior de São Paulo em 2000, a empresa possuía entre seus principais processos: alongamento de chassi, retrabalhos em molas e molejos e manutenção e conserto em manga de eixo.

Em 2004, a empresa soube da existência do segundo eixo dianteiro dirigível no Japão através de uma foto, a partir daí teve como objetivo a produção e montagem desse produto, e em novembro de 2006 comercializou seu primeiro caminhão com o segundo eixo dianteiro dirigível dentro dos padrões e normas do INMETRO. A empresa, tornou-se a primeira do Brasil em produzir o segundo eixo dianteiro dirigível fora do Japão. O segundo eixo, teve uma grande aceitação pelos empresários de frotas de caminhões e pelos próprios caminhoneiros.

Atualmente, a empresa trabalha com serviço de elevação canguru, alinhamento a laser e fabricação e montagem do segundo eixo dianteiro dirigível com grandes marcas como: Volkswagen, Volvo, Ford, Iveco, Mercedes-Benz e Scania.

3.1.1 Segundo eixo dianteiro dirigível

O produto é conhecido como segundo eixo dianteiro dirigível, e é um componente fundamental para proporcionar ao caminhão benefícios como: maior estabilidade na direção, melhor distribuição de carga por eixos possibilitando o aproveitamento total do CMT (Capacidade Máxima de Tração), diminuição do desgaste dos pneus e por ser uma solução simples e econômica para aumentar a capacidade de cargas em até 6 toneladas dos veículos em todos os segmentos (Silo Graneleiro, Câmara Fria, Carga seca, Carga Graneleiro, Sider, Furgão simples ou isotérmico, Tanques, Betoneiras, Caçambas, Guindastes, Máquinas de grande porte e outras aplicações especiais).

Esse produto é montado de acordo com as especificações de fábrica de cada modelo, seguindo os padrões e normas do INMETRO e a originalidade, proporcionando intercâmbio de componentes de freio, suspensão e cubos de rodas, ou seja, a instalação do segundo eixo dianteiro dirigível não afeta a originalidade do veículo, possibilitando a reversibilidade para as condições originais por ocasião da troca do veículo.

3.1.2 Segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429.

O segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429 é composto por seis partes principais: a barra do eixo, a barra de direção, duas mangas do eixo, dois embuchamentos (pino), 2 espelhos completos (cuíca, faixa de freio, espelho, campanas e parafusos) e 2 cubos. Nas Figuras 4 à 8 serão ilustrados cada uma dessas partes.

Figura 4 - Barra do eixo Ford Cargo 2429.



FONTE: foto fornecida pela empresa.

Figura 5 - Barra de direção.



FONTE: foto fornecida pela empresa.

Figura 6 - Manga do Eixo.



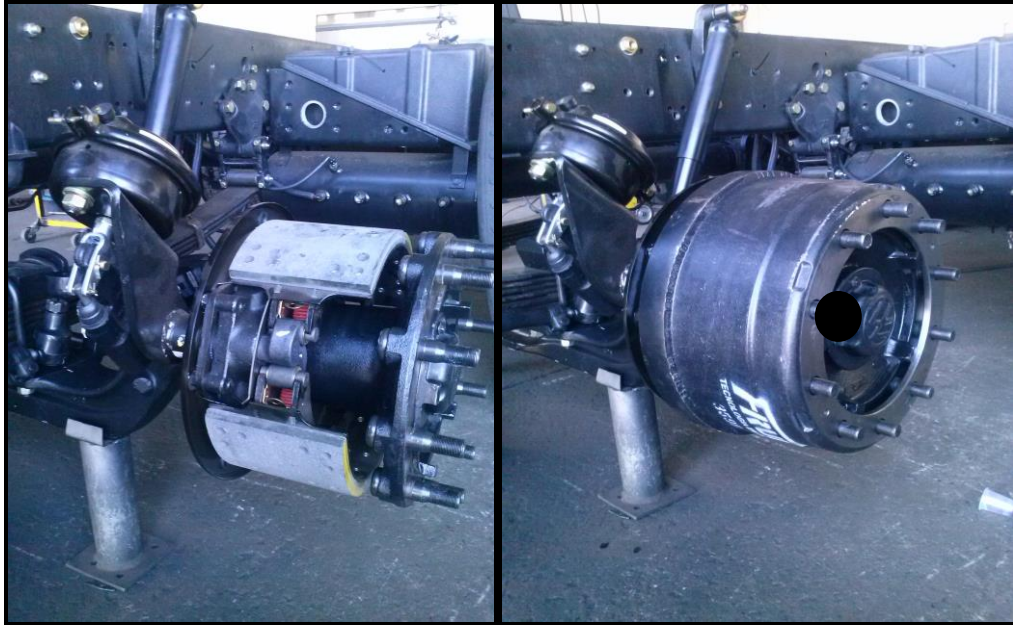
FONTE: foto fornecida pela empresa.

Figura 7 - Embuchamento (pinos e rolamentos).



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

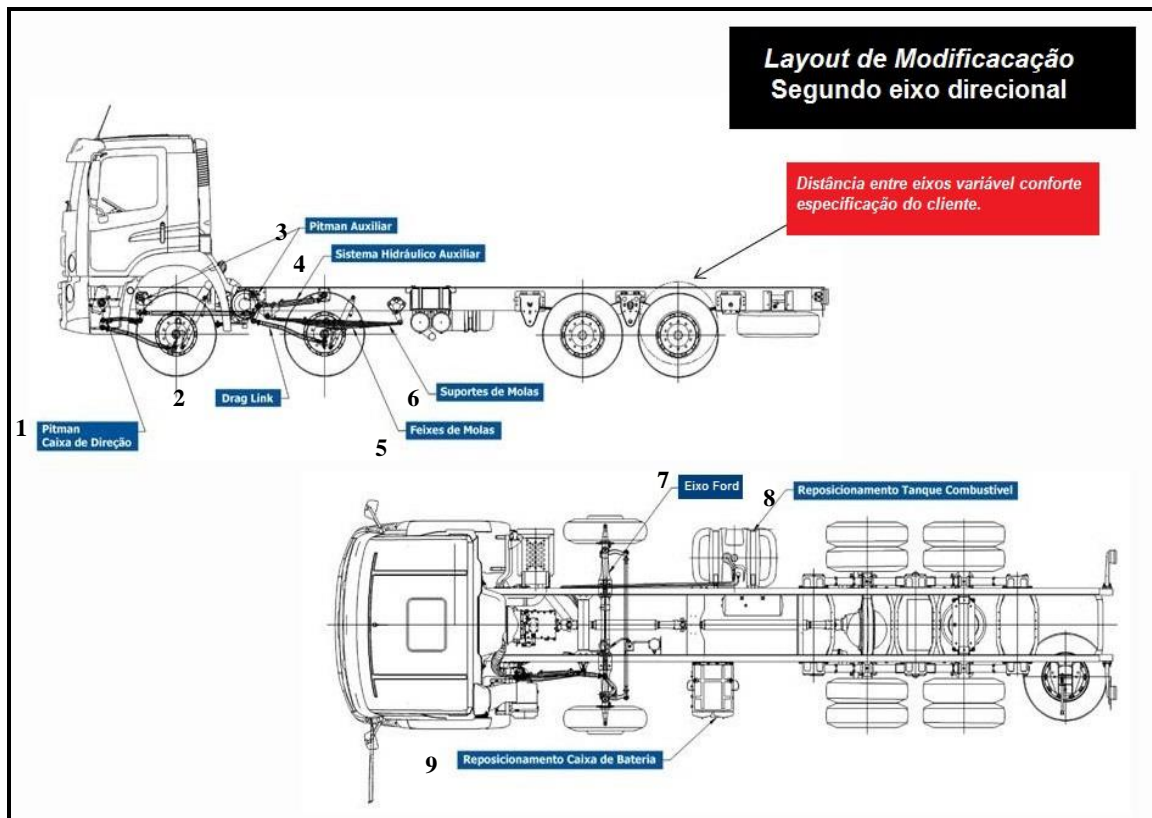
Figura 8 - Espelho Completo e Cubo.



FONTE: foto fornecida pela empresa.

Na Figura 9 pode-se ter a visualização completa do layout de modificação do segundo eixo dianteiro dirigível e de seus componentes direcionais.

Figura 9 - Layout de modificação do segundo eixo dianteiro dirigível.

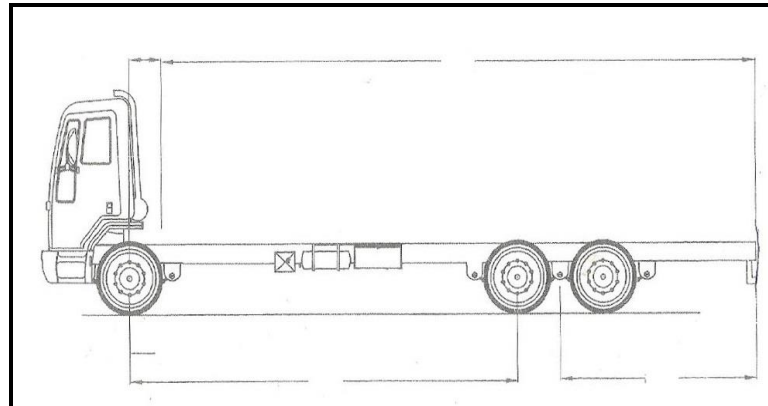


- 1- Pitman Caixa de direção; 2- Drag Link; 3- Pitman auxiliar; 4- Sistema Hidráulico auxiliar; 5- Feixes de molas; 6- Suportes de Molas; 7- Eixo Ford; 8- Reposicionamento do tanque de combustível; 9- Reposicionamento da caixa de bateria.

FONTE: Arquivo da empresa.

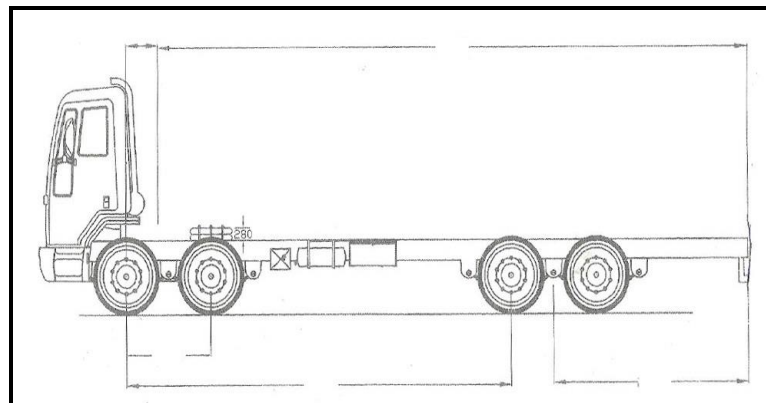
O segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429, é produzido e montado pela própria empresa e tem tamanho conforme o modelo do caminhão, pesando aproximadamente 300 Kg, numa extensão de aproximadamente 2,45 metros, com capacidade para 6 toneladas. Nas Figuras 10 e 11, serão apresentados o caminhão original e o caminhão com segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429.

Figura 10 - Antes do Segundo eixo Ford modelo Cargo 2429.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 11 - Depois do Segundo eixo Ford modelo Cargo 2429.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Este produto tem no seu histórico problemas de qualidade relacionados à mão de obra e método de trabalho.

Com o intuito de prevenir essa problemática, seria de grande contribuição a implantação correta de uma ferramenta de qualidade preventiva.

Atualmente existem algumas metodologias empregadas para esse fim. A análise dos modos de falha e efeitos, conhecida como FMEA, tem sido empregada em grandes montadoras com resultados satisfatórios, como por exemplo, Ford, GM e Chrysler.

3.2 Elaboração das etapas

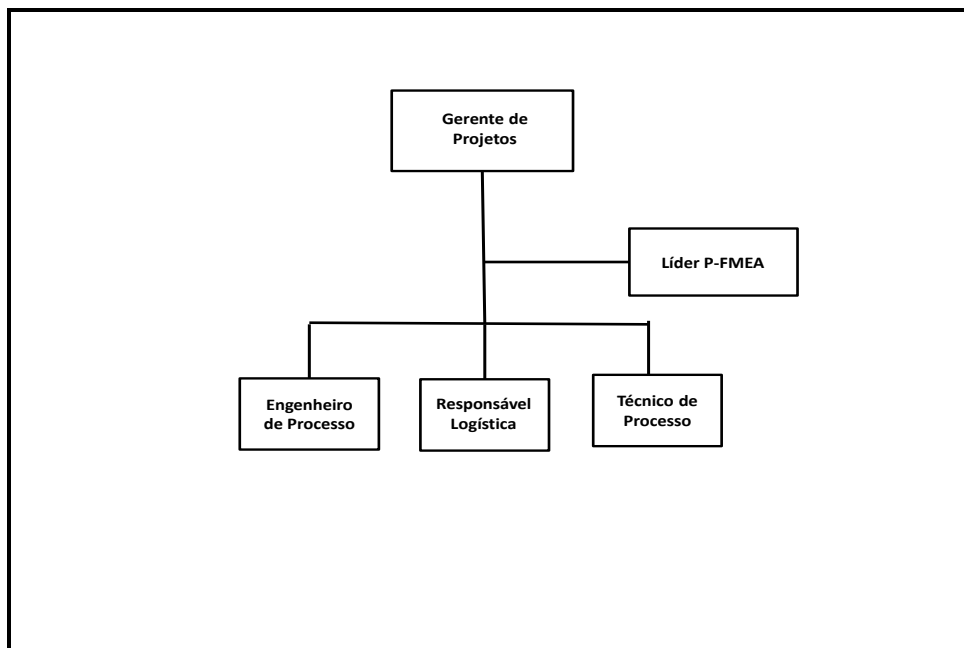
A elaboração das etapas do FMEA de Processo (P-FMEA), se deu da seguinte forma:

Etapa 1: Revisão do processo.

Esta etapa foi uma das principais cuja função foi realizar todo o planejamento para implantação do P-FMEA. Antes de iniciar os trabalhos, foi feita uma revisão de todos os passos do processo de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429. E o responsável pelo projeto de montagem do segundo eixo, definiu um líder para condução do P-FMEA, em conjunto os dois escolheram os integrantes da equipe de trabalho para realização das análises dos potenciais modos de falha. Esta equipe foi composta por: engenheiro de Processo, responsável pela Logística, técnico de Processo.

Foi realizado um organograma com as funções dos participantes da equipe PFMEA, mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Organograma Equipe P-FMEA.



FONTE: A autora.

O líder do P-FMEA analisou todos os passos do processo de montagem durante o período de pesquisa, e elaborou um histórico de falhas no processo de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429 mostrados na Tabela 8. Estes dados serviram para auxiliar na determinação das probabilidades de ocorrência dos modos de falha, visando preveni-los para o novo processo de montagem.

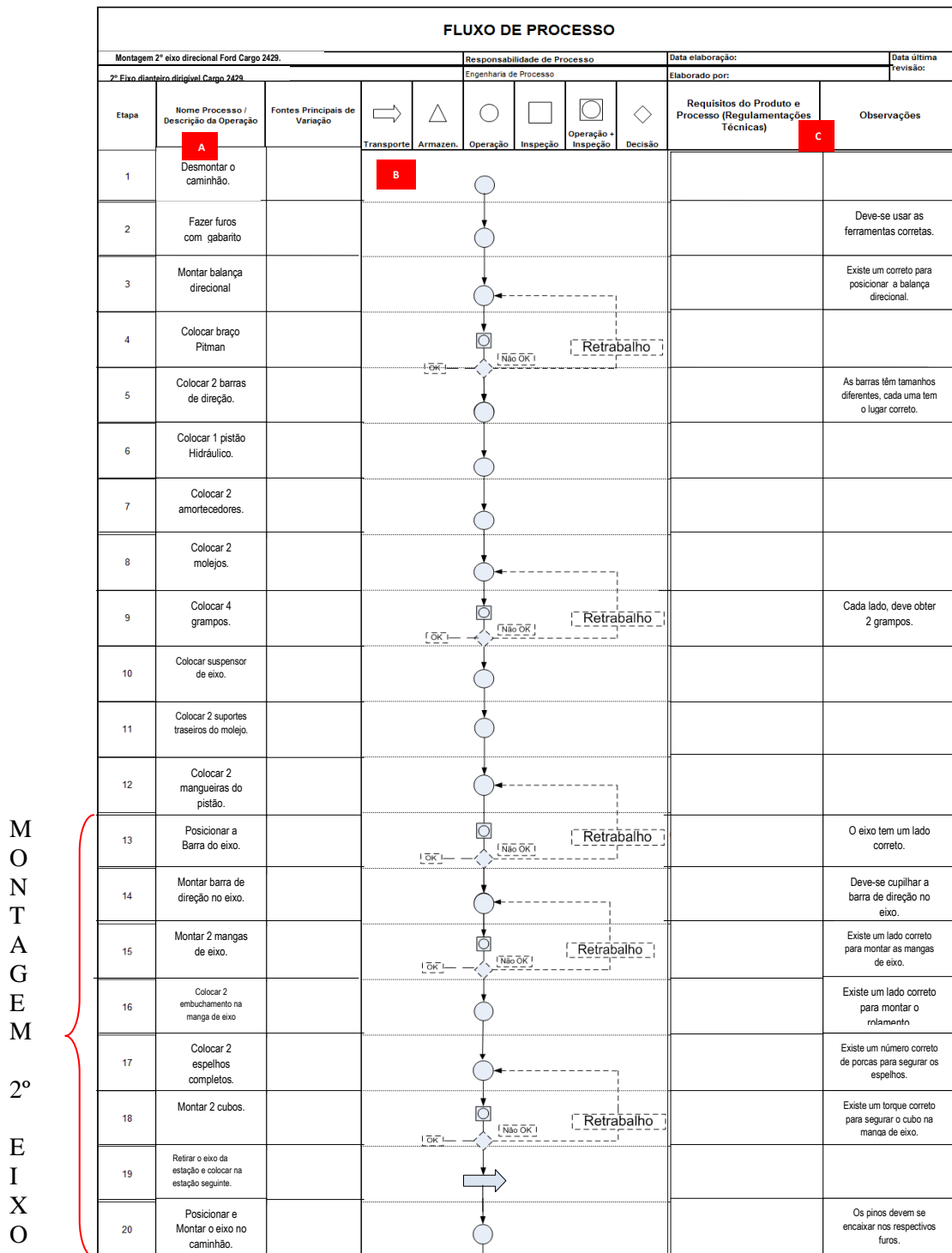
Tabela 8 - Histórico de Falhas.

Histórico de Falhas	
Posicionamento incorreto do eixo principal.	Falta de porca no espelho.
Montagem do lado contrário da barra de direção.	Posicionamento incorreto dos lados do pino que compõe o embuchamento.
Falta de cupilhar a barra de direção.	Falta de grampos para segurar o eixo.
Montagem do lado contrário da manga de eixo.	Falta de arruela no embuchamento.
Uso de ferramentas incorretas para a montagem do cubo.	Falta de torque no cubo.

FONTE: A autora.

Na sequência foi elaborado o fluxograma detalhado do processo, de acordo com cada estação de montagem, baseado na linha de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível da empresa, mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de Fluxograma de Processo.



FONTE: A autora.

Os fluxogramas de processo foram utilizados nesta pesquisa como base para realização das análises do P-FMEA e também para determinar quais eram as estações mais críticas dentro do processo de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível, ou seja, as estações que era mais complexas, com mais chances de falhas. Contendo as principais

informações que a equipe de P-FMEA precisava saber para executar as análises, como os requisitos do produto e processo. Na coluna A foram colocadas as etapas de montagem em sequência, na coluna B as etapas foram descritas graficamente através da simbologia padrão do fluxograma, na coluna C observações quando relevante.

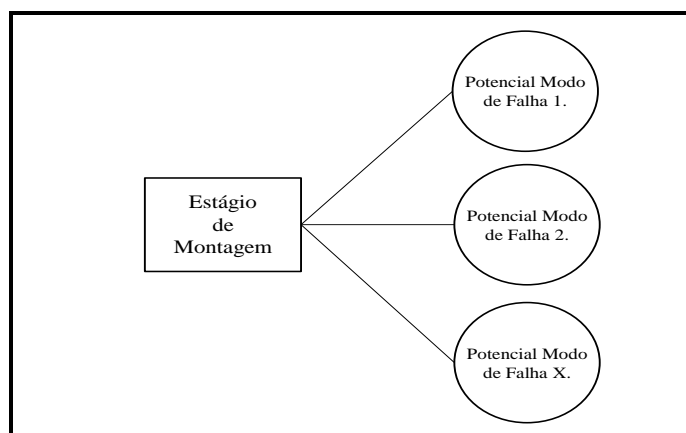
Etapa 2: Brainstorming para levantar os potenciais modos de falha.

Nesta fase a equipe do P-FMEA iniciou os ciclos de brainstorming para levantar os potenciais modos de falha relacionados ao processo que poderiam ocorrer no decorrer da montagem do segundo eixo dianteiro dirigível.

Os modos de falha eram apontados pelos integrantes dentro das reuniões seguindo o fluxograma do processo. Foram considerados os potenciais modos de falha que poderiam ocorrer relativos à mão de obra e método de trabalho. Não foram levados em consideração os potenciais modos de falha referentes ao material (componentes) proveniente do fornecedor ou falhas decorrentes dos equipamentos automatizados, porque para estes aspectos foram considerados que os mesmos deveriam cumprir as suas funções sem afetar a qualidade final do produto.

As sugestões de possíveis modos de falha eram mencionadas pela equipe durante a reunião e preenchidas no formulário na coluna de modos de falha pelo líder do P-FMEA. Este presente trabalho foi realizado em detalhes para todas as etapas de montagem. Para cada estágio de montagem (requisito) os integrantes da equipe apontavam um potencial modos de falha que poderia ocorrer durante o processo de montagem, exemplificado na Figura 14.

Figura 14 - Exemplo de Fluxograma de potenciais modos de falha.

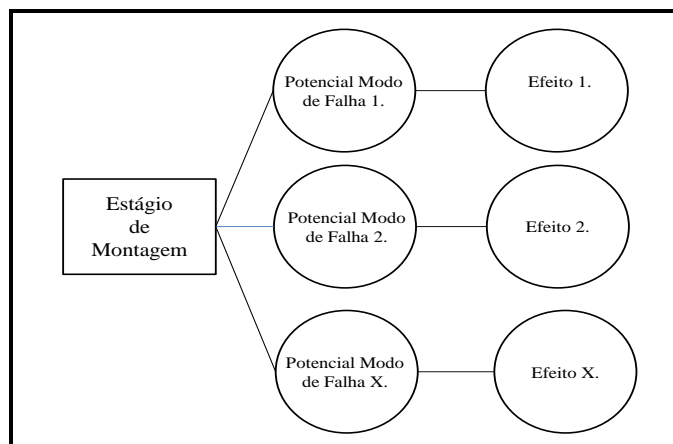


FONTE: A autora.

Etapa 3: Listagem dos potenciais efeitos para cada modo de falha.

Com os modos de falha levantados, a equipe iniciou o processo de identificação dos potenciais efeitos para cada um dos modos de falha listados na etapa anterior. Os efeitos para cada um dos modos de falha foram preenchidos no formulário de P-FMEA na coluna ao lado do respectivo modo de falha, na Figura 15.

Figura 15 - Exemplo de Fluxograma dos efeitos para os potenciais modos de falha.



FONTE: A autora.

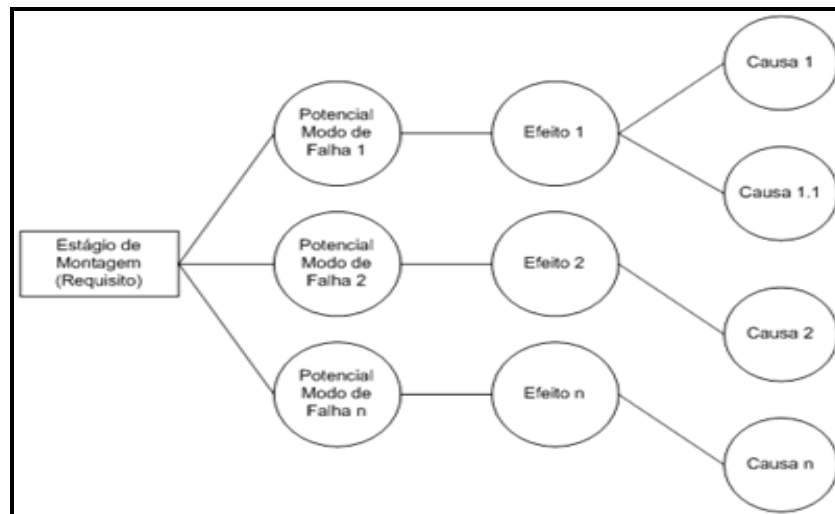
Etapa 4: Atribuição de uma pontuação para severidade de cada efeito.

Nesta etapa a equipe pontuou a severidade baseada no grau do potencial efeito, caso a falha ocorresse para o cliente externo ou interno. A pontuação foi baseada em uma tabela de referência com os critérios correspondendo ao grau de severidade para cada efeito. As pontuações dadas pela equipe de P-FMEA foram registradas no formulário na coluna de severidade.

Etapa 5: Identificar as causas e atribuição de uma pontuação de ocorrência para cada modo de falha.

Para cada potencial modos de falha foram listadas todas as causas possíveis que poderiam resultar neste modo de falha, na Figura 16.

Figura 16 - Exemplo de Fluxograma para as causas dos modos de falhas.



FONTE: A autora.

A pontuação para probabilidade de ocorrência foi baseada na pesquisa com o histórico de falhas em processos de montagem. Foi utilizada a seguinte abordagem para questionar a ocorrência: Com que frequência o potencial modo de falha pode ocorrer?

As pontuações para detecção de cada modo de falha foram dadas conforme os métodos de detecção do processo e preenchidas no formulário.

Etapa 6: Atribuição de pontuação para detecção de cada modo de falha.

A pontuação de detecção foi baseada na capacidade do processo em identificar a ocorrência dos modos de falha, ou seja, a eficácia dos métodos de controle planejados pelos engenheiros responsáveis pelo projeto. Esta etapa serviu também para avaliar se existia algum modo de falha capaz de ocorrer sem que os métodos de controle a detectassem até o cliente final. As pontuações para detecção de cada modo de falha foram preenchidas no formulário.

Etapa 7: Calcular o RPN (Grau de Prioridade de Risco) para cada um dos modos de falha.

O número de prioridade de risco foi calculado multiplicando-se as pontuações de severidade, de ocorrência e de detecção para cada um dos modos de falha.

$$\text{Grau de Prioridade de Risco (RPN)} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}.$$

Etapa 8: Priorizar os modos de falha para ação.

Foram priorizados para tomada de ação os modos de falha com RPN maior que 112. Os que apresentaram severidade 7, utilizando o conceito de Pareto 80/20.

Etapa 9: Realizar ação para eliminar ou reduzir os RPN mais altos.

Nesta etapa foi estabelecido um plano de ação para tentar eliminar ou reduzir a pontuação dos potenciais modos de falha selecionados. Para cada modo de falha foi escolhido um responsável da equipe para resolvê-lo. Na resolução dos potenciais modos de falha foram utilizadas outras metodologias de solução e prevenção de problemas como: PDCA, Ishikawa, FTA, 5W e 2H , Poka-Yoke, Diagrama de Pareto e Diagrama de Gantt.

Etapa 10: Cálculo do resultado do novo RPN para verificar se o valor foi reduzido ou foi eliminado.

Nesta última fase foi analisada a eficácia das ações tomadas. A equipe do P-FMEA se reuniu novamente, após a implantação das melhorias, e reavaliou as pontuações de severidade, ocorrência e detecção para cada modo de falha tratado, baseando-se nas ações tomadas e verificando se os riscos foram eliminados ou reduzidos. Com essa nova pontuação, um novo diagrama de Pareto foi definido e comparando com o da primeira pontuação.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

4.1 A linha de Montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.

A linha de montagem do segundo eixo é composta por três estações, divididas da seguinte forma: estação 1 de desmontagem do caminhão, estação 2 de montagem dos complementos para montagem do segundo eixo e estação 3 de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível. A implantação desta metodologia foi realizada em uma dessas estações de montagem como indicado na Figura 17.

Figura 17 - Estação 3 de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

4.2 Estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.

A estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429 ilustrada na Figura 16, foi escolhida como modelo para detalhar a implantação da metodologia do P-FMEA e a utilização de outras ferramentas da qualidade na linha de montagem.

Esta estação é responsável por um dos processos mais difíceis, pelo fato de ser a estação de montagem do segundo eixo, ou seja, a montagem deve ser feita com atenção redobrada para que o processo seja concluído perfeitamente.

A sequência de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford modelo Cargo 2429, está detalhada em 6 passos, que será descrito nas Figuras de número 18 à 23. O segundo eixo dianteiro dirigível montado é mostrado na Figura 24 ao final da sequência.

Figura 18 - 1º Passo da montagem do 2º eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 19 - Passo 2 da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.

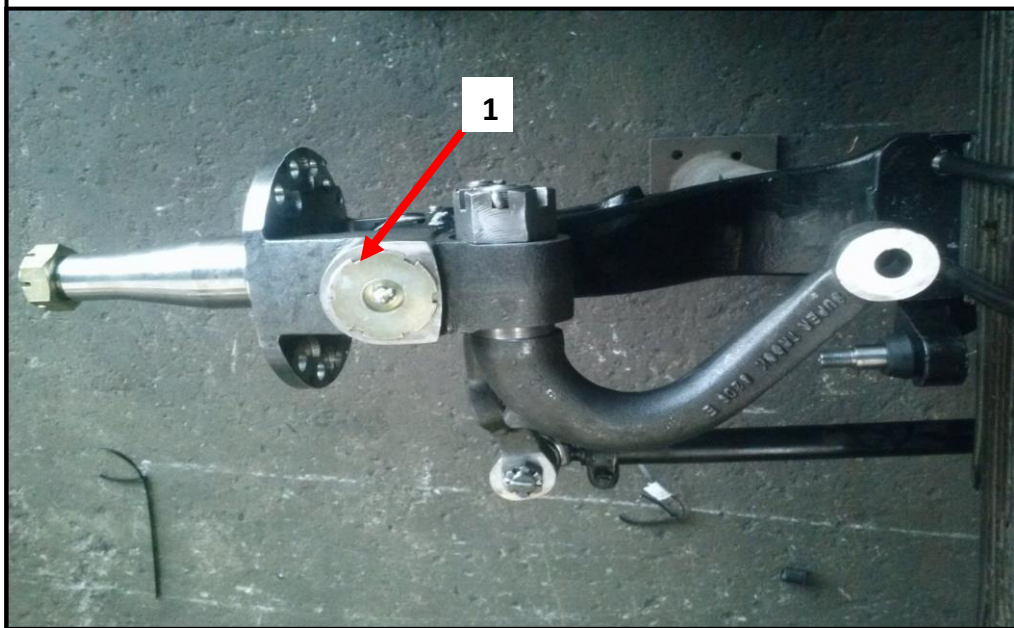


1-Barra de direção; 2 – Manga do eixo.

FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 20 – 3º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.

3º Passo - Montar o embuchamento (pino) nas mangas do segundo eixo.

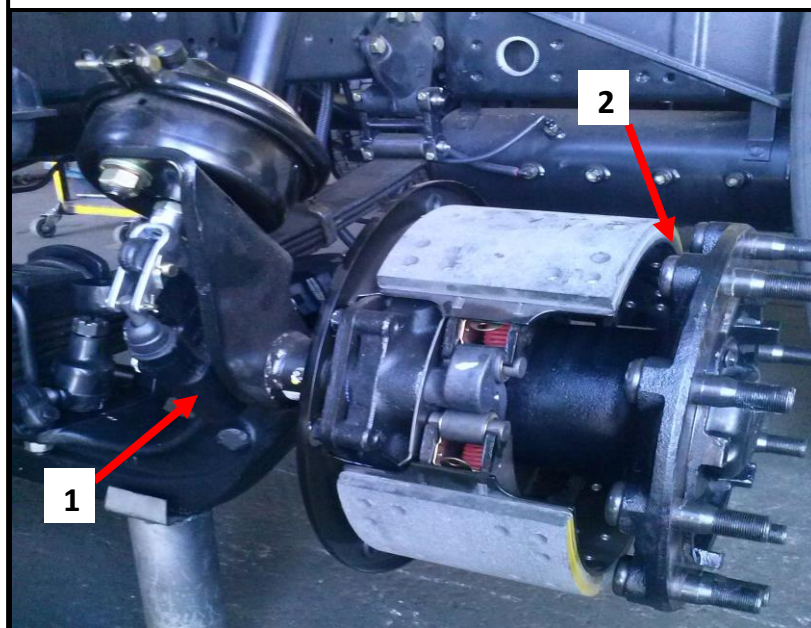


1-Embuchamento (pino).

FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 21 – 4º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.

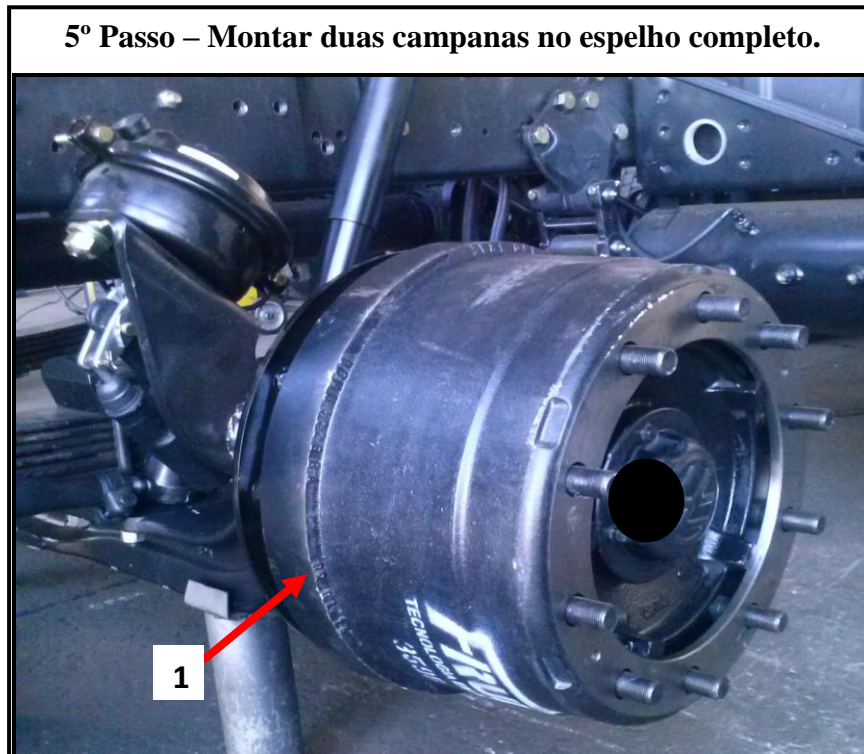
4º Passo – Posicionar e montar dois espelhos completos e dois Cubos nas mangas do eixo.



1 – Espelho Completo (cuíca, espelho, faixa de freio e parafusos); 2 – Cubo.

FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 22 - 5º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.



1 – Campana.

FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 23 – 6º Passo da Montagem do 2º eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Figura 24 - Segundo eixo dianteiro dirigível FORD Cargo 2429 montado.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

Os resultados da implantação do P-FMEA serão descritos a seguir, de acordo com as etapas citadas na metodologia.

No início da implantação foi realizada uma pesquisa dos modos de falhas na linha de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.

Na sequência foi elaborado um Fluxograma da estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429 como base para iniciar a análise do P-FMEA. O resultado foi um detalhamento da montagem em 20 etapas.

Na análise P-FMEA da estação modelo através das 20 etapas de montagem foram identificados oito potenciais modos de falha identificados na Tabela 9.

Para todos foram descritos os Efeitos, a Severidade, as Causas, estimando a Ocorrência e a Detecção e avaliando os Controles de Prevenção. Os resultados foram registrados no formulário do P-FMEA, conforme as Tabelas 2, 3 e 4.

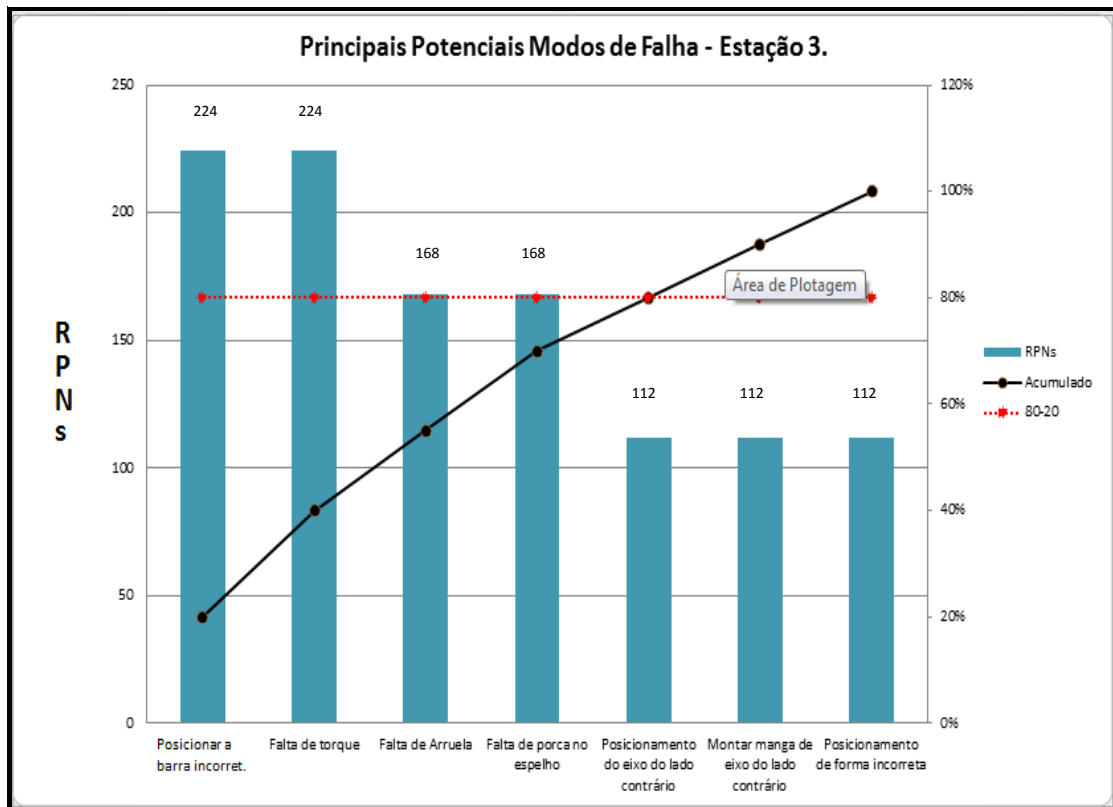
Tabela 9- Formulário P-FMEA da estação 3 de montagem do 2º eixo dianteiro dirigível.

Análise do Tipo e Efeito e Falha													
Cod. Do Serviço: 5112		FMEA de Processo.											
Nome do Serviço: Montagem do Segundo Eixo Dianteiro Dirigível - Marca: Ford - Modelo: Cargo 2429.		FMEA de Produto.											
Data: 26 de Setembro de 2014													
Folha Nº.: 5112 da Est. 03													
2	3	4	5	6	7	ÍNDICES			12		13	##	
						8	9	#	11	Ações Recomendadas			Ações de Melhorias
Descrição do Processo	Funções do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	S	O	D	R	S	O	D	R
Posicionar a barra do eixo.	Montagem do 2º eixo.	Posic. O eixo no lado incorreto.	As peças não encaixam.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	2	8	112				
Montar a barra de direção no eixo.	Posicionar a barra.	Posicionar a Barra incorret.	A barra não encaixa	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	4	8	224				
Montar 2 mangas do eixo na barra do eixo.	Posicionar as mangas do eixo.	Montar manga do eixo do lado contrário.	A manga não encaixa no eixo.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	2	8	112				
Montar 2 embuchamento na manga do eixo.	Posicionar o embuchamento.	Falta de arruela	o embuchamento fica com folga.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	3	8	168				
Montar 2 espelhos completos na manga do eixo.	Posicionar o espelho completo	Falta de porca no espelho.	o espelho fica parcialmente preso.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	3	8	168				
Montar 2 cubos no espelho completo.	Posicionar os cubos.	Falta de torque.	Folga no pneu.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	4	8	224				
Colocar 2 campanas no espelho completo.	Posicionar campanas no espelho.	Posicionar de forma incorreta.	As campanas não encaixam.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	2	8	112				
Pintar o eixo pronto.	Pintar o eixo pronto.	Não se aplica.											
Retirar o eixo da estação.	Colocar no carrinho.	Não se aplica.											
Posicionar e montar o eixo no caminhão.	Montar o eixo no caminhão.	Posicionar de forma incorreta.	O eixo não encaixa no caminhão.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	1	8	56				

FONTE: Formulário da Empresa (2014).

Foi utilizado o gráfico de Pareto, conforme a Figura 25, para a priorização dos RPNs e a demonstração dos potenciais modos de falha com maior representatividade.

Figura 25 - Gráfico de Pareto da Estação 03.



FONTE: A autora.

Os modos que apresentaram RPNs inferior a 112 não foram utilizados, devido aos seus baixos riscos. No eixo horizontal são listados os modos de falha, as barras representam o grau do RPN para cada modo e o eixo vertical mostra a sua representatividade, ou seja, quanto mais alto mais representativo.

Para a tomada de ação foram selecionados os RPNs que apresentaram valores maiores que 112. Foram encontrados e selecionados 7 registros que atenderam este requisito. No Pareto foi possível observar que esses 7 potenciais modos de falha equivalem a 100% dos maiores RPNs.

Para cada potencial modo de falha apontados no gráfico, foi tomada uma ação com o objetivo de reduzir ou eliminar o grau de risco. No caso das etapas “Montar a barra de direção no eixo” e “Montar dois cubos no espelho completo” no formulário P-FMEA, destacada na Tabela 10, observou-se que os 2 modos de falha identificados resultaram em uma pontuação de RPN maior do que todas as etapas do processo, apontando RPNs de 224, portanto, estes exemplos foram utilizados para demonstrar o suporte das ferramentas da qualidade na implantação do P-FMEA neste projeto.

Tabela 10 - Etapas do Formulário P-FMEA da estação 3.

Análise do Tipo e Efeito e Falha															
Cod. Do Serviço: 5112 Nome do Serviço: Montagem do Segundo Eixo Dianteiro Dirigível - Marca: Ford - Modelo: Cargo 2429. 1 Data: 26 de Setembro de 2014 Folha Nº: 5112 da Est. 03											<input checked="" type="checkbox"/> FMEA de Processo. <input type="checkbox"/> FMEA de Produto.				
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
Descrição do Processo	Funções do Processo	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa de Falha em Potencial	Controles Atuais	ÍNDICES				Ações de Melhorias					
						S	O	D	R	Ações Recomendadas		Melhorias Implantadas	Índices Atuais		
						S	O	D	R			S	O	D	R
Montar a barra de direção no eixo.	Posicionar a barra.	Posicionar a barra incorret.	A barra não encaixa	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	4	8	224	Preparar equipamento / verificar o posicionamento.	verificação do Posicionamento	7	2	2	28
Montar 2 cubos no espelho completo.	Posicionar os cubos.	Falta de torque.	Folga no pneu.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7	4	8	224	Desenvolver um kit de montagem com a sequência e qtds. de peças necessárias.	Ausência de erros e da falta de peças	7	2	3	42

FONTE: Formulário P-FMEA da empresa.

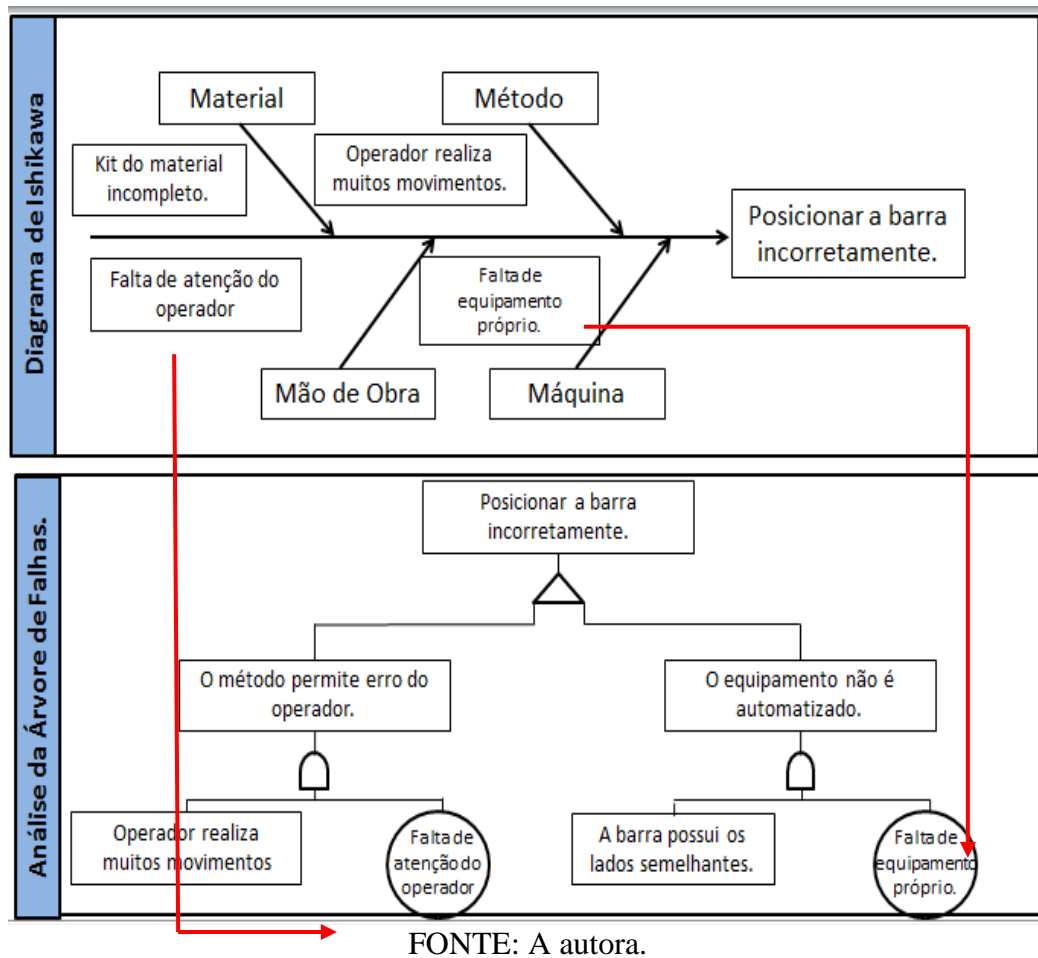
Os modos de falha encontrados nas etapas “Montar a barra de direção no eixo” e “Montar dois cubos no espelho completo” foram respectivamente: Posicionar a barra incorretamente e Falta de torque.

Para os dois modos de falha foram construídos um diagrama de Ishikawa e uma árvore de falha para as causas básicas.

Para o primeiro modo de falha já citado na Tabela 10 que é “Montar a barra de direção no eixo”, as pontuações iniciais do P-FMEA era as seguintes: Severidade 7, pois o efeito é “A barra não encaixa”, Ocorrência 4 para “Erro operacional” e Detecção 8, pois a falha só é identificada na Inspeção visual.

Nas análises utilizando o Diagrama de Ishikawa e a Árvore de Falhas, mostrada na Figura 26, foi possível constatar que a “Falta de atenção do operador” e a “Falta de equipamento próprio” foram as causas que mais contribuíram para o modo de falha ocorrer.

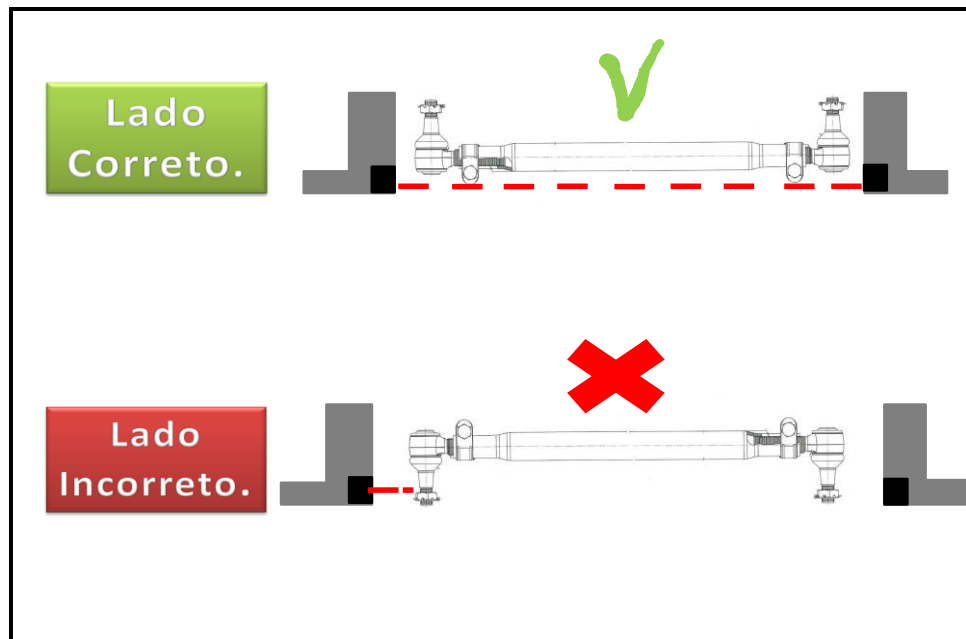
Figura 26- Diagrama de Ishikawa e Análise da Árvore de Falhas.



FONTE: A autora.

Para eliminar a ocorrência deste modo, a ação tomada foi a instalação de um sensor que detecta o posicionamento incorreto (Poka Yoke). Após a implantação da solução as pontuações foram revisadas: a Severidade manteve-se em 7 e a Ocorrência e Detecção baixaram para 2, devido ao Poka Yoke instalado, na Figura 27.

Figura 27 – Poka Yoke implantado para evitar o posicionamento incorreto.

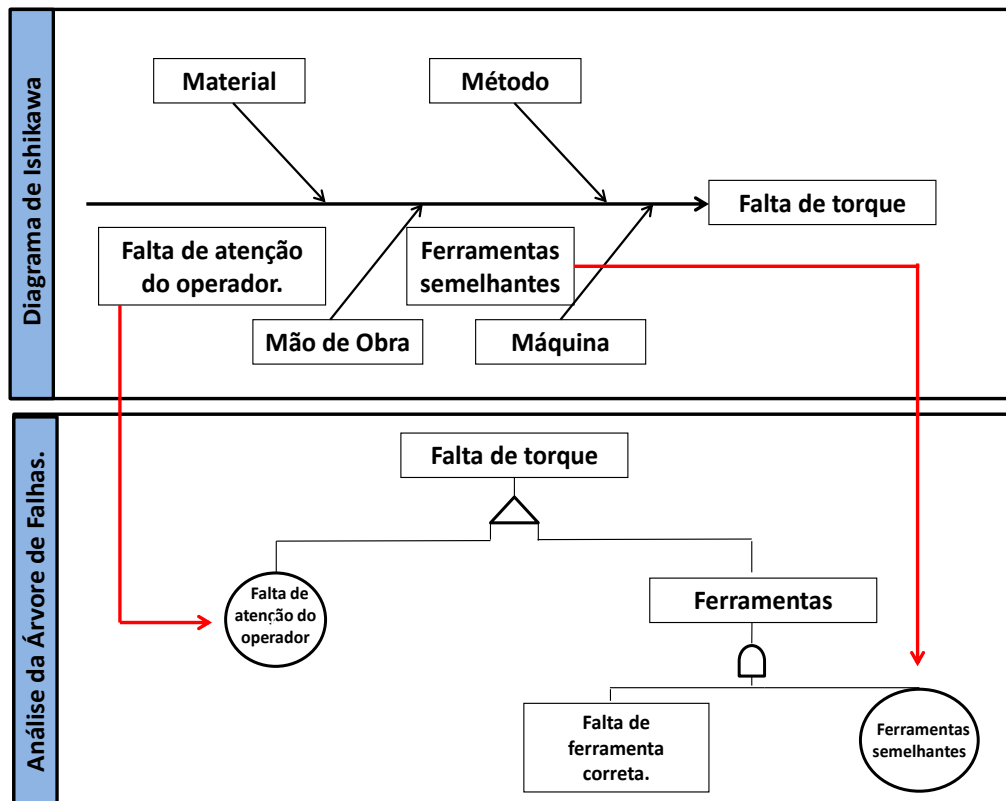


FONTE: A autora.

Para o segundo modo de falha "Falta de torque" as pontuações iniciais do P-FMEA eram: Severidade 7, pois o impacto é "folga no pneu", Ocorrência 4 para "Erro operacional" e Detecção 8, pois o método de controle era Inspeção visual.

Na análise das causas, mostrada na Figura 28, foi constatado que a "Falta de atenção do operador" e a "Semelhança entre as ferramentas" eram as causas que mais contribuíam para o modo de falha ocorrer.

Figura 28 - Diagrama de Ishikawa e FTA.

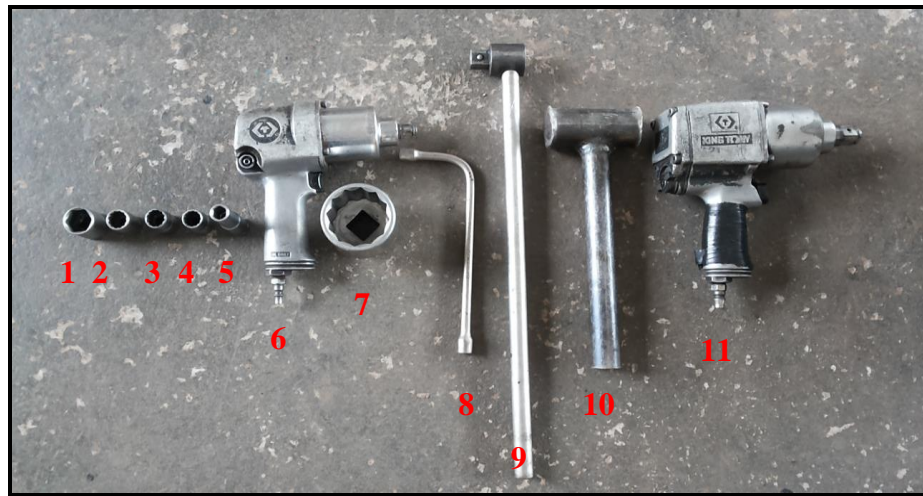


FONTE: A autora.

Para eliminar a ocorrência deste modo, a ação tomada foi desenvolver um kit, onde possa ter todas as ferramentas necessárias e suas sequências de uso, para verificar se a ferramenta para fazer o torque utilizada, é a correta conforme a sequência de montagem (*Poka-Yoke*).

Após a implantação da solução as pontuações foram revisadas: a Severidade, manteve-se em 7, a ocorrência baixou para 2 e a detecção para 1 devido ao *Poka Yoke* instalado, na Figura 29.

Figura 29 - Sequência de ferramentas para Montagem do Cubo no espelho completo.



FONTE: Foto fornecida pela empresa.

As ações e seus responsáveis de todos os modos de falha com RPNs acima de 112 são mostrados no Plano de Ação, Tabela 11 indicados com relevo vermelho. Baseada na eficácia das ações tomadas, a equipe P-FMEA reavaliou as pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção e calculou o novo RPN, registrado também no Plano de Ação, Tabelas.

Tabela 11 - Formulário com as Ações de Melhorias.

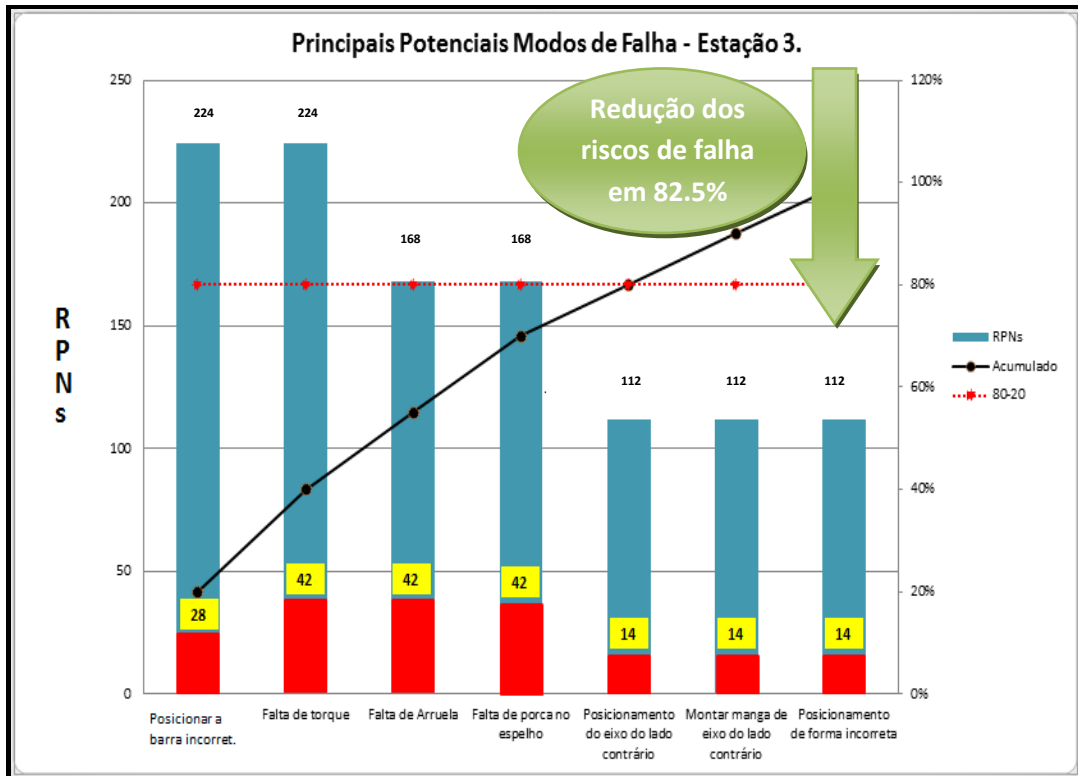
Análise do Tipo e Efeito e Falha											
Cod. Do Serviço: 5112		Nome do Serviço: Montagem do Segundo Eixo Dianteiro Dirigível - Marca: Ford - Modelo: Cargo 2429.		8 9 # 11		12		13		#	
Data: 26 de Setembro de 2014		Folha Nº : 5112 da Est. 03		INDICES		Ações de Melhorias		Melhorias Implantadas		Índices Atuais	
2		3		4		5		6		7	
Descrição do Processo		Funções do Processo		Tipo de Falha Potencial		Efeito de Falha Potencial		Causa de Falha em Potencial		Controles Atuais	
S O D R		S O D R		S O D R		S O D R		S O D R		S O D R	
Posicionar a barra do eixo.	Montagem do 2º eixo.	Posic. O eixo no lado incorreto.	As peças não encaixam.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 2 8 112	Desenvolver Dispositivo de levantamento específico.	Posicionamento correto do eixo.	7 1 2 14		
Montar a barra da direção no eixo.	Posicionar a barra.	Barra incorret.	A barra não encaixa	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 4 8 224	Preparar equipamento p/ verificar o posicionamento.	verificação do posicionamento.	7 2 2 28		
Montar 2 mangas do eixo na barra do eixo.	Posicionar as mangas do eixo.	Montar manga do eixo do lado contrário.	A manga não encaixa no eixo.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 2 8 112	Preparar equipamento para verificar se as mangas estão posicionadas corretamente	equipamento de verificação do posicionamento da pç.	7 1 2 14		
Montar 2 embuchamento na manga do eixo.	Posicionar o embuchamento.	Falta de arruela	o embuchamento fica com folga.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 3 8 168	Desenvolver um kit de montagem com a seqüência e qtds. de peças necessárias.	Ausência de erros e da falta de peças	7 2 3 42		
Montar 2 espelhos completos na manga do eixo.	Posicionar o espelho completo	Falta de porca no espelho.	o espelho fica parcialmente preso.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 3 8 168	Desenvolver um kit de montagem com a seqüência e qtds. de peças necessárias.	Ausência de erros e da falta de peças	7 2 3 42		
Montar 2 cubos no espelho completo.	Posicionar os cubos.	Falta de torque.	Folga no pneu.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 4 8 224	Desenvolver um kit de montagem com a seqüência e qtds. de peças necessárias.	Ausência de erros e da falta de peças	7 2 3 42		
Colocar 2 campanas no espelho completo	Posicionar campanas no espelho.	Posicionar de forma incorreta.	As campanas não encaixam.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 2 8 112	Preparar equipamento para verificar se a campana está posicionada corretamente.	equipamento de verificação do posicionamento da pç.	7 1 2 14		
Pintar o eixo pronto.	Pintar o eixo pronto.	Não se aplica.									
Retirar o eixo da estação.	Colocar no carrinho.	Não se aplica.									
Posicionar e montar o eixo no caminhão.	Montar o eixo no caminhão.	Posicionar de forma incorreta.	O eixo não encaixa no caminhão.	Erro operacional.	Inspeção Visual.	7 1 8 56	Preparar equipamento para verificar se o eixo está posicionado corretamente.	equipamento de verificação do posicionamento da pç.	7 1 2 14		

FONTE: Formulário da empresa (2014).

No gráfico da Figura 30 é possível verificar a eficácia das ações tomadas, comparando os valores da primeira avaliação dos RPNs com a segunda avaliação, após a

verificação dos resultados das ações. Comparando a média percentual de redução dos RPNs o valor encontrado foi de 82,5% entre o valor inicial e final.

Figura 30 - Gráfico de Pareto – RPN antes x RPN depois.



FONTE: A autora.

Um dos objetivos da metodologia FMEA é ser uma "ferramenta viva", ou seja, mesmo solucionando os principais modos de falha da estação 03 de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível na fase de projeto, ainda é possível continuar o trabalho de prevenção após o início da produção buscando eliminar os potenciais modos de falha com maior RPN.

CONCLUSÃO

Para as empresas se manterem competitivas no mercado, garantindo que seus produtos sejam bem aceitos pelos consumidores, a mesma deve garantir a qualidade de seus processos ou serviços prestados. Um sistema de gestão da qualidade sólido preocupado com a atualização de sua metodologia de controle de qualidade é essencial para que a empresa permaneça em vantagem frente aos seus concorrentes.

Metodologias como a FMEA asseguram que falhas no decorrer do processo de fabricação sejam detectadas, impedindo possíveis falhas antes não previstas na fase de desenvolvimento do produto pelo fato de técnicas como esta não serem empregadas deixando tais falhas passarem despercebidas.

Utilizada como ferramenta da qualidade para detectar modos de falha potenciais em processos, a FMEA proporcionou confiabilidade ao processo atuando na prevenção e eliminação de falhas.

O estudo de caso apresentado neste trabalho, possibilitou a visualização prática da técnica da FMEA empregada no desenvolvimento do processo de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível da marca Ford modelo Cargo 2429, onde se teve a elaboração e preenchimento do formulário de FMEA.

Através da implantação da ferramenta FMEA os potenciais modos de falha foram minimizados do processo, atingindo o objetivo do trabalho, com uma redução de riscos de falha em 82,5% na estação de montagem do segundo eixo dianteiro dirigível Ford Cargo 2429.

Dos 40 eixos montados até o presente momento foram auditadas três unidades, dentre estas foi encontrado apenas um defeito relacionado a falha humana.

Ficou claro, que o P-FMEA iniciou dentro da empresa um processo de consolidação para tornar-se uma “ferramenta viva” de análise dos projetos futuros e atualização dos processos atuais.

REFERÊNCIAS

- AIAG. Manual FMEA. **Automotive Industry Action Group**, 4 a edição, 2008.
- ANDRADE, L. F. S.; ZARDO, C. R.; FORCELLINI, F. A. **O uso do FMEA como uma métrica para a confiabilidade no projeto conceitual**. 2005. Disponível em www.ifm.org.br/fase1/congresso/inscritos/tese2.php?id_trabalho=726. Acesso em : 09 de Setembro de 2014.
- Apostila do Participante - **Análise do Efeitos e Modos de Falhas SETEC**, FMEA 3º edição, revisão Setembro de 2002.
- ARAUJO, Luis César G. de. **Organização, sistemas e métodos** e as tecnologias de gestão organizacional. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- BASTOS, A. L. A. **FMEA como Ferramenta de Planejamento da Qualidade – Uma Avaliação da Aplicação em um Processo Produtivo de Usinagem de Engrenagem**. Universidade Regional de Blumenau. 2006. Disponível em: <http://home.furb.br/abastos/artigos_do_autor/13.pdf> Acesso em: 09 de Setembro de 2014.
- CAMPOS, V. F. TQC – **Controle de qualidade total**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de engenharia da UFMG, Rio de Janeiro: Bloch, 1992.
- CAMPOS, V. F..**Gerenciamento pelas diretrizes**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni 1995.
- CIERCO, Agliberto Alves, et al. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro: FGV,2003.
- CONTE, E. A.; COMPANI, D.B. **FMEA como ferramenta de apoio à implementação do sistema de gestão ambiental**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/sga/fmes.pdf> Acesso em: 09 de Setembro de 2014.
- D’ASCENSÃO, Luiz Carlos M. **Organização, sistemas e métodos: Análise, redesenho e informatização de processos administrativos**. São Paulo: Atlas, 2001.
- DELLARETI FILHO, Osmário. **As sete ferramentas do planejamento da qualidade**. Escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte : Fundação Christiano Ottoni 1996.
- FACCIONI FILHO, Mauro; BITTEM COURT, Dênia Falcão de. **Gerencia de Projeto: design instrucional**. 2007.218p.(graduação em administração) - Unisul Virtual. Palhoça, 2007.
- FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total. Gestão e Sistemas**. Volume I. São Paulo: Akron Books. 1994.
- FEIGENBAUM, A.V. **Total quality control**, 3. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1986. Fundação para o Prêmio Nacional da Qualidade. Critérios de Excelência: o estado da arte da Gestão da Qualidade Total, São Paulo, 1995.

FEIGENBAUM, A.V. **Total Quality Control: engineering and management**. Nova York: McGraw-Hill, 1961.

FRAZELLE, E. H.; GOELZER, P. G. **Distribuição de classe mundial**. São Paulo: IMAM, 1999.

GODOY, Adelice Leite. **Ferramentas da Qualidade**. São Paulo, 2009.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed., 1995.

HRADESKY, JOHN L. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade: guia prático para a implementação do CEP: controle estatístico de processos**/John L. Hradesky: tradução Maria Cláudia de Oliveira Santos; revisão técnica José Carlos de Castro Waeny. – São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

INSTITUTO DA QUALIDADE AUTOMOTIVA. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial FMEA: Manual de Referência**. 3º Edição. São Paulo: [s.n.], 2003.

ISHIKAWA, Kaoru. **Controle de Qualidade Total à Maneira Japonesa**. 6ªed. São Paulo: Campus, 1995.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da Qualidade – Ciclo dos Produtos: do projeto à produção**. 4º Edição., São Paulo, Makron/Mc Graw – Hill, 1991, v.3 397p.

JURAN, J.M. *et al.* **Quality Control Handbook**. New York, McGraw Hill, 1974.

JURAN, J. M. **Juran na liderança pela qualidade**. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1993.

KEYWORDS, **MistakeProofing. PokaYokeConcept: Zero Defect. QualityControl**. Revista de Ciência & tecnologia. V.11, n.21, 18p. Abril. 2008.

KOCK, Ned, etcall. **PMQP, Qualidade total na prática**. Rio de Janeiro: Infobook, 1999.

Manuais da QS 9000. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência**. 1997.

Manual de Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA). – 3. Ed. 2001.

Manual de Sistema de Treinamento em Core Tools da DaimlerChrysler, Ford, General Motors e Plexus – **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA)**. – 3. Ed. 2003.

McDERMOTT, Robin E.; Mikulak, Raymont J.;Beauregard Michael R. **The Basics of FMEA**. Productivity, 2009. 73p.

MONTEBELLER, Levy E. **Controles Operacionais De Gestão Para Uma Empresa Atacadista Distribuidora De Produtos Industrializados: Um Estudo De Caso**. 2002. 200p. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2002.

MOURA, C. **Análise de modo e efeito de falha potencial (FMEA), Manual de Referência.** 2000. Disponível em: <http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades%20Curriculares/Inova%C3%A7%C3%A3o/Textos%20apoio/FMEA.pdf> Acesso em: 09 de Setembro de 2014.

OLIVEIRA, Sidney Taylor. **Ferramentas para o aprimoramento da qualidade.** São Paulo: Pioneira, 1996.

OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de. **Sistemas, organizações e métodos: uma abordagem gerencial.** 17. Ed. São Paulo: Atlas, 2007.

OISCHI, Michitoshi. **Técnicas Integradas na Produção e Serviços.** 2 ed. São Paulo: Pioneira, 1995.

PALADINI, Edson Pacheco. **Qualidade total na prática, Implantação e avaliação de sistemas de qualidade total.** São Paulo: Atlas S.A, 1994.

PALADY, P. **Análise dos Modos de Falhas e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 2007.

PALADY, Paul. **FMEA Análise dos Modos de Falha e Efeito.** São Paulo: IMAM, 1997.

RODRIGUES, MARCUS VINICIUS CARVALHO, 1955 – **Ações para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial/** Marcus Vinicius Rodrigues. – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

RODRIGUES, Marcus Vinicius Carvalho. **Ações para a qualidade, Padrão seis sigma, classe mundial.** 2 ed. atualizada e ampliada. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006.

ROZENFELD, Henrique; et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos, Uma referência para melhoria do processo.** São Paulo: Saraiva, 2006.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análises dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UDSC, 2001. Dissertação de Mestrado.

SELL JUNIOR, Sergio Alexandre. **Plano estratégico para gestão empreendedora da eletrônica.** 2008. 73p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Administração com habilitação em Gestão Empreendedora) - Universidade do Vale do Itajaí, Centro de educação de Bal. Camboriú. Balneário Camboriú, 2008

SHINGO, S. **Sistema Toyota de Produção – do ponto de vista da Engenharia de Produção.** Porto Alegre, Editora Bookman, 1996.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 2001. 121 f. Dissertação (Pós-Graduação), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SILVA, Carlos Eduardo Sanches da; TIN, Jorge Vitor; OLIVEIRA, Vandelei C. de. **Uma Análise de Disseminação do FMEA nas Normas de: Sistema de Gestão pela Qualidade (ISSO 9000 e QS9000), Sistema de Gestão Ambiental (ISO14000) e Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho (BS8800 – futura ISO18000)**. In: 17 ENEGEP, 2004 Itajubá (Mg), 1997. (Escola Federal de Engenharia de Itajubá – EFEI / Departamento de Produção – DPR. 10p., 1997.

SILVA, S. R. C.; FONSECA, M.; BRITO, J. **Metodologia FMEA e sua aplicação à construção de edifícios**. 2006. Disponível em: http://www.fep.up.pt/disciplinas/PGI1914/Ref_topico3/FMEA_SS_MF_JB_QIC2006.pdf. Acesso em 13 de Setembro de 2014.

SLACK, NIGEL, **Administração da Produção** / Nigel Slack, Stuart Chambers, Robert Johnston; tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira, Fábio Alher; revisão técnica Henrique Luiz Corrêa. - - 2. Ed. - - São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, D.H. Failure Mode and Effect Analysis: **FMEA from theory to execution**. ASQ Quality Press. 2 ed. Milwaukee, Winsconsin, 2003.

STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis**. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin, 1995.

SCHMENNER, Roger W. **Administração de operações em serviços**. São Paulo: Futura, 1999.

SWAIN, A. D; GUTTMANN, H. E. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. Washington: US Nuclear Regulatory Commission, 1983.

TOLEDO, J. C. **Metodologias para Análises e Melhoria da Qualidade**. Apostila GEPEQ/DEP/UFSCar. São Carlos, 70 p., 2002.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. Grupo de estudo e pesquisa em qualidade, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em; <http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf> Acesso em: 13 de Setembro de 2014.

TOLEDO, J. C. e NOGUEIRA, M. A. **Uma abordagem para o uso do FMEA**, Revista Banas Qualidade, São Paulo, nov., p. 62-66, 1999.

TAGUCHI Methods and QFD: **Hows and Whys for Management**, Editora Nancy E. RyaN 1988.

THYSSENKRUPP METALÚRGICA CAMPO LIMPO LTDA. – Treinamento Seis Sigma – Sessão 1, 2 e 3. Campo Limpo, 2006.

YAMASHINA, Hajime. **Quality Control Workshop 2011 – Word Class Manufacturing**. Kyoto University. Fellow of RCA (The U.K.).Member of Royal Swedish Academy of Engineering Sciences.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**, (Série Ferramentas da Qualidade). Escola de engenharia da UFMG. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Lean seis sigma**: Introdução às ferramentas do lean manufacturing. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2006.

MIYAZAKI, Daniele; MANEIRA, Fabio; ASSIS, Marcos. **Estudo de caso: Implantação do FMEA de Processo em uma linha de montagem de caixa de câmbio**. 93p. Monografia (Engenharia de Produção) – FAE – Centro Universitário. Curitiba, 2011.