

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CAMPUS DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCO AURÉLIO PIMENTA DE ALMEIDA

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO E IMPLANTAÇÃO DO FMEA: O CASO DE UMA
INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Sorocaba

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CAMPUS DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCO AURÉLIO PIMENTA DE ALMEIDA

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO E IMPLANTAÇÃO DO FMEA: O CASO DE UMA
INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof. Dr. Cleyton Fernandes Ferrarini

Co-orientação: Prof. Dr. Miguel Ángel Aires Borrás

Sorocaba

2014

A447p Almeida, Marco Aurélio Pimenta de.
Proposição de método e implantação do FMEA: o caso de uma indústria do setor automotivo / Marco Aurélio Pimenta de Almeida. -- 2014.

116 f. : 28 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba, Sorocaba, 2014

Orientador: Cleyton Fernandes Ferrarini

Banca examinadora: Fábio Favaretto, Miguel Ángel Aires Borrás, Andréa Regina Martins Fontes

Bibliografia

1. Desenvolvimento de produtos. 2. Controle de qualidade. 3. Indústria automobilística. I. Título. II. Sorocaba-Universidade Federal de São Carlos.

CDD 658.575

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do *Campus* de Sorocaba.

MARCO AURÉLIO PIMENTA DE ALMEIDA

**PROPOSIÇÃO DE MÉTODO E IMPLANTAÇÃO DO FMEA: O
CASO DE UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção do Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão de Operações.
Sorocaba, 29 de agosto de 2014

Orientador (a):



Prof. (a) Dr. (a) Cleyton Fernandes Ferrarini
DEPS/UFSCar

Co-Orientador (a):



Prof. (a) Dr. (a) Miguel Ángel Aires Borrás
DEPS/UFSCar

Examinadores (as):



Prof. (a) Dr. (a) Fábio Favaretto
UNIFED/IEPG



Prof. (a) Dr. (a) Andréa Regina Martins Fontes
DEPS/UFSCar

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Adriana, pelo incentivo para este desafio e pelo apoio nos momentos em que precisei.

Aos meus filhos, Gabriela e João Victor, para tentar compensar a minha ausência durante esta jornada.

Aos meus pais pelo incentivo em busca desta realização.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir concluir mais esta etapa em minha vida.

Ao Prof. Dr. Cleyton Fernandes Ferrarini, por todo o apoio, compreensão, profissionalismo e dedicação.

Agradeço as valiosas contribuições e a orientação não só para o desenvolvimento da pesquisa, mas também, pelo apoio e compreensão durante esta jornada.

Sempre será um exemplo de profissional e pessoa para minha carreira.

Ao Prof. Dr. Miguel Ángel Aires Borrás, por compartilhar seus conhecimentos nas aulas ao longo da minha dissertação e pelas importantes contribuições na qualificação.

À Prof.^a Dra. Patrícia Saltorato, por também compartilhar seus conhecimentos nas aulas e pelas importantes contribuições na qualificação.

Aos professores Dra. Andréa Regina Martins Fontes, Dra. Eli Angela Vitor Toso, Dr. Isaías Torres, Dr. João Eduardo Azevedo Ramos da Silva, Dr. José Geraldo Vidal Vieira, Dra. Juliana Veiga Mendes, Dra. Márcia Regina Neves Guimarães e Dr. Ricardo Coser Mergulhão que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À Érica Kushihara Akim, por toda sua dedicação, eficiência e apoio dado pela Secretaria ao longo do meu período enquanto aluno.

Aos meus colegas de curso por todo o incentivo durante o desenvolvimento dessa pesquisa. É com muita alegria que este desafio foi cumprido e é com muita gratidão que agradeço a todos aqueles que fizeram e fazem parte da minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

ALMEIDA, M. A. P. *PROPOSIÇÃO DE MÉTODO E IMPLANTAÇÃO DO FMEA: O CASO DE UMA INDÚSTRIA DO SETOR AUTOMOTIVO*. Sorocaba, 2014. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos.

Devido à forte influência da globalização, pesquisadores e empresários reconheceram a necessidade e a importância do desenvolvimento de novas abordagens para aumentar a vantagem competitiva no desenvolvimento de novos produtos. Nesse cenário cada vez mais competitivo, é evidenciada a necessidade de que as empresas se organizem para desenvolver produtos de forma eficiente, rápida e correta pela primeira vez. A análise do modo e efeitos de falha (*Failure Mode and Effects Analysis*) deve ser conduzida para a determinação de possíveis riscos e avaliada com relação à sua relevância, probabilidade de ocorrência e possibilidade de detectá-los. Estes riscos devem ser minimizados através da implementação de ações preventivas, tendo em vista que o FMEA é um importante instrumento para prevenção de defeitos em produtos. Para isso, o objetivo desse estudo é propor a introdução de um método mais eficiente e eficaz na elaboração do FMEA de processos, propondo ações de melhorias para agilizar sua elaboração, reduzindo o tempo de elaboração e eliminando, assim, divergências de interpretação, pois para diferentes equipes multifuncionais, diferentes interpretações nos índices de severidade, ocorrência e detecção eram diagnosticadas para os mesmos produtos e/ou aplicações similares. Para tanto, nesse trabalho foi adotada a metodologia de pesquisa-ação. Baseado nesse estudo foi sugerido um FMEA padronizado por processo, onde foram identificados e mapeados todos os processos de manufatura existentes na organização estudada. Essa padronização propiciou uma sensível redução no tempo de elaboração do FMEA de seis para duas reuniões com a equipe multifuncional e também permitiu uma rápida e eficiente retroalimentação de maneira sistêmica, ganhando produtividade e confiabilidade no processo de desenvolvimento de produtos.

Palavras chave: FMEA. Padronização. Produtividade. Desenvolvimento de Produto.

ABSTRACT

Due to the strong influence of globalization, researchers and entrepreneurs have recognized the need and the importance of developing new approaches in order to increase the competitiveness advantage in new products development. In this increasingly competitive scenario, it is highlighted that the companies have to organize themselves to develop products in an efficient, fast and proper manner in the first time. The Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) has to be conducted to determine potential risks and evaluate them in relation to its relevance, probability of occurrence and possibility of detection. These risks have to be minimized by introducing preventive actions, considering that the FMEA is an important tool for defects prevention in products. Therefore, the objective of this study is to present the introduction of a more efficient and effective method to perform the FMEA report, proposing improvement actions to speed up its preparation, thus reducing development time and eliminating deviation of interpretation, because for different cross-functional teams, different interpretations in the index of severity, occurrence and detection have been diagnosed for the same products and / or similar applications. As a result, this work adopted the methodology of action research. Based on this study it was suggested a FMEA standardized by process, where all manufacturing processes existing in the studied organization were identified and mapped. This standardization provided a significant time reduction to perform the FMEA from six to two meetings with the cross-functional team and also allowed quick, efficient and systemic feedback looping, consequently gaining productivity and reliability in the product development process as result.

Keywords: FMEA. Standardization. Productivity. Product Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da Dissertação.....	18
Figura 2 – Estrutura para condução da pesquisa-ação.....	21
Figura 3 – Diferença entre Eixos com a mesma denominação.....	21
Figura 4 – Fluxograma com o método atual.....	23
Figura 5 – Exemplo do diagrama de causa e efeito.....	24
Figura 6 – Exemplo de matriz de risco.....	25
Figura 7 – Equipe com as áreas envolvidas.....	27
Figura 8 – Diagrama da Trilogia de Juran.....	31
Figura 9 – A maior qualidade tem um efeito benéfico tanto sobre receitas como sobre os custos.....	33
Figura 10 – Relacionamento entre os tipos de FMEA.....	36
Figura 11 – Sequência no desenvolvimento das atividades para o novo método.....	51
Figura 12 – Padronização dos textos descritivos dos processos de manufatura.....	53
Figura 13 – Texto e parâmetros de usinagem padronizados.....	53
Figura 14 – Roteiro de fabricação mostrando o campo “chave de controle” com a codificação.....	61
Figura 15 – Codificação para elaboração do diagrama do fluxo de processo no SAP.....	62
Figura 16 – Diagrama do fluxo de processo no SAP.....	63
Figura 17 – Árvore de processos no IQ-FMEA.....	64
Figura 18 – Árvore de processos contendo os critérios 6M’s.....	65
Figura 19 – Novo fluxo para elaboração do FMEA.....	67
Figura 20 – Roteiro de fabricação preliminar no SAP.....	68
Figura 21 – Transação para impressão do diagrama do fluxo de processo no SAP.....	69
Figura 22 – Seleção dos processos na árvore de processos do IQ-FMEA.....	69
Figura 23 – Relatório parcial do FMEA concluído.....	71
Figura 24 – Comparativo entre o fluxo atual e o proposto para elaboração do FMEA.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais características da organização estudada.....	17
Quadro 2 – Exemplo do formulário para a elaboração do FMEA.....	37
Quadro 3 – Representação do registro das publicações.....	46
Quadro 4 – Base de dados e publicações selecionadas.....	47
Quadro 5 – Publicações selecionadas com maior contribuição para o desenvolvimento do novo método.	48
Quadro 6 – Tabela de Avaliação da Severidade adaptada pela equipe do FMEA.	55
Quadro 7 – Tabela de Avaliação para determinação do PPM.....	56
Quadro 8 – Tabela de Avaliação da Ocorrência elaborada pela equipe do FMEA.	57
Quadro 9 – Tabela de Avaliação da Ocorrência.....	58
Quadro 10 – Parte da tabela elaborada pela equipe do FMEA para determinação dos índices de detecção.	59
Quadro 11 – Tabela adaptada pela equipe do FMEA para interpretação dos índices de detecção.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIAG	<i>Automotive Industry Action Group</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo
D	Índice de Detecção da análise de FMEA
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise do Modo e Efeitos de Falha)
FTA	<i>Failure Tree Analysis</i> (Árvore de Análise de Falhas)
IQ-FMEA	<i>Integrated Quality</i> , é um software para gerenciar riscos técnicos com base no conhecimento, da empresa alemã APIS Informationstechnologien GmbH
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NPR	Número de Prioridade de Risco
O	Índice de Ocorrência do estudo de FMEA
PDCA	<i>Plan, Do, Check and Action</i> (Planejar, Executar, Verificar e Atuar).
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise do Modo e Efeitos de Falha do Processo)
PPAP	<i>Production Part Approval Process</i> (Processo de Aprovação de Peças de Produção)
PPM	Partes Por Milhão de oportunidades
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desdobramento da Função Qualidade)
QS	<i>Quality Standard</i>
S	Índice de Severidade do estudo de FMEA
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SAP	<i>Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung</i> , que significa Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados.
6M's	Método, Medição, Mão de Obra, Material, Meio Ambiente e Máquinas
8D	Relatórios das 8 Disciplinas.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. OBJETIVO.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA PARA O TEMA.....	16
1.3. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO.....	16
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	17
2. METODOLOGIA DE PESQUISA	20
2.1. MÉTODO ADOTADO.....	20
3. INVESTIGAÇÃO DO MÉTODO ATUAL.....	23
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
4.1. QUALIDADE E CONFIABILIDADE.....	28
4.1.1. – Planejamento da Qualidade	28
4.1.1.1.– Metas para Qualidade	28
4.1.1.2. – Identificar os Clientes	28
4.1.1.3. – As Necessidades dos Clientes.....	28
4.1.1.4. – Desenvolver as Características do Produto.....	29
4.1.1.5. – Desenvolver os Processos.....	29
4.1.1.6. – Desenvolver Controle do Processo e Transferir a Responsabilidade para Operação	30
4.1.2. – Controle da Qualidade.....	31
4.1.3. – Melhoria da Qualidade	32
4.2. PADRONIZAÇÃO	33
4.3. <i>FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS</i> (FMEA)	34
4.3.1. Planejamento	38
4.3.2. Análise das Falhas Potenciais.....	39
4.3.3. Avaliação dos Riscos	43
4.3.4. Melhoria	44
4.3.5. Continuidade da Análise FMEA	44

4.4. – BUSCA POR APLICAÇÃO DO FMEA PARA O CASO ESPECÍFICO	45
5. DISCUSSÕES E ADEQUAÇÕES PARA PROPOSIÇÃO DO NOVO FMEA	51
5.1. PADRONIZAÇÃO DO ROTEIRO DE FABRICAÇÃO	52
5.2. REVISÃO DOS ÍNDICES DAS TABELAS.....	54
5.2.1. Severidade	54
5.2.2. Ocorrência	56
5.2.3. Detecção	58
5.3. DIAGRAMA DO FLUXO DE PROCESSO	61
5.4. CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE PROCESSOS.....	64
6. ANÁLISE DE RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DO NOVO FMEA	67
6.1. ROTEIRO DE FABRICAÇÃO PRELIMINAR NO SAP.....	67
6.2. DIAGRAMA DO FLUXO DE PROCESSO	68
6.3. SELEÇÃO DOS PROCESSOS NA ÁRVORE DE PROCESSOS DO IQ-FMEA.....	69
6.4. ANÁLISE CRÍTICA DO COMPONENTE	70
7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O FMEA TRADICIONAL E O PROPOSTO	72
8. CONCLUSÕES	75
9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A – TABELA PARA ARQUIVAMENTO DAS INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DAS PUBLICAÇÕES	82
APÊNDICE B – LISTA DE PUBLICAÇÕES ANALISADAS NA PESQUISA DE LAURENTI (2010) RELACIONADOS AO NPR NÃO PRECISOS	83
APÊNDICE C – LISTA DE PUBLICAÇÕES ANALISADAS NA PESQUISA DE LAURENTI (2010) RELACIONADOS AO ESFORÇO PARA ELABORAÇÃO DO FMEA	99
APÊNDICE D – MODELO METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS 8D	116

1. INTRODUÇÃO

A norma ISO/TS 16949¹ estabelece que o FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) é um dos requisitos no desenvolvimento de novos produtos. No entanto, a aplicação do FMEA nas organizações é bastante questionada. De acordo com Wirth *et al.* (1996) e Tumer *et al.* (2003), o procedimento FMEA é considerado pela maioria das organizações como muito trabalhoso e bastante dispendioso em termos de custo e tempo. Entretanto, a necessidade de maior agilidade e flexibilidade no desenvolvimento de novos produtos diante da competitividade, aliados à importância da confiabilidade dos produtos e reduções de custos de desenvolvimento, as técnicas e métodos preventivos são cada vez mais aplicados durante a fase de planejamento dos processos. Nesse sentido, o FMEA é uma das ferramentas mais importantes e utilizadas para melhorar a confiabilidade de um produto (FERREIRA e TOLEDO, 2001), a qual, segundo Juran (2009), é, em essência, a probabilidade do produto continuar a funcionar durante um período especificado, em condições de operação também especificadas.

Apesar dessa relação, muitas organizações não conseguem enxergar o FMEA como uma ferramenta com grande potencial na identificação e mitigação de falhas potenciais, mas sim, como uma obrigação, uma exigência às normas e procedimentos organizacionais para atendimento aos requisitos de auditorias de qualidade e atendimento a especificações dos clientes (CEV, 2005 *apud* POSSO, 2007).

Para Tumer *et al.* (2003), esse estigma pode estar relacionado ao alto custo envolvido na elaboração do FMEA, devido ao tempo excessivo dispendido em sua correta elaboração, gerando uma baixa produtividade da equipe multifuncional. Esta evidência é corroborada pelo estudo realizado pelo Instituto McKinsey (2000) na segunda metade dos anos 1990 sobre a produtividade da mão de obra em diversos setores da indústria brasileira. Levando-se em consideração o referido estudo, a média geral dos setores estudados nas indústrias brasileiras é de apenas 27% da produtividade da mão de obra dos Estados Unidos, confirmando a proposição mencionada, o qual poderá ser superada através da adoção de práticas mais eficientes.

¹ A ISO/TS 16949 é um padrão internacional para sistemas de gestão da qualidade, mais especificamente para a indústria automotiva e tem como base a norma ISO 9001.

De acordo com Laurenti (2010), após consulta em 106 artigos científicos, os dois principais problemas da aplicação do FMEA são:

- 34,91% - Os valores do NPR² (Número Prioridade Risco) no FMEA não são confiáveis;
- 31,13% - Para a elaboração completa e correta do FMEA são gastos muito tempo e recursos.

Para Posso (2007, p. 64), o tempo para o preenchimento do método é dispendioso:

“O preenchimento do FMEA não é algo simples, nem rápido. Horas podem ser dispendidas para realizar uma análise, tornando o método pouco agradável e receptivo aos olhos dos participantes. Pode-se perder assim qualidade na análise principalmente nos tópicos que demandam algum tipo de levantamento ou histórico (por exemplo, o índice de ocorrência). Muitas vezes em reuniões de FMEA's, principalmente neste tópico, trabalha-se muito com o “achismo”, ou seja, com o que as pessoas pensam sobre o nível de ocorrência, sem embasamento histórico ou experiência”.

Sendo assim, esta pesquisa busca encontrar alternativas para corroborar com a solução destes problemas.

1.1. OBJETIVO

Levando em consideração que o FMEA é um requisito da indústria automobilística, o objetivo dessa pesquisa é investigar a forma atual de desenvolvimento e aplicação do FMEA de processos em uma indústria de autopeças e propor um novo método para a elaboração do FMEA de processos. Sendo assim, esta pesquisa pretende responder as seguintes questões:

- Seria possível desenvolver um método mais viável para a elaboração do FMEA de processos?
- Existe na literatura uma proposta de método mais eficaz para a elaboração do FMEA de processos?

O objetivo geral desse estudo é identificar os principais fatores que influenciam na morosidade para a elaboração do FMEA de processos na organização objeto desse estudo e propor melhorias para reduzir essas deficiências.

Como objetivo específico, a pesquisa deverá responder as seguintes questões:

² NPR é o produto dos três índices: severidade, ocorrência e detecção.

- Identificar ações que permitam reduzir o tempo de elaboração do FMEA de processos;
- Permitir a correta utilização do FMEA como uma ferramenta de predição.

1.2. JUSTIFICATIVA PARA O TEMA

A forte pressão por redução de custos, maior agilidade e flexibilidade no desenvolvimento de novos produtos, somados a forte concorrência no setor automobilístico e à disponibilidade de novos recursos tecnológicos, têm pressionado cada vez mais as organizações deste segmento a reduzir o tempo de desenvolvimento de novos projetos.

Isso, conseqüentemente, exige maior integração entre as áreas da empresa, pois diversas atividades são executadas simultaneamente com o objetivo comum de desenvolver produtos de qualidade com custos menores e no menor tempo possível.

Uma destas atividades é a elaboração do FMEA, o qual é considerado como trabalhoso e dispendioso em termos de custo e tempo para a maioria das organizações (LAURENTI, 2010; POSSO, 2007). Na empresa onde o processo foi investigado, sabia-se devido à participação do pesquisador, que para a elaboração do FMEA eram necessárias diversas reuniões com no mínimo duas horas de duração, envolvendo de 4 a 6 integrantes de áreas distintas da empresa. Além da dificuldade de agendamentos e tempo necessários às reuniões, somavam-se as incongruências quanto aos critérios de pontuação referentes à elaboração do FMEA, pois ocorriam interpretações pessoais que os tornavam dúbios, tornando os índices não confiáveis e inviabilizando assim a correta utilização do FMEA como uma ferramenta de predição de falhas.

Foi com base nessas evidências, ou seja, excessivas reuniões, divergências nos critérios de avaliação e perda de agilidade na elaboração do FMEA, que gerou a motivação para desenvolver um método, o qual foi idealizado por este estudo.

1.3. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO

Este estudo teve como foco a área de Engenharia de Processos de Manufatura, bem como as áreas de interface para a elaboração do FMEA de componentes para montagem de transmissões, mais especificamente o planejamento de processos de manufatura da família de Engrenagens.

Este estudo foi realizado em uma empresa multinacional de grande porte do setor metal mecânico e do segmento de autopeças, fabricante de componentes como Transmissões, Sistemas de Direção, Componentes de Chassis e Metal-Borracha presente nas maiores empresas automotivas do mundo. Esta empresa caracteriza-se pela produção de produtos, com alta tecnologia de fabricação empregada na manufatura de seus produtos com estrutura orientada por processos. O Quadro 1 descreve as principais características da empresa estudada.

Quadro 1 – Principais características da organização estudada

Empresa de autopeças	
Receitas no último ano	R\$1,87 bilhão
Número de funcionários da empresa	5200
Número de funcionários terceirizados	1900
Tipo de produção (TUBINO, 1997; SLACK <i>et al.</i> , 2002)	- pela natureza do produto. - manufatura de bens: quando o produto fabricado é tangível. - processos em lotes ou bateladas.
Negócios que a empresa pratica com a América do Norte	Manufatura
Negócios que a empresa pratica com a Europa	Vendas, manufatura, pesquisa e desenvolvimento.
Negócios que a empresa pratica com demais países	Vendas

Fonte: Elaboração própria

No entanto, por se tratar de uma pesquisa-ação, método no qual o pesquisador fica inserido na equipe de trabalho, o estudo foi limitado a uma única empresa, bem como, pelo alto custo e tempo envolvido no desenvolvimento do método proposto e o nível de maturidade necessário, tanto da empresa como da equipe envolvida para que o mesmo pudesse ser implementado.

1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em nove capítulos conforme representado na Figura 1:

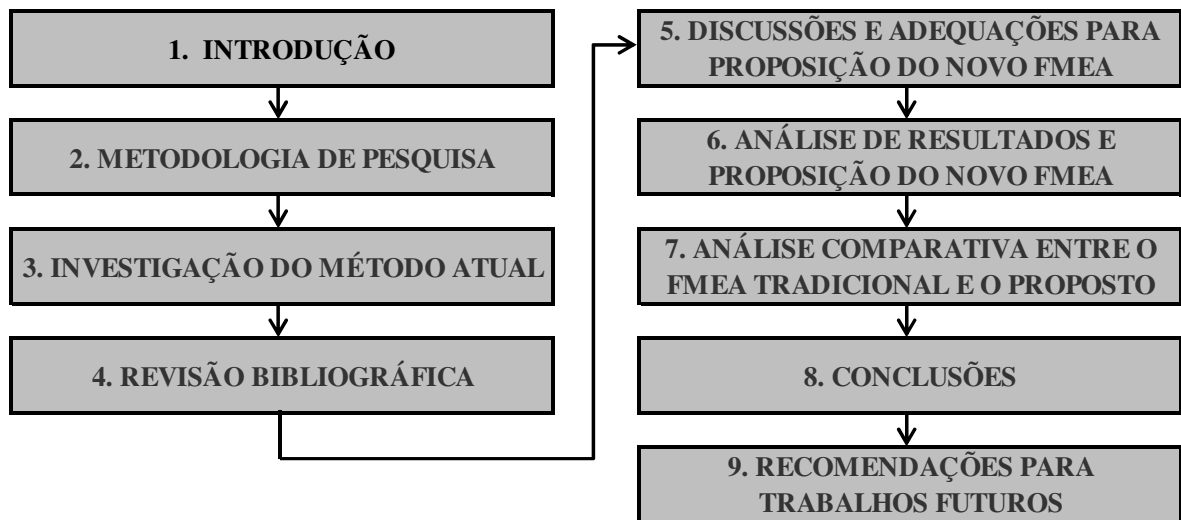


Figura 1 – Estrutura da Dissertação.

Fonte: Elaboração própria.

Neste primeiro Capítulo, apresentou-se a Introdução, contendo os objetivos da pesquisa, a justificativa para o tema de pesquisa descrevendo sua motivação e também a delimitação do escopo desse estudo.

No Capítulo 2, Metodologia de Pesquisa, descreve-se o método adotado e o ciclo da pesquisa-ação.

No Capítulo 3, Investigação do Método Atual, descreve-se o diagnóstico do método utilizado pela empresa, o sistema utilizado para a elaboração do FMEA, a composição da equipe multidisciplinar e as etapas para a elaboração do FMEA.

No Capítulo 4, apresenta-se a Revisão Bibliográfica contendo os conceitos fundamentais que serão tratados nessa pesquisa: conceitos sobre Qualidade e Confiabilidade, Padronização e o FMEA como sendo o principal objeto deste estudo.

No Capítulo 5, Discussões e Adequações para Proposição do novo FMEA, apresenta-se todo o desdobramento das ações envolvendo a pesquisa, foi desdobrada para o time do projeto na empresa com o suporte do pesquisador levando-se em consideração todo o ciclo da pesquisa-ação.

O Capítulo 6 apresenta-se a Análise de Resultados e Proposição do novo FMEA, descrevendo o passo a passo para a elaboração do FMEA com o novo método proposto.

No Capítulo 7 apresenta-se uma Análise Comparativa entre o FMEA Tradicional e o Proposto, contendo os principais benefícios alcançados com o novo método em comparação ao método tradicional.

No Capítulo 8, com as Conclusões são apresentados os benefícios atingidos pela pesquisa, bem como os benefícios adicionais que foram atingidos e inicialmente não faziam parte do escopo da pesquisa e também recomendações para trabalhos futuros.

E, finalmente no Capítulo 9, faremos algumas Recomendações para Trabalhos Futuros.

O Apêndice A é apresentado em formato de tabela para arquivamento das informações extraídas das publicações selecionadas durante a revisão bibliográfica contendo: título da publicação, os autores, tipo de fonte, local, ano, país, base de dados e um breve resumo da publicação.

O Apêndice B é composto pela lista de 37 publicações analisadas na pesquisa de Laurenti (2010) relacionados ao NPR não precisos, contendo o resumo da publicação e sua referência bibliográfica para facilitar a localização da publicação pelo leitor.

Da mesma forma, o Apêndice C apresenta a lista com 33 publicações analisadas na pesquisa de Laurenti (2010) relacionados ao esforço necessário para elaboração do FMEA, contendo o resumo da publicação e sua referência bibliográfica para facilitar a localização da publicação pelo leitor.

E, no Apêndice D temos um modelo da metodologia de solução de problemas 8D, onde é apresentado os passos a serem seguidos para sua elaboração, contendo a atividade, o objetivo e o conceito chave para cada etapa do processo.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Pesquisa para Gil (2002) é um procedimento racional e sistemático com o objetivo de proporcionar respostas para os problemas propostos através de procedimentos científicos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema, mas não se tem subsídios e informações suficientes ou disponíveis para resolvê-lo.

2.1. MÉTODO ADOTADO

Para o caso estudado, foi adotada uma pesquisa exploratória, pois permite maior flexibilidade em seu planejamento (GIL, 2002) com a metodologia de pesquisa-ação. Um projeto de pesquisa-ação é emergente, isto é, que emerge através do desdobramento de uma série de eventos como a questão designada é confrontada e tentativas de resolução pelos membros da organização com a ajuda do pesquisador (COUGHLAN e COGHLAN, 2002). Na pesquisa-ação, os pesquisadores desempenham um papel ativo na ponderação dos problemas encontrados, no acompanhamento e na avaliação das ações desencadeadas relacionadas aos problemas (THIOLLENT, 2002).

Conforme Coughlan e Coughlan (2002), para o pesquisador, a geração dos dados vem através do envolvimento ativo no dia a dia dos processos organizacionais relacionados com o projeto de pesquisa-ação. Os dados não são gerados apenas da participação e observação das equipes no trabalho, de problemas sendo resolvidos, decisões sendo tomadas, mas também através de intervenções que são feitas para avançar o projeto. Algumas dessas observações e intervenções são realizadas de maneira formal, através de reuniões e entrevistas e, outras vezes, são realizadas de maneira informal, durante o cafezinho, jantar ou atividades recreativas.

Conforme o método de pesquisa adotado, a pesquisa-ação, seu ciclo é composto das seguintes fases: 1- Coletar os dados; 2- Análise dos dados; 3- Planejar as ações; 4- Implementar as ações; 5- Avaliar os resultados, onde este ciclo era constantemente praticados.

Para cada atividade da pesquisa, o ciclo da pesquisa-ação era conduzido, conforme representado na Figura 2.

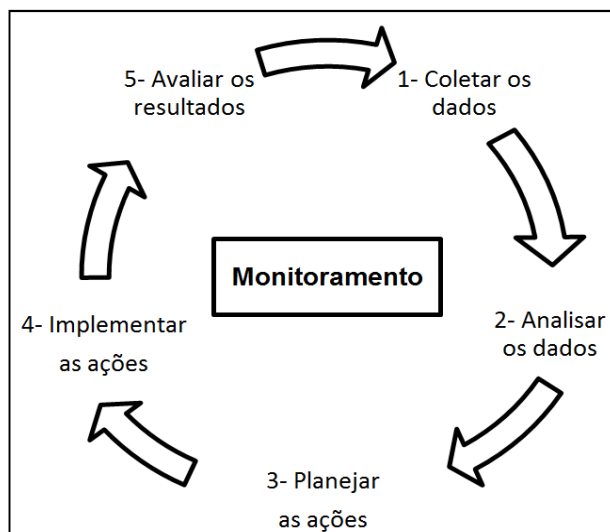


Figura 2 – Estrutura para condução da pesquisa-ação

Fonte: Adaptado de Coughlan e Coughlan (2002)

Durante a pesquisa, após várias reuniões entre a equipe com o suporte do pesquisador identificou-se outras necessidades de investigação, como a elaboração do FMEA de processos por família de produtos, visto que, este procedimento era praticado em outras empresas, clientes e fornecedores, conforme verificado pelo pesquisador. No entanto, este procedimento não se mostrou eficaz devido à diversidade de produtos dentro da própria família de produtos existentes na organização estudada, não sendo possível aplicar esta regra, visto que, existem produtos com a mesma denominação, porém com processos de fabricação distintos entre si, como exemplo podemos mencionar a família do eixo principal, onde para as transmissões tradicionais, o eixo principal não tinha denteado de engrenamento, o qual é aplicado para as novas transmissões, diferenciando-o completamente sua aplicação. A Figura 3 representa esta diferença.

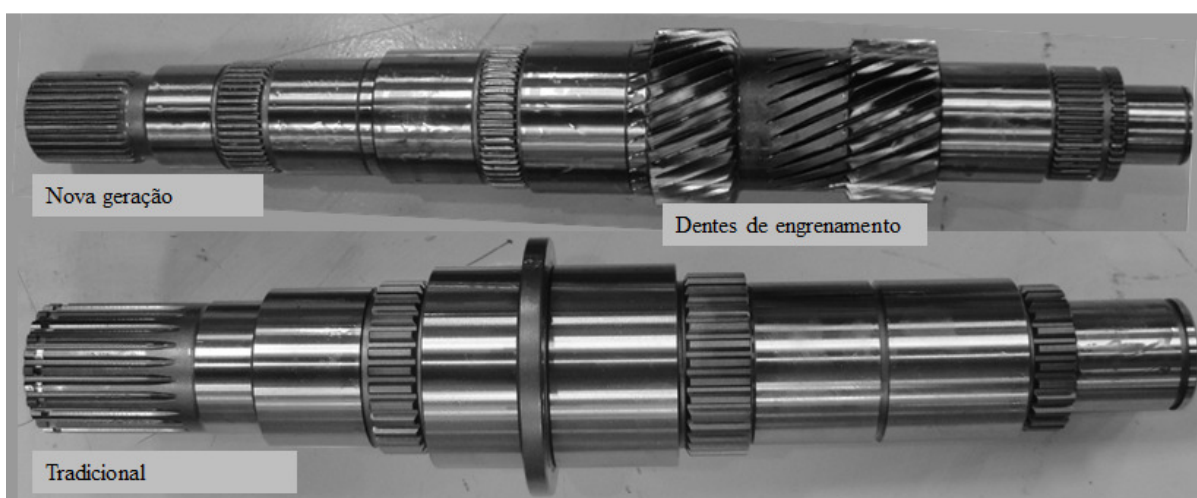


Figura 3 – Diferença entre Eixos com a mesma denominação.

Fonte: Elaboração própria.

Considerando a necessidade em buscar uma solução para a questão dessa pesquisa, o pesquisador passou a investigar as soluções existentes nas literaturas disponíveis nas bases de dados eletrônicas (*Science Direct, Scopus, Web of Science, IEEE Periodical e Emerald*), porém sem uma solução aparente e, nesse sentido, iniciou-se uma investigação sobre a possibilidade de elaborar o FMEA padrão por processos de fabricação, através do mapeamento de todos os processos de fabricação existentes na organização, pois os produtos com o mesmo processo de fabricação, em tese, sendo manufaturados na mesma máquina, com o mesmo ferramental e método de medição, poderiam ser avaliados da mesma forma. Esse foi o ponto de partida para o início da investigação e busca pela padronização.

3. INVESTIGAÇÃO DO MÉTODO ATUAL

A primeira etapa experimental realizada pelo pesquisador foi o diagnóstico do método atual, onde foi constatado que a empresa estudada fazia uso do FMEA tradicional, seguindo o fluxo de elaboração conforme o formulário descrito no manual de referência do FMEA 4ª Edição (AIAG, 2008). A Figura 4 representa esta atividade em formato de fluxograma.

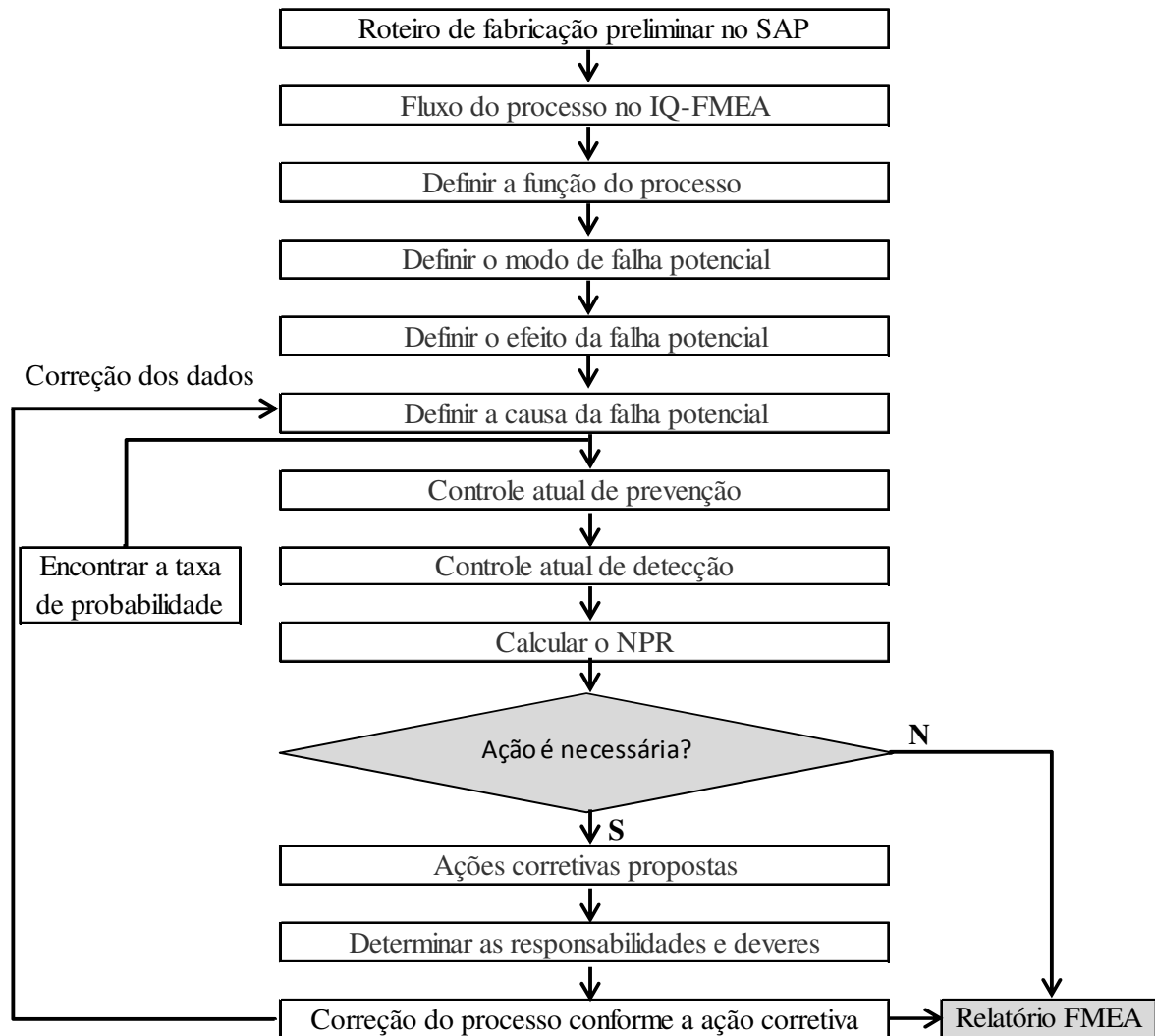


Figura 4 – Fluxograma com o método atual.

Fonte: Elaboração própria.

A organização estudada já utilizava o software IQ-FMEA para a elaboração do FMEA de processos e diagrama do fluxo de processo.

O software IQ-FMEA é um dos produtos para gerenciamento de riscos técnicos da família de software IQ (*Integrated Quality*) da empresa alemã APIS informationstechnologien GmbH que atua neste segmento desde 1992. Esta empresa é conhecida por seus softwares para gerenciamento de riscos técnicos com base no conhecimento. Estes softwares têm como principal objetivo suportar os usuários que trabalham com Gerenciamento de Riscos (FMEA,

Diagrama do fluxo de Processo, Plano de Controle), permitindo gerenciar os dados de maneira robusta e eficiente.

Os softwares foram desenvolvidos em ambiente Windows e com eles podem ser gerados diversos documentos, além do FMEA, tais como, planos de ação, matriz de risco, análise de pareto, diagrama de causa e efeito, árvores de falha e outras mais avaliações estatísticas. Os documentos podem ser formatados para atender as normas ISO/TS 16949, VDA, AIAG FMEA (4ª edição), entre outras.

A seguir, algumas das funcionalidades do IQ-FMEA:

- Estrutura do Sistema - o editor de estrutura mostra a estrutura do sistema em forma de árvore. Essa árvore mostra como o sistema global pode ser dividido em subsistemas. Para cada elemento do sistema, as funções e as falhas desse elemento podem ser exibidas;
- Rede de Função - as informações de causa e efeito para funções de uma estrutura e / ou projeto são armazenados em uma rede de funções. A rede mostra todas as causas e efeitos que são possíveis para uma determinada função do sistema;
- Rede de Falhas - as informações de causa e efeito para as falhas de uma estrutura e / ou projeto são armazenados em uma rede de falhas. A rede de falhas mostra todas as causas e efeitos que são possíveis para uma determinada falha do sistema;
- Diagrama de Causa e Efeito - O diagrama de causa e efeito combina a representação estrutura com a informação da rede de falhas. Ela mostra a posição das falhas individuais dentro da estrutura e, adicionalmente, para cada falha seus efeitos diretos e causas. A Figura 5 representa o diagrama de causa e efeito;

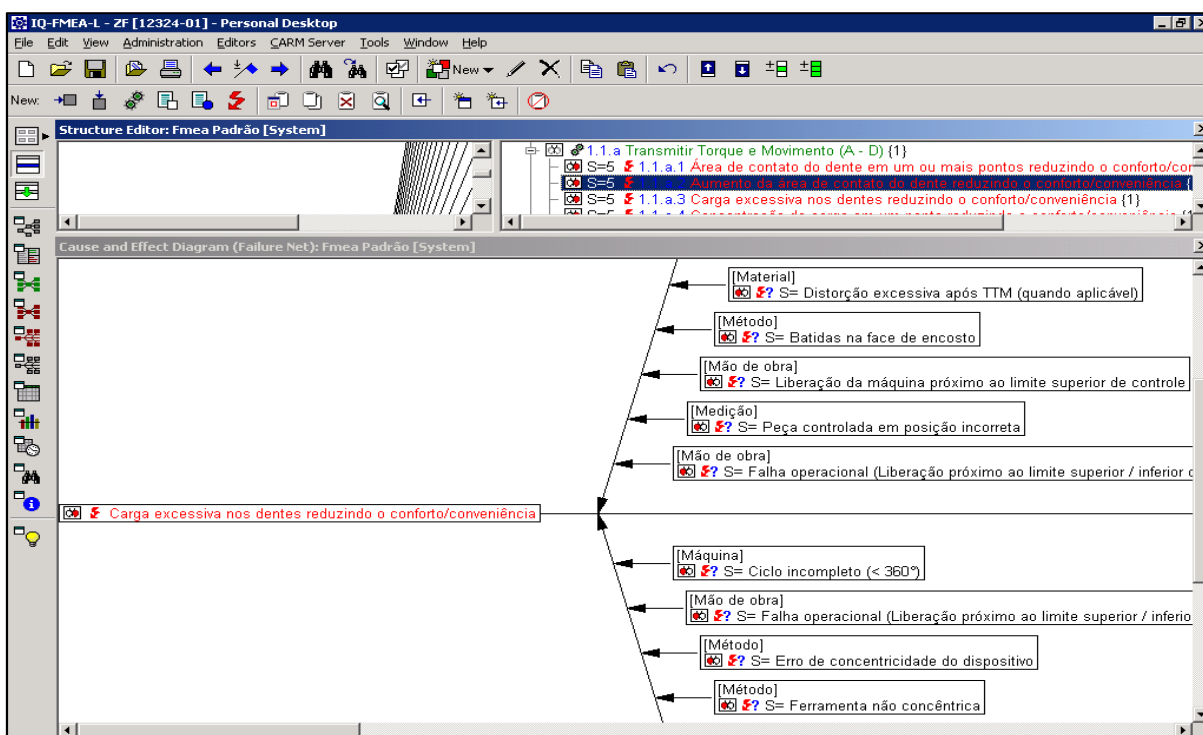


Figura 5 – Exemplo do diagrama de causa e efeito.

Fonte: Elaboração própria.

- Análise da Árvore de Falhas (FTA) – as árvores de falhas são provenientes da rede de falhas, e também contêm conexões lógicas (AND, OR, NOT) entre as falhas, bem como a probabilidade por meio de falhas elementares. Com esta informação, a árvore de falhas calcula a probabilidade das falhas mais relevantes;
- Formulário do FMEA - contém todas as informações provenientes da análise do FMEA, representada em diversos formatos, de acordo com as normas internacionais como VDA, AIAG, MIL entre outras. O software oferece ao usuário muitas possibilidades de edição de comentários, gráficos e podem ser armazenados e visualizados no formulário do FMEA;
- Acompanhamento do Prazo (Plano de Ação) - lista a pessoa responsável para cada ação individual, o prazo para a conclusão da atividade e qualquer outra informação adicional, bem como permite que seja enviada um e-mail para o responsável, facilitando assim o monitoramento das ações;
- Avaliações estatísticas - fornece números e gráficos baseados na avaliação de risco dentro do sistema. Existem várias opções de análises disponíveis, como: Análise de Pareto, Análise de frequência, Matriz de Risco conforme Figura 6, entre outras mais. Tem uma série de recursos poderosos de pesquisa e os resultados podem ser copiados para outros documentos existentes.

IQ-Explorer – similar ao Windows Explorer, ele armazena as informações existentes (FMEA) para que os mesmos possam ser pesquisados e reutilizados.

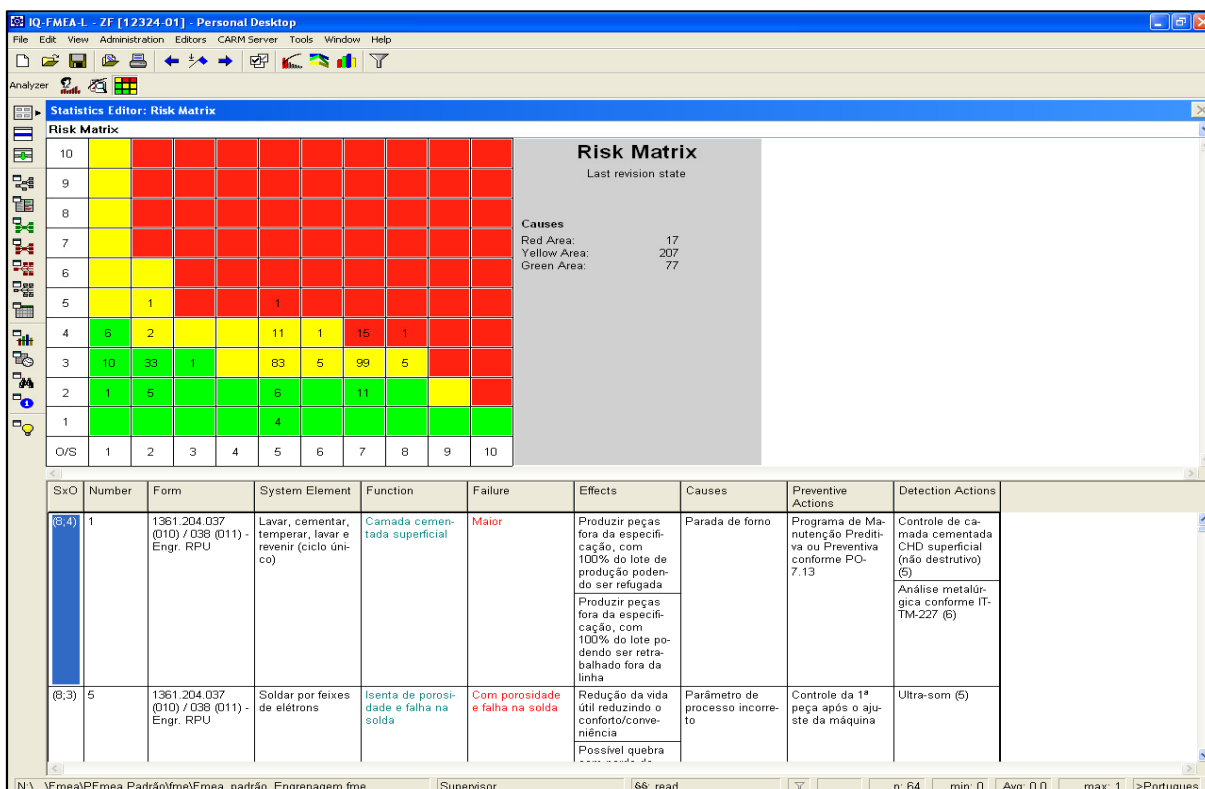


Figura 6 – Exemplo de matriz de risco.

Fonte: Elaboração própria.

O FMEA desenvolvido pela empresa tinha início com a formação da equipe multidisciplinar e o mesmo deve ser elaborado por esta equipe para se obter o melhor resultado. O responsável pelo FMEA selecionava os membros da equipe com experiência relevante, conhecimento e autoridade (AIAG, 2008). A equipe deve ser composta de cinco a nove pessoas, preferencialmente cinco (STAMATIS, 2003). Todos os membros da equipe devem ter algum conhecimento do produto, processo e método e deve conter representantes de todas as áreas afetadas (AIAG, 2008; STAMATIS, 2003).

O engenheiro de processos e o engenheiro de produto são importantes e não podem deixar de participar em nenhuma reunião, visto que devem ser os responsáveis pelo FMEA (STAMATIS, 2003). Adicionalmente, o responsável pelo FMEA convoca os especialistas do processo a ser avaliado. As áreas de interface também devem participar ativamente da elaboração do FMEA, pois para cada tópico do FMEA são requeridos recursos e experiências relevantes (AIAG, 2008).

A equipe do projeto na empresa era representada conforme a seguir: a qualidade, representado por integrantes da engenharia de qualidade e laboratório dimensional, pois deverá suportar a equipe na determinação dos controles atuais e preventivos, bem como na determinação dos índices de detecção; logística, representado por um planejador de logística para avaliar os impactos do fluxo de material, embalagens e meios de transportes envolvidos para cada produto; a manutenção por sua vez, era representada por um engenheiro de manutenção, pois a máquina é um dos itens avaliados para a determinação das causas, deve ser avaliado severamente, quanto a possíveis modos de falha; produção representada pelo engenheiro de produção e coordenadores de equipe, devido a forte influência da mão de obra no processo de fabricação, onde se devem priorizar ações que visam garantir a estabilidade do processo em detrimento à dependência e/ou interferência da mão de obra; a montagem representada pela engenharia de processos de montagem e setor de garantia por um técnico de pós-vendas, por ser o cliente interno, também faz parte da equipe, pois pode compartilhar com a equipe os problemas ocorridos com produtos similares. A Figura 7 representa a formação dessa equipe.

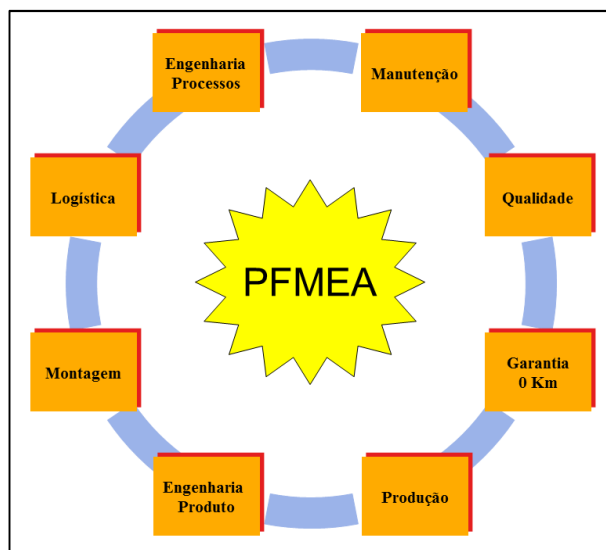


Figura 7 – Equipe com as áreas envolvidas.

Fonte: Elaboração própria.

Através da observação do método atual, o pesquisador constatou que para a elaboração de um FMEA completo de um componente, eram necessárias seis reuniões com a equipe multifuncional e com duração mínima de duas horas cada uma. Também foi observado, que o período necessário para a conclusão de um FMEA, nunca era inferior a oito semanas, onde esta observação pode ser comprovada através da comparação entre a data de início e conclusão dos relatórios. Também foi observada a dificuldade em se manter a mesma equipe durante todas as reuniões, devido a outras atividades concorrentes, conflito de agendas, bem como, o desenvolvimento de um novo produto é composto por vários componentes e os recursos são os mesmos.

Esta falta de regularidade entre os membros da equipe corrobora para o surgimento de outras variáveis durante as reuniões, pois poderia haver interpretações divergentes de avaliação e pontuação dos índices das tabelas de severidade (S), detecção (D) e ocorrência (O), sendo assim, dispendendo mais tempo para a conclusão do FMEA e desgaste na equipe devido a conflito de ideias.

Também pôde ser observado durante as reuniões, que não havia um entendimento e consenso na aplicação e interpretação das tabelas para a atribuição dos índices pelos membros da equipe, gerando opiniões divergentes e conseqüentemente, morosidade para atribuir os respectivos índices. Adicionalmente, estas divergências tornavam o cálculo do NPR não confiáveis.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica, foi realizado um levantamento dos principais assuntos abordados pela literatura relacionados à Qualidade e Confiabilidade, Padronização e FMEA como sendo o foco principal deste estudo.

4.1. QUALIDADE E CONFIABILIDADE

Para Juran (1999) a Qualidade deve ser tratada por três processos, também conhecido como a Trilogia de Juran, sendo eles: Planejamento da Qualidade, Controle da Qualidade e Melhoria da Qualidade. A seguir cada um destes processos será apresentado.

4.1.1. – Planejamento da Qualidade

Para Juran (1999) o Planejamento da Qualidade é um processo estruturado para o desenvolvimento de produtos (ou serviços), garantindo que as necessidades dos clientes sejam plenamente satisfeitas. Para tanto o autor apresenta os seguintes passos:

4.1.1.1.– Metas para Qualidade

A primeira atividade é estabelecer metas e desenvolver produtos e processos necessários para a sua realização, na qual essas metas podem ser táticas sob a forma de características do produto, do processo e características de controle do processo, ou podem ser estratégicas, nas quais são estabelecidas em níveis mais altos da organização e são desdobradas em seus planos de negócio.

4.1.1.2. – Identificar os Clientes

Os clientes são aqueles que serão impactados ou afetados pelo produto ou processo necessário para que as metas sejam atingidas. Os clientes podem ser definidos como: externos, aqueles que não fazem parte da empresa, mas de alguma forma serão impactados por suas atividades; e interno, são aqueles que fazem parte da empresa e também serão impactados por suas atividades.

4.1.1.3. – As Necessidades dos Clientes

Nessa etapa, o desafio é descobrir as necessidades do produto para os clientes interno e externo; e identificar quais são as necessidades mais importantes expressadas ou assumidas pelo cliente. Devemos levar em consideração dois aspectos importantes e complexos: o aspecto tecnológico, representado pelas características de desempenho do produto; e o aspecto

humano, expressando os benefícios que o cliente receberá usando um determinado produto ou serviço.

Descobrir as necessidades do cliente é uma tarefa bastante complexa, pois nem sempre o cliente consegue expressar exatamente suas necessidades. Uma das formas do cliente expressar suas necessidades é através dos problemas que tenha experimentado e as expectativas de que o produto irá solucioná-los. Sendo assim, mesmo quando o cliente não expressa suas reais necessidades torna-se uma grande dificuldade entender exatamente os benefícios esperados pelo cliente.

4.1.1.4. – Desenvolver as Características do Produto

Uma vez que as necessidades dos clientes são plenamente entendidas, estamos prontos para desenvolver o projeto do produto que irá satisfazer suas necessidades. O desenvolvimento de um novo produto não requer uma nova função ou departamento dentro da empresa, a maior parte das empresas já dispõe desta estrutura para desenvolver um produto e colocá-lo no mercado.

Nesse estágio do Planejamento da Qualidade, a atenção deve ser concentrada em como combinar os aspectos técnicos do desenvolvimento e o projeto apropriado para a empresa, pois deve-se sempre observar as características da empresa, sua afinidade e também a eficiência em custos.

Usualmente os projetistas são: Engenheiros, Analistas de Sistemas, Gerente de operações e muitos outros profissionais que podem contribuir com sua experiência, posição e conhecimento. As saídas desse processo podem ser por desenhos, modelos, procedimentos, especificações, etc. Em geral, nesse estágio os objetivos da qualidade são dois:

- Determinar quais são as características e metas que trarão o máximo de benefício para o cliente; e
- Identificar o que é necessário para que os projetistas possam entregar produtos sem deficiência.

4.1.1.5. – Desenvolver os Processos

Uma vez que o produto é desenvolvido, o próximo passo é determinar como esse será produzido em uma produção seriada, ou seja, o desenvolvimento do processo. O desenvolvimento do processo é uma sequência de atividades para definição dos meios específicos que serão usados pela manufatura para garantir a qualidade do produto. Muitos

processos podem ser desmembrados em unidades menores ou em operações de processos, sendo detalhados passo a passo sua descrição para a execução da atividade. Para que o processo seja efetivo, o mesmo deve conter objetivos mensuráveis e sistemáticos, com uma sequência de tarefas e atividades claramente definidos e todas as entradas e saídas claramente especificadas. Nessa etapa do desenvolvimento do processo temos onze atividades principais:

- Revisar as metas do produto;
- Identificar as condições de operação;
- Coletar informações disponíveis e processos alternativos;
- Selecionar os processos gerais;
- Identificar características e metas do processo;
- Identificar características e metas detalhadas do processo;
- Projetar para os fatores críticos e erros humanos;
- Otimizar as características e metas do processo;
- Projetar processos capazes;
- Elaborar relatório final das características e metas do processo;
- Elaborar relatório final do projeto do processo.

4.1.1.6. – Desenvolver Controle do Processo e Transferir a Responsabilidade para Operação

Nesse estágio, os planejadores desenvolvem controles para o processo, para que o processo possa ser transferido para a Operação. Existem sete atividades principais envolvidas nesse estágio:

- Identificar os controles necessários;
- Projetar a devolutiva;
- Otimizar o auto controle e auto inspeção;
- Estabelecer auditorias;
- Demonstrar que o processo é capaz e controlável;
- Planejar a transferência para a Operação;
- Implementar o plano e validar a transferência.

Concluído este planejamento, a responsabilidade pela manufatura é transferida para o time da Operação, onde este passa a ser o responsável pela fabricação e a entrega dos produtos de acordo com as metas de qualidade previamente definidas.

O Planejamento da Qualidade propõe o processo, métodos, ferramentas e técnicas para resolver cada um desses componentes, garantindo que a diferença entre o planejado e o real seja minimizada e a qualidade final seja plenamente satisfeita.

4.1.2. – Controle da Qualidade

O Controle da Qualidade é um processo de gestão universal para a condução das Operações e é a garantia da sua estabilidade, prevenindo as mudanças adversas e preservando o alto nível de qualidade. Para manter a estabilidade, esse processo avalia sua performance atual, compara com as metas de Qualidade e propõe ações para corrigi-las e garantir o alcance das metas.

O Controle da Qualidade é um dos três processos gerenciais básicos, através do qual se pode fazer sua gestão. Esse processo concentra-se na zona de controle, conforme Figura 8 abaixo.

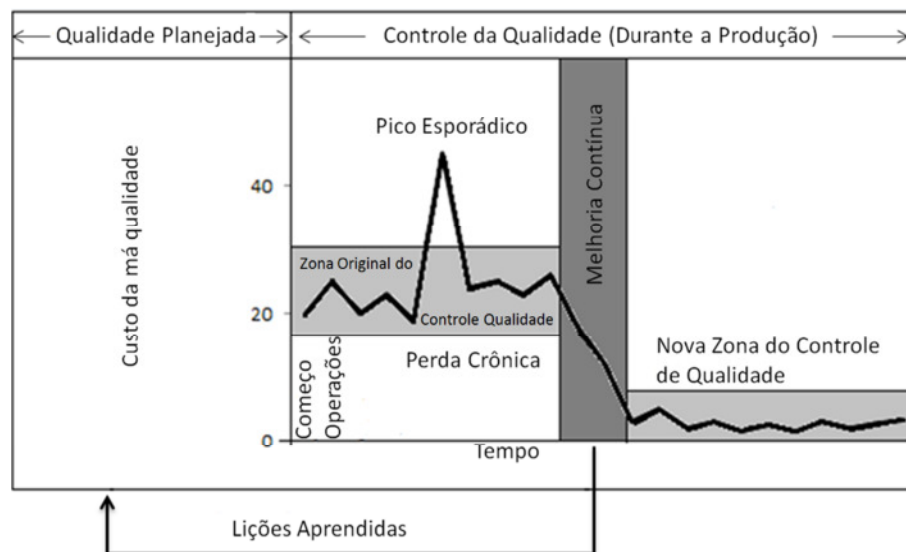


Figura 8 – Diagrama da Trilogia de Juran.

Fonte: Adaptado de Juran, 1999.

Podemos observar na Figura 8 que, embora a zona original do controle da qualidade esteja na parte inferior do gráfico, ainda estamos com o custo da má qualidade em um nível de desperdício inaceitável, sendo assim é necessário buscar melhorias, através de processos de melhoria contínua com o objetivo de reduzir estes desperdícios e alcançar novos níveis de desempenho de Qualidade. Após implementar as ações de melhorias, uma nova zona do controle da qualidade é atingido, com um novo nível de performance e igualmente importante, é estabelecer novos critérios e meios de controle para garantir e prevenir a deterioração desse novo nível.

4.1.3. – Melhoria da Qualidade

O propósito da Melhoria da Qualidade é estabelecer um processo contínuo de melhoria, ano após ano e definir um plano de ação e regras para seu cumprimento, incluindo a alta administração da organização. Existem duas formas de benefícios para a qualidade: a característica do produto que pode melhorar a satisfação do cliente, onde estas empresas são orientadas para o lucro; e livre de deficiências, podendo evitar a insatisfação do cliente e desperdícios crônicos. Estas empresas são orientadas para o custo.

As melhorias da qualidade para aumentar o lucro podem consistir em ações como:

- Desenvolver produtos para criar novas características que aumentarão a satisfação do cliente e conseqüentemente poderão aumentar o lucro;
- Melhoria nos processos que podem reduzir o tempo de resposta fornecendo melhor assistência ao cliente.

As melhorias da qualidade para redução das deficiências e desperdícios crônicos, consistem em ações como:

- Aumento da produtividade dos processos de manufatura;
- Redução das taxas de falha;
- Redução das falhas de campo.

As melhorias da qualidade para aumentar o lucro tem início com a determinação de novas metas, como produtos providos de novas características, redução de tempo de ciclo, etc..

Já para a redução dos desperdícios crônicos o foco está concentrado na identificação da causa e solução para o referido problema, aplicando ações para sua remoção. Destaca-se que, a Melhoria da Qualidade, é o foco da presente pesquisa.

Qualidade para Juran (2009) pode ser definida de duas formas: as características do produto, pois aos olhos dos clientes, quanto melhores as características do produto, mais alta sua qualidade; e a outra seria a ausência de defeitos, da mesma forma aos olhos dos clientes isto significa melhor qualidade. A qualidade de um produto está intrinsecamente ligada ao processo de fabricação que o mesmo foi manufaturado, pois o processo certo produzirá os resultados certos (LIKER, 2005). Já para Crosby (1999), Qualidade nada mais é do que cumprir o que havia sido prometido, ou seja, entregar ao cliente (interno ou externo) exatamente o que ele pediu.

A alta qualidade dos produtos trazem outros benefícios à organização, além dos percebidos pelos clientes, pois a busca incessante pela melhoria contínua dos produtos e serviços eleva o desempenho do setor produtivo, reduzindo os custos, aumentando a produtividade e eficiência da produção (SLACK *et al.*, 2002). A Figura 9 representa alguns benefícios a serem alcançados com o aumento da qualidade.

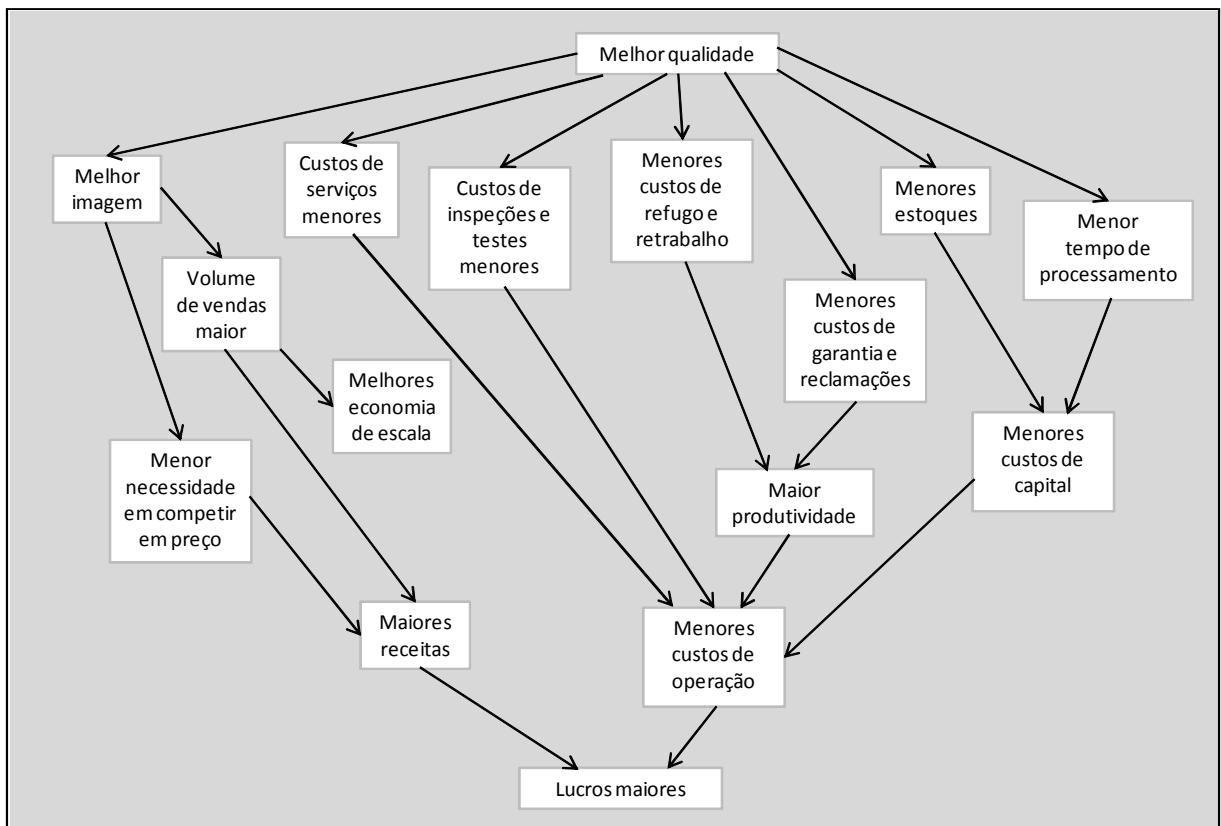


Figura 9 – A maior qualidade tem um efeito benéfico tanto sobre receitas como sobre os custos.

Fonte: Adaptado de Slack *et al.*, 2002.

A confiabilidade pode ser considerada como uma dimensão da qualidade, pois este também é um fator de extrema importância para os clientes, pois se um produto falha, gera uma insatisfação ao cliente ao privá-lo do uso do seu bem ou serviço durante certo período de tempo, ainda que o mesmo esteja coberto pelo período de garantia do produto e seja consertado pela assistência técnica do fabricante. Para Toledo *et al.* (2013), confiabilidade de um produto é a probabilidade deste desempenhar sua função especificada, durante certo intervalo de tempo e sob determinadas condições de uso para a qual foi concebido.

4.2. PADRONIZAÇÃO

A padronização é uma meta a ser perseguida pelas organizações bem sucedidas, pois facilita o controle dos processos, a qualificação e o desenvolvimento da equipe a novas

tecnologias, gerando um padrão de qualidade que é reconhecido pelos clientes, aumentando assim sua satisfação e possibilitando uma melhor utilização dos ativos e recursos, permitindo reduzir os custos e eliminar os desperdícios que não agregam valor ao produto.

De acordo com Liker (2005), no Sistema Toyota de Produção, a padronização e a inovação são vistas como os dois lados da mesma moeda, fundindo-as de modo a dar origem a uma grande continuidade.

Para Rath & Strong (2002), a padronização permite que a qualidade se mantenha em uma base sustentável. Padronização é ter certeza de que os elementos importantes para um processo sejam trabalhados consistentemente e da melhor maneira possível e as alterações somente serão efetuadas quando se estabelece um novo padrão e melhor.

Vale destacar que uma grande parcela da variabilidade dos processos produtivos poderiam ser evitados se as tarefas forem executadas da mesma forma, ou seja, se forem padronizadas entre turnos, equipes, operadores, etc., como consequência esse alinhamento poderá contribuir ativamente para a melhoria dos custos, qualidade, cumprimento dos prazos e segurança (WERKEMA, 2006).

4.3. *FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS* (FMEA)

FMEA é a abreviação de *Failure Mode and Effects Analysis* que significa em português Análise do Modo e Efeitos de Falha e pode ser entendido como uma metodologia analítica usada para garantir que os modos de falhas potenciais tenham sido considerados e endereçados durante o processo de desenvolvimento de produto ou processo (AIAG, 2008; Miguel, 2006). O FMEA tem sido usado com o objetivo de melhorar a satisfação dos clientes e reduzir as não conformidades (STAMATIS, 2003). No entanto, isso não significa que o FMEA está sendo usado corretamente e seus benefícios estão sendo plenamente alcançados, pois o FMEA é visto como uma metodologia que consome muito tempo para a sua correta elaboração (WIRTH *et al.*, 1996). Um dos aspectos mais limitantes no FMEA é a falta de um vocabulário padronizado para descrever a funcionalidade e precisão do modo de falha sem ambiguidade (STAMATIS, 2003).

O FMEA tornou-se uma importante metodologia para prevenir problemas de qualidade dos produtos reduzindo as falhas e aumentando a confiabilidade (FERREIRA e TOLEDO, 2001). Na indústria automotiva, o FMEA passou a ser requisito obrigatório das normas de qualidade e requisitos específicos dos clientes para o desenvolvimento de produtos, como por exemplo, a norma ISO/TS 16949. Dessa forma, FMEA deve ser utilizado em todas

as fases do ciclo de vida do produto tais como: projeto, produção, montagem, embalagem, transporte, uso pelo cliente, bem como reciclagem e descarte final.

Um dos pontos mais importantes para a correta utilização da metodologia é a sua elaboração o mais cedo possível, antes de sua implementação, durante ainda a fase de planejamento do produto/processo (VDA, 2006). O FMEA permite que problemas potenciais evidentes possam ser analisados e possíveis defeitos possam ser identificados antes que estes sejam transferidos ao cliente final, permitindo que seus efeitos no sistema possam ser estudados e as decisões mais assertivas sejam tomadas (PUENTE *et al.*, 2002).

Segundo Stamatis (2003) existem quatro tipos de FMEA:

- FMEA de sistema (*System FMEA*) – Usado para analisar sistemas e subsistemas no início do desenvolvimento do conceito e do projeto. Um FMEA de sistema foca nos modos de falhas potenciais causados entre a função do sistema e suas deficiências. Isto inclui as interações entre sistemas e entre elementos do sistema;
- FMEA de produto (*Design FMEA*) – Usado para analisar produtos antes que eles sejam liberados para a manufatura. Um FMEA de produto foca nos modos de falha causados por deficiências do projeto do produto;
- FMEA de processo (*Process FMEA*) – Usado para analisar processos de manufatura e montagem. Um FMEA de processo é focado nos modos de falha causados por deficiências no processo de fabricação ou de montagem;
- FMEA de serviço (*Service FMEA*) – Usado para analisar serviços antes de eles chegarem ao cliente. Um FMEA de serviço foca em modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados por deficiências do sistema ou do processo.

Na Figura 10 abaixo podemos observar os relacionamentos entre eles. O FMEA é considerado uma ferramenta para a avaliação e priorização de riscos, na qual utiliza o conceito de Severidade (S), Ocorrência (O) e a Detecção (D) como componentes para a avaliação, resultando no Número de Prioridade de Risco (NPR). O NPR é o resultado do produto dessas três variáveis ($NPR = (S) \times (O) \times (D)$), no qual irá definir e priorizar as ações para reduzir ou eliminar o risco de falha potencial.

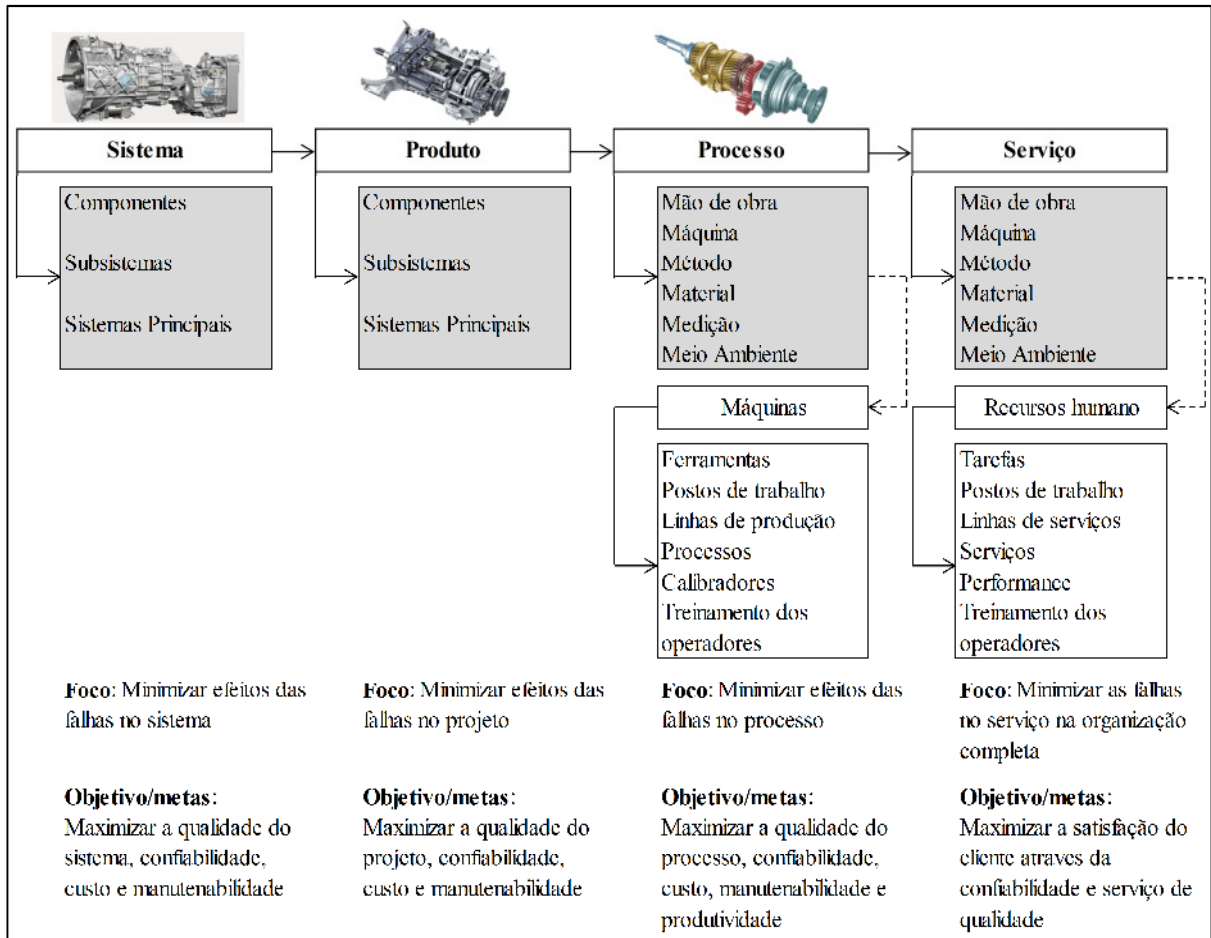


Figura 10 – Relacionamento entre os tipos de FMEA.

Fonte: Adaptado de Stamatis (2003).

Para Stamatis (2003) um bom FMEA deve:

- Identificar os modos de falha conhecidos e potencial;
- Identificar a causa e efeitos para cada modo de falha;
- Priorizar os modos de falha identificados de acordo com o número de prioridade de risco (NPR) – o produto da frequência de ocorrência, severidade e detecção;
- Prover ações corretivas e acompanhar a solução dos problemas.

Slack *et al.* (2002) sugerem que o FMEA seja construído em torno de três perguntas chaves:

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

A seguir, no Quadro 2 tem-se um exemplo do formulário usado para a elaboração de FMEA pela equipe. Este formulário contém os requisitos mínimos esperados pelas indústrias automotivas.

Quadro 2 – Exemplo do formulário para a elaboração do FMEA.

ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA POTENCIAL
FMEA DE PROCESSO

FMEA Número **A**

Item **B**

Responsável pelo Processo **C**

Página **H**

Ano Modelo(s) Veículo **D**

Preparado por: **F**

Equipe: **G**

Data Chave **E**

Data FMEA

1	2	3	4	5	6	7		8	9	10							
						SEVERIDADE	CLASSIFICAÇÃO			Causa Potencial da Falha	OCORRÊNCIA	Processos Atuais	Resultados das Ações				
Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	SEVERIDADE	CLASSIFICAÇÃO	Causa Potencial da Falha	OCORRÊNCIA	Controles Atuais do Processo Prevenção	Controles Atuais do Processo Detecção	NPR	Ações Recomendadas	Responsável e Prazo	Ações Tomadas	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	DETECÇÃO	NPR	

Fonte: Adaptado de AIAG (2008).

Toledo *et al.* (2013) definiram como cinco as etapas para a elaboração do FMEA: planejamento, análise de falhas em potencial, avaliação dos riscos, melhorias e continuidade da análise FMEA. Cada uma dessas etapas será descrita a seguir.

4.3.1. Planejamento

Esta etapa é realizada pelo responsável pela aplicação da metodologia e pelo produto a ser avaliado que compreende as seguintes atividades:

- Descrição dos objetivos e abrangência da análise: identificação detalhada dos produtos ou processos que serão analisados;
- Formação da equipe de trabalho: definição dos integrantes da equipe, que deve ser preferencialmente pequeno (formado por 4 a 6 pessoas) e multidisciplinar (constituído por pessoas de diversas áreas dependendo da natureza do objeto). Destaca-se que devido a grande complexidade do produto podem ser requeridas mais pessoas e/ou mais especialidades;
- Planejamento das reuniões: as reuniões devem ser agendadas com antecedência e com o consentimento de todos os participantes para evitar paralisações. Mesmo com o aceite dos integrantes, muitas vezes os mesmos são consumidos por problemas do dia a dia o que justifica a necessidade de se convocar um número maior de participantes para compensar algumas ausências durante as seções de FMEA;
- Preparação da documentação: uma série de documentos como a lista de peças, FMEA de produto da peça, desenhos de fabricação, plano de controle, estudos estatísticos de processo, capacidade das máquinas envolvidas, entre outros são necessários para uma equipe de análise de FMEA; Também nesta etapa é preenchido o cabeçalho do formulário do FMEA (campos de A-H):
 - Identificação do Número do FMEA (A) – Normalmente é utilizado um número alfanumérico usado para identificar e controlar o documento;
 - Item (B) – Pode ser usado nome ou números para identificar um sistema, subsistema ou componente o qual será analisado;
 - Responsável pelo processo (C) – No FMEA deve ser preenchido com o nome do responsável pelo produto a ser analisado;
 - Ano / modelo(s) veículo (D) – Neste campo deve ser mencionado o modelo ou programa que será afetado pelo processo analisado;

- Data chave (E) – Neste campo é informada a data inicial do FMEA, o qual nunca deve exceder a data do início da produção e nem a data da submissão do PPAP³ para o cliente;
- Data do FMEA (F) – É a data original de quando foi concluído o FMEA e a última revisão;
- Equipe (G) – Neste campo são informados os membros da equipe;
- Preparado por (H) – Neste campo é informado nome do responsável pela elaboração do FMEA.

4.3.2. Análise das Falhas Potenciais

Esta etapa é realizada pela equipe do FMEA que discute e preenche a parte inicial do formulário descrevendo os seguintes elementos:

- Função e característica do produto ou processo (1) – Descreve a função do processo correspondente para cada processo ou operação a ser analisada. A função do processo deve descrever o propósito ou intenção da operação. Para que a função do processo seja eficaz, é necessário que a descrição seja bem detalhada através de uma frase concisa, que não seja “jargão”. É recomendável escrever na forma verbo de ação mais substantivo adequado, pois o verbo de ação define performance, que por sua vez define função;
- Modo da falha potencial (2) - O modo de falha potencial pode ser entendido como um problema, defeito, não conformidade ou maneira pela qual a função do processo potencialmente falharia ao atender os requisitos do processo e/ou objetivo do projeto. O modo de falha potencial pode também ser entendido como sendo uma perda de função do processo, ou seja, uma falha específica. É recomendável escrever cada modo de falha da função do processo de modo bem específico, pois desta forma serão maiores as possibilidades para identificar suas causas e efeitos. Devem ser considerados todos os modos de falha que possam ocorrer, mesmo aqueles que tenham pouca possibilidade. A ênfase está em determinar como a função do processo pode possivelmente falhar, e não se irá falhar. O modo de falha potencial é uma descrição de uma não conformidade em uma operação específica, que pode estar associada com o modo potencial de falha de uma operação subsequente (saída da operação) ou ao efeito associado a uma

³ PPAP: *Production Parts Approval Process* (Processo de aprovação de peças de produção).

falha potencial de uma operação anterior (entrada da operação). Porém, na preparação do estudo de FMEA é suposto que os materiais ou peças vindos de operações anteriores estão corretos. Exceções podem ser feitas caso seja constatado que dados históricos indiquem deficiências na qualidade do produto proveniente de operações anteriores. As perguntas que devem ser feitas para determinar os modos de falha são: "Como o processo ou peça montada pode falhar ao atender as especificações?" e "Além das especificações de engenharia, o que um cliente (usuário final, operações subsequentes ou assistência técnica) consideraria como falha?" É necessário comparar processos similares e analisar criticamente reclamações dos clientes (usuário final e operações subsequentes) relativas aos componentes similares. Adicionalmente, é necessário conhecer o objetivo do projeto. O modo de falha apresenta-se como uma situação concreta, em geral fisicamente observável. É recomendável que os modos potenciais de falha sejam escritos em termos físicos ou técnicos, e não como um sintoma evidenciado pelo cliente (HIRAYAMA, 2005);

- Efeito potencial da falha (3) - O efeito potencial da falha é definido como o impacto do modo de falha no cliente. No caso do cliente sendo o usuário final do produto, o efeito potencial da falha geralmente é formulado em termos do desempenho do sistema ou produto, enquanto que no caso do cliente sendo uma operação subsequente do processo de manufatura, uma operação de reparo ou de assistência técnica, o efeito potencial da falha é formulado em termos do desempenho da operação / processo. É necessário definir claramente se o modo de falha poderia influenciar na segurança do usuário final do produto ou do operador do processo. Em seguida, é necessário identificar o impacto sobre os requisitos do cliente, descrevendo os efeitos da falha em termos do que seria observado ou experimentado pelo cliente (AIAG, 2008). As perguntas que geralmente são feitas para levantar os efeitos potenciais da falha são: "O que o cliente experimenta como resultado do modo de falha descrito?" e "O que acontece ou quais são os desdobramentos deste problema ou falha?" Os documentos geralmente utilizados para identificar os efeitos potenciais da falha são dados históricos, documentos de garantia, reclamações de clientes, estudos anteriores de FMEA, etc. (STAMATIS, 2003). Uma consideração importante sobre o efeito da falha é que o engenheiro de processo deve interagir com o engenheiro de produto para descrever corretamente os efeitos de uma falha potencial do processo no componente do produto,

processo ou montagem (STAMATIS, 2003). Alguns exemplos de efeitos do modo de falha no usuário final do produto são: Ruído ou barulho, falha intermitente, vazamento, aparência desagradável, etc. Alguns exemplos de efeitos do modo de falha sobre a operação seguinte são: não fixa no dispositivo, danifica a máquina ou equipamento, danifica a ferramenta, coloca em risco a integridade física do operador, provoca interrupção do fluxo, conseqüentemente perda de produtividade, etc.;

- Causa potencial da falha (5) - A causa potencial da falha é definida como uma indicação pela qual a falha pode ocorrer, relacionada com alguma coisa que deve ser corrigida ou controlada para liquidar a falha (AIAG, 2008). Em outras palavras, a causa potencial da falha pode ser entendida como a deficiência no processo que resulta no modo de falha. É necessário descobrir a causa raiz da falha, e não o sintoma que a falha apresenta (STAMATIS, 2003). É necessário listar da forma mais completa possível todas as causas de falha para cada modo de falha potencial. Para que isto seja feito é necessário conhecer bem o processo e o produto que está sendo produzido. Em seguida, são feitas perguntas para especificar bem as causas raízes da falha, tais como: "De que forma este sistema falha ao executar a função desejada?" "Quais circunstâncias podem causar a falha?" ou "Como ou por que o componente pode falhar ao atender as especificações de engenharia?". É recomendável que a equipe utilize técnicas como o 5 por quês, brainstorming e o diagrama de causa e efeito para levantar todas as causas raízes das falhas. A seguir são listados alguns exemplos de causas de falhas típicas:
 - Torque indevido – alto, baixo;
 - Solda incorreta – corrente (amperagem), tempo, pressão;
 - Falta de exatidão dos meios de medição;
 - Tratamento térmico incorreto – tempo, temperatura;
 - Fechamento ou ventilação inadequados;
 - Lubrificação inadequada ou sem lubrificação;
 - Peça faltante ou montada inadequadamente;
 - Posicionador gasto ou lascado;
 - Ferramental gasto ou quebrado;
 - Preparação inadequada da máquina;
 - Programação inadequada.

Devem ser listados somente erros específicos (por exemplo: operador erra ao posicionar o dispositivo de montagem), ao invés de frases genéricas ou ambíguas (por exemplo: erro do operador, mau funcionamento da máquina, etc.). Um grande benefício do FMEA é a identificação dos modos de falha potenciais causadas tanto pelo processo quanto por interações entre os componentes. Essas interações podem envolver fatores humanos que também necessitam ser considerados. Para modos de falha com severidade dos efeitos elevados (entre 8 a 10) é necessário aumentar os esforços para identificar a maior quantidade de causas possíveis.

- Controles atuais (7) - São descrições dos controles que podem detectar ou prevenir, na medida do possível, a ocorrência do modo de falha ou do mecanismo / causa da falha. Estes controles podem ser os controles de processo como o Controle Estatístico de Processo (CEP), dispositivos a prova de erros ou verificações após o processo. A avaliação pode ocorrer na própria operação, ou em operações subsequentes. O foco está na eficiência do método de controle detectar os problemas para que eles não cheguem até o consumidor. Existem dois tipos de Controles de Processo: a prevenção e a detecção. A prevenção previne a ocorrência do mecanismo / causa do modo de falha, ou que reduz o seu índice de ocorrência. A detecção detecta o mecanismo / causa do modo de falha e conduz a ação corretiva. É recomendável utilizar preferencialmente os controles de prevenção sempre que possível. Os índices de ocorrência iniciais serão reduzidos devido aos controles de prevenção desde que eles sejam incorporados como parte do objetivo do projeto. Os índices de detecção iniciais serão baseados nos controles de processo que detectem o mecanismo / causa da falha ou modo de falha. O formulário de FMEA de (AIAG, 2008) contém duas colunas para os controles de processo, sendo que uma é destinada para os Controles de Prevenção e a outra para os Controles de Detecção. Isto auxilia a equipe em distinguir claramente estes dois tipos de controles de processo, para verificar se ambos os tipos de controle foram considerados.

Normalmente, somente para o preenchimento desses campos são necessários até duas reuniões, pois dependendo da equipe, diferentes percepções eram diagnosticadas, gerando divergências entre os participantes e conseqüentemente tornando o trabalho moroso e, muitas vezes, tedioso devido à dificuldade para encontrar o consenso.

4.3.3. Avaliação dos Riscos

Nesta etapa são definidos pela equipe os índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos:

- A Severidade (4) - Mede a gravidade do efeito da eventual ocorrência da falha. É uma classificação associada ao efeito mais grave para um dado modo de falha. Para esta classificação, é necessário escolher o campo que melhor caracteriza o efeito analisado, tanto para o usuário final do produto como para operações subsequentes, produtividade ou operador. Caso um modo de falha tenha efeitos para os dois tipos de clientes do processo, deve-se utilizar o caso mais grave. Para fazer a classificação do índice de severidade é utilizada uma tabela que contém uma escala que varia de 1 a 10. Quanto maior o valor, mais grave é o efeito do modo de falha. A classificação do critério de severidade do FMEA sugerido por (AIAG, 2008) está representada no Quadro 6 no campo “Severidade conforme FMEA 4ª Edição” e recomenda não modificar o critério de classificação para valores de severidade 9 e 10 devido à gravidade do efeito do modo de falha. Por outro lado, modos de falha com índice de severidade 1 não necessitam mais ser analisados. Uma redução no índice de severidade só pode ser feita através de uma alteração no projeto do produto ou através de um novo projeto para o processo (STAMATIS, 2003);
- A Ocorrência (6) – Mede a probabilidade que essa falha ocorra. Para fazer a classificação do índice de ocorrência é utilizada uma tabela que contém uma escala que varia de 1 a 10, levando-se em consideração a taxa de falhas, conforme representado no Quadro 9;
- A Detecção (8) – Aumenta com a dificuldade de detectar-se a falha. Também para fazer a classificação do índice de detecção é utilizada uma tabela que contém uma escala que varia de 1 a 10, onde o maior número na escala determina a maior dificuldade em se detectar uma falha, conforme representado no Quadro 11 no campo “Detecção conforme FMEA 4ª Edição”.

Estes valores são empregados para calcular o Número de Prioridade de Risco (NPR), por meio da multiplicação desses três valores.

Quando a equipe estiver avaliando um índice, os demais não podem ser levados em consideração, ou seja, a avaliação de cada índice deve ser independente. Por exemplo, se o índice de severidade está sendo avaliado para uma determinada causa, cujo efeito é

significativo, não podemos colocar um valor mais baixo para este índice somente porque a probabilidade de detecção seja alta. Também vale ressaltar que o ideal é que cada empresa tenha seus próprios critérios de avaliação adaptados a realidade da organização.

Como não existe um critério de avaliação adaptado para a realidade da organização estudada, durante as definições dos índices (severidade, ocorrência e detecção) existia muita dificuldade em encontrar um resultado comum entre os participantes, pois cada um tinha a sua percepção e entendimento para cada uma das variáveis, despendendo muito tempo adicional.

4.3.4. Melhoria

Nesta etapa, a equipe usa todo o seu conhecimento, lista todas as ações que podem ser realizadas para diminuir os riscos. Estas medidas podem ser:

- prevenção total ao tipo de falha;
- prevenção total de uma causa de falha;
- ações que dificultam a ocorrência de falhas;
- ações que limitem o efeito do tipo de falha;
- ações que aumentam a probabilidade de detecção do tipo ou da causa de falha.

Estas ações propostas são analisadas quanto a sua viabilidade (técnica e econômica), sendo então definidas as que poderão ser implantadas. Uma forma de se fazer o controle e o acompanhamento da implementação e dos resultados dessas ações é pelo próprio formulário FMEA, por meio das colunas onde ficam registradas as ações recomendadas pela equipe, o nome do responsável e o prazo. Posteriormente devem ser registradas as ações que realmente foram tomadas, para que se proceda a nova avaliação dos riscos após a efetivação das ações de melhorias propostas e conseqüentemente, validar a eficácia da ação.

4.3.5. Continuidade da Análise FMEA

O FMEA deve ser considerado como uma ferramenta “viva”, portanto, deve ser realizada uma nova análise sempre que o produto ou processo sofrer alguma alteração. Mesmo que não haja alterações no produto ou processo, regularmente deve ser revisado o documento para confrontar as falhas potenciais consideradas e previstas pela equipe com a situação real, permitindo que novas falhas possam ser incorporadas e avaliadas pela equipe. Com o atual método da organização estudada, esta prática não era observada, pois o FMEA somente é revisado quando o produto ou processo sofre alguma alteração ou quando um problema de campo era detectado, bem como a identificação da abrangência era outra dificuldade a ser superada, pois não existe um processo formal para a retroalimentação do

sistema levando-se em consideração os produtos ou processos similares que pudessem ocorrer o mesmo tipo de falha, sendo assim, perdendo a oportunidade de mitigar a falha sistematicamente.

4.4. – BUSCA POR APLICAÇÃO DO FMEA PARA O CASO ESPECÍFICO

Nesta etapa da pesquisa, buscou-se através das bases de dados eletrônicas selecionadas encontrar referências que atendessem ao *string* de busca determinado pelo pesquisador.

As bases de dados eletrônicas selecionadas como fontes de busca foram: *Science Direct*, *Scopus*, *Web of Science*, *IEEE Periodical e Emerald*. Os idiomas escolhidos foram o inglês, por ser a língua internacionalmente usada para a elaboração de trabalhos científicos, e o português, por ser a língua materna do pesquisador. Consideram-se os tipos de trabalhos: artigos publicados em periódicos ou em conferências.

Baseado na pesquisa de Laurenti (2010), onde o mesmo buscou sistematizar os problemas e práticas da análise de falha potenciais no processo de desenvolvimento de produtos, através da revisão de 106 publicações. Os principais problemas identificados por Laurenti foram justamente os problemas que esta pesquisa busca solucionar, sendo eles:

- 34,91% - Os valores do NPR (Número Prioridade Risco) no FMEA não são confiáveis;
- 31,13% - Para a elaboração completa e correta do FMEA são gastos muito tempo e recursos.

As publicações que mencionaram estes dois tipos de problemas encontram-se no apêndice B e C respectivamente. Após análise detalhada dessas publicações, o pesquisador levou algumas alternativas para discussão com a equipe do projeto na empresa, sendo que a partir desta surgiu uma proposta baseada na taxonomia do modo de falha conforme mencionado por Wirth *et al.* (1996) e Tumer *et al.* (2003). Surgiu a possibilidade e a necessidade de investigação da elaboração de um FMEA padrão por processos de manufatura, na qual todos os processos de manufatura da empresa objeto desta investigação deveriam ser mapeados e analisados criteriosamente.

Com base nesta proposta o pesquisador iniciou nova revisão bibliográfica na base de dados eletrônica, com o objetivo de identificar, analisar e selecionar algumas publicações que pudessem contribuir para a construção de uma solução para o problema de pesquisa objeto

desta dissertação. O primeiro objetivo específico definido para este trabalho (vide item 1.1) era, “Identificar ações que permitam reduzir o tempo de elaboração do FMEA de processos”.

As palavras-chave escolhidas para a pesquisa foram: “FMEA”, “*Deficiency*”, “*Master*”, “*Standard*”. Das palavras-chave são derivados os seguintes *strings* de busca: (FMEA AND *Deficiency*) OR (FMEA AND *Master*) OR (FMEA AND *Standard*). Foram utilizados o mesmo *string* de busca para todas as bases eletrônicas informadas. Vale ressaltar que para o *string* (FMEA AND *Deficiency*) o período de busca compreendeu o período a partir de Agosto de 2009, tendo em vista que as publicações anteriores para este *string* constam na referida pesquisa de Laurenti (2010).

Da mesma forma da pesquisa de Laurenti (2010), foram definidos dois passos para o processo de seleção das publicações, (1) seleção preliminar a qual deve ser feita a leitura do resumo de todas as publicações que atendam ao *string* de busca pré-determinado pelo pesquisador. Caso a publicação atenda aos critérios de análise do pesquisador, o mesmo é selecionado para o processo de seleção final (2), na qual a publicação selecionada é lida por completo, para que o mesmo possa ser analisado e selecionado as informações que pudessem corroborar para a solução do problema de pesquisa.

Também como critério de seleção das publicações, todas as publicações deveriam ter o texto completo disponível e acessível via *web*. Após a seleção das publicações, as mesmas foram identificadas com o objetivo de documentar a informação, sendo que para isso foi elaborada uma planilha do *Microsoft Excel* contendo as referidas informações de cada publicação, onde foi registrado o título, autores, tipo de publicação (periódico ou conferência), local de publicação (nome do periódico ou conferência), ano de publicação, país de origem da publicação, nome da base de dados onde o trabalho foi encontrado e um breve resumo contendo a proposta da publicação. O Quadro 3 representa como estas planilhas foram elaboradas e seu conteúdo.

Quadro 3 – Representação do registro das publicações.

Registro das Informações Provenientes das Publicações Selecionadas								
Id.	Título	Autores	Tipo	Local	Ano	País	Base de Dados	Resumo da Proposta da Publicação

Fonte: Elaboração própria.

Durante a execução da pesquisa nas bases de dados eletrônicas, os *strings* de busca foram inseridos conforme pré-determinado pelo pesquisador. Nesse processo de busca, foram

encontrados 549 publicações, sendo 01 da *Scopus*, 382 da *Science Direct*, 12 da *Web of Science*, 139 da *Emerald* e 16 da *IEEE Periodical*.

Conforme mencionado, na seleção preliminar das publicações foram lidos os 549 resumos, eliminando as publicações que nitidamente não faziam referências ao assunto objeto dessa pesquisa. A partir da leitura dos resumos na seleção preliminar, identificou-se 25 publicações, que foram lidas na íntegra para que o pesquisador pudesse extrair informações que pudessem contribuir para o problema objeto dessa pesquisa, onde 7 faziam menção a algum problema relacionado ao tema. A lista contendo todas as 7 publicações selecionadas encontram-se no Apêndice A. Os mesmos estão referenciados em formato numérico para facilitar a identificação.

No Quadro 4 é mostrado o número de publicações encontradas para cada base de dados, o número de publicações selecionadas nos dois passos da seleção e a porcentagem de publicações selecionadas em relação ao encontrado.

Quadro 4 – Base de dados e publicações selecionadas.

Número de publicações encontradas e selecionadas			
Base de dados	Publicações selecionadas na seleção preliminar	Publicações selecionadas na seleção final	Porcentagem de publicações selecionadas por encontradas
Scopus	1	0	0,0%
Science Direct	382	5	1,3%
Web of Science	12	0	0,0%
Emerald	139	2	1,4%
IEEE Periodical	16	0	0,0%
Total	549	7	1,3%

Fonte: Elaboração própria.

Após análise detalhada dessas publicações, o pesquisador comprovou que a proposição previamente definida deveria ser dada continuidade, pois com o resultado desta nova pesquisa na base de dados eletrônica não foi evidenciada nenhuma outra proposição que levasse a condução e resolução do problema de pesquisa, objeto desse estudo.

Apesar de o FMEA ser uma das metodologias mais populares utilizadas para melhorar a confiabilidade de um produto, muitos problemas relacionados com a sua aplicação ainda são reportados com bastante frequência na literatura. Muitos autores já propuseram alternativas

para a solução dos problemas relacionados ao FMEA e muito contribuíram para a solução desse problema de pesquisa.

Vários problemas têm sido mencionados na literatura, como: a falta de consistência de um vocabulário bem definido para as funções, muitas vezes as informações são expressas em termos linguísticos (WIRTH, 1996; LEE, 2001; TUMER, 2003; NEPAL, 2008), um FMEA completo e rigoroso, demanda muito trabalho e consome muito tempo da equipe (MONTGOMERY, 1996; PRICE, 1996; WIRTH, 1996; PRICE, 2002; TUMER, 2003; ELMQVIST, 2008) e o cálculo do NPR completam a lista dos problemas mais criticados na utilização do FMEA, pois diferentes valores para severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), podem representar o mesmo valor do NPR, porém com implicações de risco totalmente diferentes (BOWLES, 1995; CHANG, 2001; LIU, 2010; WANG, 2009).

No Quadro 5 encontra-se um resumo da literatura encontrada que mais contribuiu para o desenvolvimento do método proposto neste estudo.

Quadro 5 – Publicações selecionadas com maior contribuição para o desenvolvimento do novo método.

Literatura com principais contribuições para o desenvolvimento do novo método			
Id.	Autores	Problema	Resumo da Proposta de Solução
1	Wirth <i>et al.</i> , 1996	Considera o FMEA muito trabalhoso e consome muito tempo para a correta elaboração, bem como, as informações provenientes do FMEA convencional é considerado impreciso devido o mesmo ser preenchido em uma linguagem convencional, podendo ter interpretações diferentes, pois depende do vocabulário próprio do time envolvido.	Propõe a utilização do WIFA (acrônimo alemão para "FMEA baseado no conhecimento), para suportar os usuários, trazendo o conhecimento dos especialistas para suportar uma completa e precisa descrição dos processos e produtos, facilitando o reuso no FMEA. Faz uso do conhecimento para construir taxonomias funcionais e estruturais na forma de uma biblioteca. Dessa maneira, a biblioteca contém descrições precisas e completas dos produtos e processos. Cada componente da estrutura taxonômica está ligado a pelo menos uma função e tem uma lista definida de modos de falha. Com isso, uma sensível redução na elaboração de um novo FMEA é esperado.
2	Tumer <i>et al.</i> , 2003	Falta de padronização na descrição, tanto das funções como no modo de falha, onde o engenheiro pode descrever	O autor propõe um método baseado em histórico de falhas e dados de relatórios de acidentes para determinar os tipos de falhas que resultam em falhas de um determinado sistema e correlaciona

		diferentes ocorrências para uma mesma falha de forma diferentes, dificultando o diagnóstico para a análise da falha.	com a funcionalidade específica dos componentes e subsistemas que falharam. Este histórico e relatórios de acidentes são analisados usando a taxonomia para descrever o correto e exato modo de falha que ocorreu. Este mapeamento de modos de falha, pode então ser utilizado pelos engenheiros para suportar a tomada de decisões, evitando falhas similares e agilizando a elaboração do FMEA do novo produto.
3	Miguel, 2008	Sistematização e disponibilidade de informações no processo de tomada de decisão no desenvolvimento de produtos de uma montadora de veículos com a utilização do FMEA	A empresa objeto desse estudo, adotou o FMEA para a gestão de riscos técnicos, onde parte-se de um DFMEA estruturado para um veículo completo genérico. Este é denominado Master DFMEA, onde possui três níveis de detalhamento: sistemas, subsistemas do primeiro nível e de segundo nível. No desenvolvimento de um novo produto, pode-se consultar o Master DFMEA e decidir quantos níveis serão necessários para esse novo projeto. As principais vantagens desse método, é a geração automática de uma lista com todas as características especiais relativa à segurança de um dado projeto, base sólida para suportar na tomada de decisão, onde a mesma divide o mapeamento de riscos em três seções, verde, amarela e vermelha, priorizando assim as ações através do ciclo do PDCA, visto que os recursos são finitos.
4	Estorilio, 2011	Identificar as irregularidades na elaboração do FMEA nos fornecedores da indústria automotiva	Neste artigo, o autor realiza uma pesquisa em sete fornecedores para um mesmo tipo de produto, onde o mesmo aplica um questionário com o objetivo de identificar os principais fatores que influenciam na correta elaboração do FMEA. Com base neste resultado, o autor apresenta propostas para reduzir a subjetividade nas pontuações, sugerindo uma planilha parcialmente parametrizada, criando uma linguagem comum entre os fornecedores através da padronização dos principais campos a serem preenchidos. Com isso, foi testado o novo método em três dos sete fornecedores estudados, considerando a mesma

			peça, concluiu-se que é possível reduzir os níveis de subjetividade do método e também reduzir o tempo gasto nas reuniões, ganhar agilidade no processo, reduzir os erros de preenchimento e padronização.
--	--	--	--

Fonte: Elaboração própria.

5. DISCUSSÕES E ADEQUAÇÕES PARA PROPOSIÇÃO DO NOVO FMEA

Este capítulo trata das adequações e alterações no processo de elaboração e aplicação do FMEA por processos definidas pelo autor e pela equipe após análise do método anteriormente utilizado pela empresa e amparado pela pesquisa bibliográfica.

Primeiramente, apresenta-se a Figura 11 na qual pode-se observar todas a sequência de atividades e os procedimentos para suas execuções e, posteriormente, cada uma delas é detalhada e justificada.

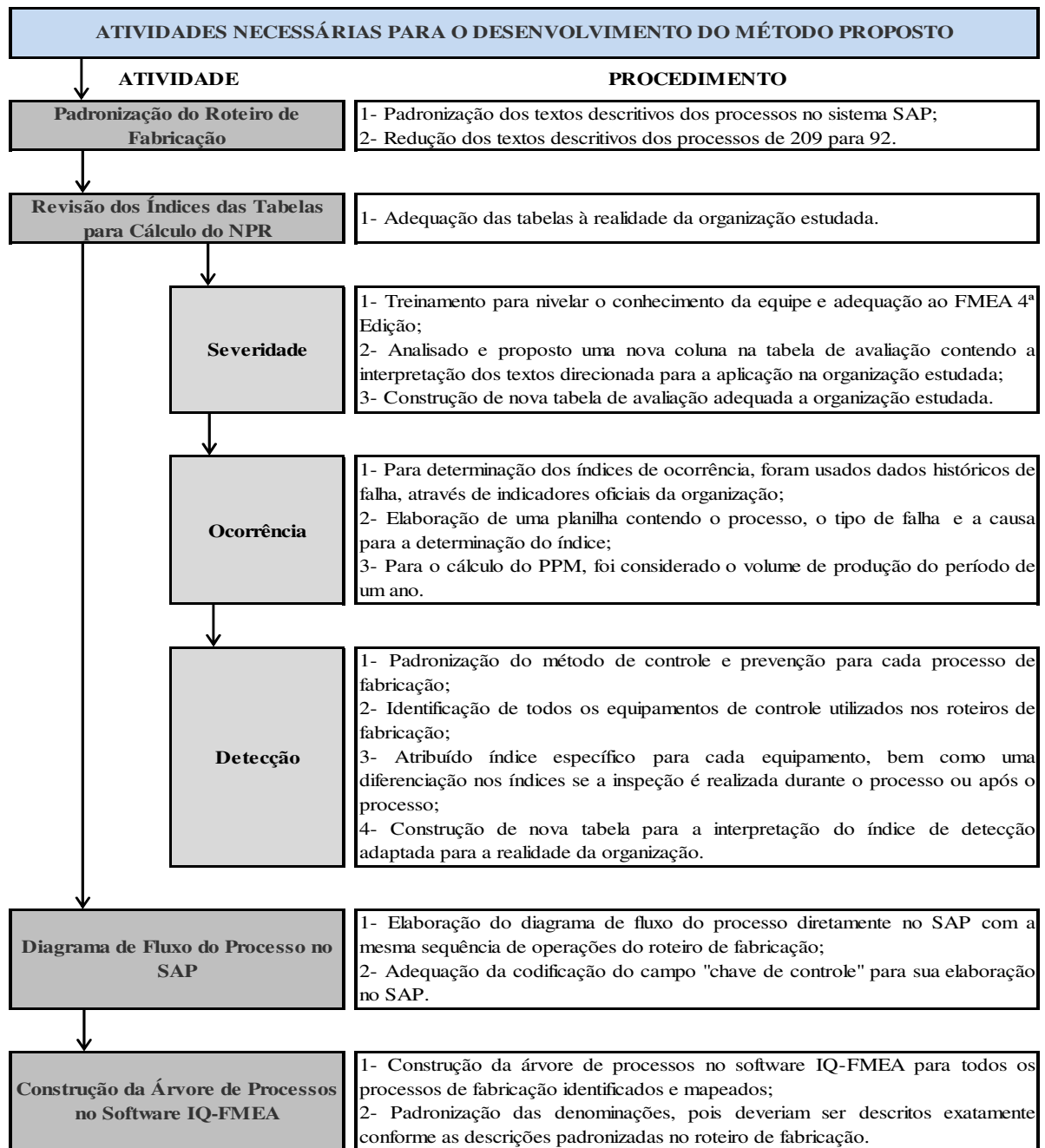


Figura 11 – Sequência no desenvolvimento das atividades para o novo método.

Fonte: Elaboração própria.

A seguir cada uma dessas atividades será descrita.

5.1. PADRONIZAÇÃO DO ROTEIRO DE FABRICAÇÃO

O primeiro desafio encontrado pelo pesquisador e pela equipe foi a padronização dos textos descritivos das operações no roteiro de fabricação, pois estes textos que descrevem o processo de fabricação e também a sequência das operações, deveriam ser escritos exatamente conforme o campo, função do processo do formulário do FMEA. Um princípio fundamental ao descrever as funções é a noção de que eles devem ser escritos em formato de verbo de ação ou como um substantivo mensurável. A função é uma tarefa que um componente deve executar e deve ser descrito em uma linguagem que todos possam entender (AIAG, 2008; STAMATIS, 2003). Para a elaboração do roteiro de fabricação é usado o sistema SAP⁴, sistema de gestão utilizado pela organização estudada sendo que o campo descritivo do processo de fabricação é um campo texto, ou seja, podendo ser descrito em formatos diferentes de acordo com a preferência de cada usuário (engenheiro de processos).

Para solucionar este problema, após algumas reuniões entre a equipe e pesquisador, foi sugerida a criação das descrições para os processos de fabricação padronizados, utilizando o campo chave de modelo para relacionar um determinado código a uma descrição do processo de fabricação de forma automática. Funcionando como se fosse um sistema de filtro do *Microsoft Excel*, ao selecionar a chave de modelo⁵, o mesmo listará todos os códigos e sua respectiva descrição correspondente ao processo selecionado, conforme pode ser observado na Figura 12 no campo “Texto para chave de modelos”, sendo que, ao selecionar o campo “ChvM...” (Chave de modelo) respectivo, por exemplo, “RETIF13” a descrição correspondente é mostrada no campo texto do roteiro de fabricação automaticamente, neste exemplo “Retificar dentes – Worm Dressável”. Seguindo o ciclo da pesquisa-ação, foram coletadas todas as informações com os textos descritos existentes até então, nas quais foram identificados 209 descrições diferentes para as operações nos roteiros de fabricação. Após a análise dos dados, foram planejadas as ações para redefinir os textos futuros, os quais foram analisados, mapeados e efetivamente padronizados, pois os mesmos também deveriam atender a necessidade do formulário do FMEA. Após o mapeamento e implementação das ações, este número pôde ser reduzido para 92. Na Figura 12 podemos verificar alguns exemplos desta atividade.

⁴ SAP - Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung, que significa Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados.

⁵ Chave de controle – Determina quais as operações econômicas a ser executadas, para o objeto correspondente de um roteiro ou ordem (ex. programação ou cálculo de custos).

Op...	Sb...	Centro ...	Cen.	Chave de controle	Chave de modelo	Descrição
1010		ENTRADA	6110	ZCON	CONTRO3	Controlar
1020		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
1030		N50753	6110	CC06	ENTALH1	Entalhar dentes pronto
1040		G53936	6110	CC06	FRESA9	Fresar dentes para retificar
1050		N57532	6110	CC06	CHANFR2	Chanfrar e montar carga
1090		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
1100		TTM1	6180	ZTTM	TTM1	Tratamento térmico 1
2100		MOC0NF	6180	ZCON	RECEBIM	Recebimento e conferência no TTM
2107		FPD01	6180	ZITT	LAVAR2	Lavar, cement, temp, lav, rev. (ciclo único)
2137		SP78523	6180	ZTTC	SHOT	Shot peening
2740		TQ96787	6180	ZTTC	OLEAR1	Olear por imersão
3090		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
3100		041457	6110	CC06	RETIFI	Retificar interno Ø(s) + face(s)
3120		G63402	6110	CC06	RETIF13	Retificar dentes - Worm dressável
3170		FINAL	6110	CC03	FINAL	Finalizar Roteiro
3180			6110			

ChvM...	Descrição
RECOZER	Recozimento isotérmico
RETIF13	Retificar dentes - Worm dressável
RETIF14	Retificar dentes - Worm CBN / disco CBN
RETIF16	Retificar externo cone
RETIF17	Retificar externo Ø(s) + face(s)
RETIF18	Retificar externo Ø(s)
RETIF19	Retificar esférico
RETIF2	Retificar dentes - 1 disco CBN
RETIF20	Retificar dentes - Worm dress/disco CBN
RETIF21	Retificar dentes - 1 disco dressável
RETIF22	Retificar dentes - 2 discos CBN's
RETIF23	Retificar estrias
RETIF4	Retificar face
RETIFI	Retificar interno Ø(s) + face(s)
RETIF12	Retificar interno Ø(s)
RETRAB	Retrabalhar agregado (eventual)
RETRABE	Retrabalhar transmissão na estanqueidade
REVEN1	Revenir por indução
REVENIR	Revenir
ROSCAR	Roscar

Figura 12 – Padronização dos textos descritivos dos processos de manufatura.

Fonte: Elaboração própria.

Outro benefício foi identificado pela equipe durante essas reuniões de padronização, a oportunidade de também padronizar os campos onde deveriam conter as informações sobre a descrição das operações e também os parâmetros de usinagem para cada tecnologia, facilitando na elaboração do roteiro de fabricação, bem como funcionando conforme um poka-yoke⁶, pois orienta ao engenheiro de processos quanto ao correto preenchimento dos campos necessários para a execução do *setup* da máquina ou equipamento na produção. Na Figura 13 podemos observar um exemplo de um processo de fresar dentes para retificar, onde do lado esquerdo da figura representa o padrão a ser preenchido pelo engenheiro de processos e do lado direito, o mesmo preenchido com as informações necessárias.

Fresar dentes para retificar			
GUIAR / FIXAR			
ENCOSTAR / APOIAR			
FRESAR DENTES PARA RETIFICAR			
PARÂMETROS DE USINAGEM			
DADOS DE CORTE	REM	AVANÇO	
DESBASTE			MM/ROT OU MM/MIN.
ACABAMENTO			MM/ROT OU MM/MIN.
DESLOCAMENTO (SHIFT.)		=	
Nº ENTRADAS DO CARACOL		=	

Fresar dentes para retificar			
LZR	GUIAR / FIXAR		
FE	ENCOSTAR / APOIAR		
V1	FRESAR DENTES PARA RETIFICAR		
PARÂMETROS DE USINAGEM			
DADOS DE CORTE	REM	AVANÇO	
DESBASTE	130	2,3	MM/ROT OU MM/MIN.
ACABAMENTO	180	4,0	MM/ROT OU MM/MIN.
DESLOCAMENTO (SHIFT.)		=	1,0
Nº ENTRADAS DO CARACOL		=	2

Figura 13 – Texto e parâmetros de usinagem padronizados.

Fonte: Elaboração própria.

⁶ Poka-yoke – Termo japonês que significa à prova de erros, consiste em um conjunto de procedimentos e/ou dispositivos cujo objetivo é detectar e corrigir erros em um processo antes que esses erros se transformem em defeitos percebidos pelos clientes internos ou externos (WERKEMA, 2006).

Para a padronização dos textos descritivos das operações foi feito através de uma alteração em massa no sistema SAP em *batch input*⁷ de dados, minimizando a necessidade de correções manuais, bem como, mitigando os possíveis erros provenientes da digitação manual. A próxima atividade foi a revisão dos índices das tabelas e será descrita a seguir.

5.2. REVISÃO DOS ÍNDICES DAS TABELAS

Como pode ser observado no diagnóstico do método atual, durante as reuniões entre a equipe multifuncional não havia um entendimento e consenso na aplicação e interpretação das tabelas de severidade (S), detecção (D) e ocorrência (O) para atribuição dos índices, gerando opiniões divergentes e conseqüentemente, morosidade e falta de confiabilidade no cálculo do NPR.

Visando nivelar o conhecimento dos especialistas para a interpretação do FMEA 4ª Edição (AIAG, 2008), o pesquisador sugeriu uma série de treinamentos para a equipe e como consequência, foi identificada a necessidade de adequação e elaboração de novos textos para a interpretação dos índices de avaliação relacionados à realidade da organização, pois até então fazia-se uso do texto estabelecido no manual de referência do FMEA, gerando dúvidas e dificuldades para chegar a um consenso na equipe para a aplicação dos índices, o que pode ser resolvido com a proposta sugerida, adequação dos textos para a aplicação à organização. A seguir cada uma dessas tabelas será descrita.

5.2.1. Severidade

Para que uma proposta pudesse emergir e se tornar realidade, diversas reuniões foram realizadas com os especialistas das áreas envolvidas, como a Engenharia de Processos, Engenharia de Produto, Qualidade, Manufatura, Pós-vendas e Garantia. Para cada índice de severidade foi analisado e proposto uma nova coluna na tabela de avaliação contendo a interpretação dos textos direcionada para a aplicação na organização estudada, criando assim um novo conceito para a determinação dos índices de severidade, sempre buscando o consenso da equipe na formatação do texto, permitindo assim que futuramente pudesse ser utilizado por outras equipes e que não tivessem dúvida do que estava representado nesta nova tabela. Também foi sugerido um texto para definição do que é função primária do produto e o que é função secundária no produto, visando facilitar a interpretação da tabela. O Quadro 6 representa a nova interpretação de avaliação para o índice de severidade adaptado.

⁷ *Batch input* – é uma das maneiras mais simples pelo qual dados podem ser transferidos para o Sistema SAP R/3. (Fonte: <http://help.sap.com>).

Quadro 6 – Tabela de Avaliação da Severidade adaptada pela equipe do FMEA.

Severidades conforme FMEA 4ª Edição		Interpretação dos textos para aplicação a organização
10	Cliente	Transmissão gera condição insegura com identificação impossível pelo motorista.
	Manufatura/ Montagem	Processo gera condição insegura sem identificação prévia possível pelo operador.
9	Cliente	Transmissão gera condição insegura identificável pelo motorista.
	Manufatura/ Montagem	Processo gera condição insegura com possibilidade de identificação prévia pelo operador.
8	Cliente	Transmissão inoperante, sincronização inoperante, 1ª marcha inoperante, GP inoperante.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas, sem possibilidade de retrabalho ou desvios. Parada da linha de montagem. Atraso de embarque.
7	Cliente	Transmissão operante, sincronização inoperante, marchas inoperantes com exceção da 1ª.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas, seleção de peças possível, Desvio do fluxo normal incluindo aumento do Te na Linha/Célula ou necessidade de mão-de-obra adicional.
6	Cliente	Transmissão operante, sincronização inoperante. Engate "seco" das marchas ainda possível.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas onde 100% do lote precise ser retrabalhado. Retrabalho realizado fora do fluxo normal de produção.
5	Cliente	Transmissão operante, sincronização operante mas com dificuldades de engate.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas onde uma parcela das peças precise ser retrabalhada. Retrabalho realizado fora do fluxo de normal de produção.
4	Cliente	Transmissão operacional com ruído incomum de alta intensidade.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas onde 100% do lote precise ser retrabalhado. Retrabalho realizado sem desvios no fluxo normal de produção (Repasse).
3	Cliente	Transmissão operacional com ruído incomum de média intensidade.
	Manufatura/ Montagem	Lote produzido/montado com problemas onde uma parcela das peças precise ser retrabalhada. Retrabalho realizado sem desvios no fluxo de normal de produção (Repasse).
2	Cliente	Transmissão operacional com ruído incomum de baixa intensidade.
	Manufatura/ Montagem	Alteração das condições normais no processo/operação sem influência na qualidade. Incomodo ao operador.
1	Cliente	Não causa alteração do funcionamento da transmissão.
	Manufatura/ Montagem	Não causa alterações ao processo produtivo.
Função primária da transmissão		
Função secundária da transmissão		
		Gerar conforto, economia e conveniência ao motorista do veículo.

Fonte: Elaboração própria.

5.2.2. Ocorrência

Para a determinação dos índices de ocorrência foram levados em consideração os dados históricos de falhas, provenientes dos indicadores oficiais da organização, como refugos, solicitações de desvios e reclamações de clientes. Foi elaborada uma planilha do *Microsoft Excel*, contendo todas as tecnologias existentes na manufatura, os tipos de falha, a causa e o PPM⁸ para a determinação do índice de ocorrência (Oco⁹ do Quadro 8) para cada tipo de falha relacionada e conseqüentemente a partir destas informações foram definidos os índices de ocorrência que serão considerados no FMEA. O Quadro 7 representa a taxa de falhas utilizada para o cálculo do PPM na planilha do *Microsoft Excel*, no qual para isso também foi considerado o volume de produção dos componentes produzidos durante um período determinado (1 ano de produção), bem como a tecnologia de fabricação, permitindo assim, a correta correlação do tipo de falha para cada processo e conseqüentemente a correta determinação da taxa de falhas provenientes de fatos reais da organização.

Quadro 7 – Tabela de Avaliação para determinação do PPM.

PPM		TAXA DE FALHAS	ÍNDICE DE OCORRÊNCIA
0		0	1
0,00000001	9	=> 0,001 em 1.000 - 1 em 1.000.000	2
10	99	0,01 em 1.000 - 1 em 100.000	3
100	499	0,1 em 1.000 - 1 em 10.000	4
500	1999	0,5 em 1.000 - 1 em 2.000	5
2000	9999	2 em 1.000 - 1 em 500	6
10000	19999	10 por 1.000 - 1 em 100	7
20000	49999	20 em 1.000 - 1 em 50	8
50000	99999	50 por 1.000 - 1 em 20	9
100000		=> 100 por 1.000 - => 1 em 10	10

Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 8 temos uma parte representativa da planilha do *Microsoft Excel* elaborada para a determinação dos índices de ocorrência que serão considerados na elaboração do FMEA, onde na primeira coluna da tabela foi relacionados os modos de falhas, seguido das possíveis causas. A partir da terceira coluna, estão representados os processos de fabricação e seus respectivos índices de PPM e ocorrência, onde para o cálculo do PPM é levado em consideração volume de produção e a quantidade de refugo neste mesmo período para a determinação do índice de ocorrência conforme a taxa de falhas representado no Quadro 7.

⁸ PPM – Partes por milhão de oportunidades

⁹ Oco – É a abreviatura do índice de ocorrência na planilha contendo o critério de avaliação da ocorrência elaborada pela equipe do FMEA (Quadro 8).

Quadro 8 – Tabela de Avaliação da Ocorrência elaborada pela equipe do FMEA.

Tecnologia		TTM	Centro de Usinagem	Brocha	Retífica Externa	Retífica Interna	Retífica Plana	Fresadora velha	Retífica de dentes		
Falhas	Causas	PPM	Oco.	PPM	Oco.	PPM	Oco.	PPM	Oco.	PPM	Oco.
Altura menor	Desenvolvimento de Produto / Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Usinagem / Produção	0	1	124	4	0	1	0	1	0	1
	Tratamento Térmico	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ferramentas	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Máquinas / Manutenção	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecimento de Energia	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Meios de Transporte	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Dispositivos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Preparação	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecedor	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Eng ^a de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Embalagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ensaíos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Montagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Perca de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Refugo Montagem proveniente de Terceiros	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
Batidas	Desenvolvimento de Produto / Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Usinagem / Produção	106	4	62,1	3	0	1	0	1	0	1
	Tratamento Térmico	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ferramentas	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Máquinas / Manutenção	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecimento de Energia	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Meios de Transporte	7,54	2	0	1	0	1	0	1	0	1
	Dispositivos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Preparação	0	1	0	1	7,54	2	0	1	0	1
	Fornecedor	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Eng ^a de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Embalagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ensaíos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Montagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Perca de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Refugo Montagem proveniente de Terceiros	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
Batimento fora do especificado	Desenvolvimento de Produto / Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Usinagem / Produção	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Tratamento Térmico	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ferramentas	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Máquinas / Manutenção	0	1	0	1	0	1	10,2	3	0	1
	Fornecimento de Energia	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Meios de Transporte	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Dispositivos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Preparação	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecedor	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Eng ^a de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Embalagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ensaíos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Montagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Perca de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Refugo Montagem proveniente de Terceiros	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
Bolsa de óleo fora do especificado	Desenvolvimento de Produto / Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Usinagem / Produção	0	1	186	4	0	1	0	1	0	1
	Tratamento Térmico	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ferramentas	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Máquinas / Manutenção	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecimento de Energia	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Meios de Transporte	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Dispositivos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Preparação	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Fornecedor	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Eng ^a de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Embalagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Ensaíos	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Montagem	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
	Perca de Processo	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Refugo Montagem proveniente de Terceiros	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	

Fonte: Elaboração própria.

No Quadro 9, apresentamos a tabela completa com os índices de ocorrência utilizados na elaboração do FMEA conforme referenciada na AIAG (2008).

Quadro 9 – Tabela de Avaliação da Ocorrência.

Probabilidade	Taxa de falhas possíveis	Índice de ocorrência
Muito alta	≥ 100 por mil peças > 1 em 10	10
Alta	50 por mil peças 1 em 20	9
	20 por mil peças 1 em 50	8
	10 por mil peças 1 em 100	7
Moderada	2 por mil peças 1 em 500	6
	0,5 por mil peças 1 em 2.000	5
	0,1 por mil peças 1 em 10.000	4
Baixa	0,01 por mil peças 1 em 100.000	3
	0,001 por mil peças 1 em 1.000.000	2
Muito baixa	Falha é eliminada através de controles preventivos	1

Fonte: Adaptado de AIAG (2008).

5.2.3. Detecção

Os métodos de controle e prevenção também foram avaliados e padronizados para cada processo de fabricação, levando em consideração o equipamento e o método utilizado. Foram relacionados todos os equipamentos de controle utilizados nos roteiros de fabricação e para cada equipamento foi atribuído seu respectivo índice de detecção, bem como uma diferenciação nos índices se a inspeção é realizada durante o processo ou após o processo ser concluído. O Quadro 10 representa uma parcela da planilha do *Microsoft Excel* contendo alguns exemplos do resultado que servirá como dado de entrada para a determinação dos índices de detecção que foram elaborados e adaptados para a organização estudada em conformidade com sua realidade, bem como em acordo com a 4ª Edição do manual de referência do FMEA (AIAG, 2008). Esta planilha com os equipamentos, assim como o FMEA, passou a ser um documento “vivo”, sendo passivo de alteração sempre que necessário ou quando na aquisição de um novo equipamento, facilitando sua retroalimentação de maneira sistêmica e eficaz. Também foram planejadas reuniões semestrais para

monitoramento e atualização do projeto, visando garantir a confiabilidade do padrão estabelecido.

Quadro 10 – Parte da tabela elaborada pela equipe do FMEA para determinação dos índices de detecção.

EQUIPAMENTOS DE CONTROLE		ÍNDICE DE DETECÇÃO	
		Durante o processo	Após o processo
1	Altímetro digital	5	6
2	Altímetro digital + relógio comparador	5	6
4	Análise metalográfica conforme procedimento	-	6
5	Análise metalúrgica (peça ou corpo de prova)	5	6
6	Análise metalúrgica conforme procedimento	-	6
7	Análise química (Ex.: Titulação, etc.)	5	
8	Auditoria	-	9
9	Base para controle + altímetro + acolhedor	5	6
11	Base para controle + relógio comparador	5	6
12	Calibrador	6	7
13	Célula de carga	5	-
14	Controle de camada cementada CHD superficial (não destrutivo)	5	6
15	Controle de dureza (Durômetro)	5	6
16	Controle dimensional no processo final	-	6
17	Controle dimensional no processo posterior	-	6
18	Controle funcional no processo final	-	8
19	Controle funcional no processo posterior	-	6
20	Controle por engrenômetro (Engr, padrão / flange do produto e do padrão)	5	6
21	Dispositivo de controle de medida Mb (Ex.: Base Come, Frenco, etc.)	5	6
22	Dispositivo de controle de medida Mb para estriado externo (Ex.: AVMF)	5	6
24	Dispositivo de controle de profundidade + padrão	5	6
25	Dispositivo de controle do ângulo + padrão	5	6
26	Dispositivo de controle de simetria + padrão	5	6
27	Dispositivo especial de controle por atributos	6	7
29	Dispositivo especial de controle por variáveis	5	6
30	Ensaio de partículas magnéticas (Magnaflux)	7	8
31	Entre pontas + mandril + relógio comparador	5	6
33	Equipamento de controle integrado na máquina (in process)	2	-
34	Equipamento de diagramação - Topologia (Ex.: Hofler, Klingelberg, etc.)	5	6
35	Equipamento de diagramação (Ex.: Hofler, Klingelberg, etc.)	5	6
36	Equipamento de medição 2D Óptico (Ex.: Hommel Werke)	5	5
38	Equipamento de medição 3D	-	6
39	Equipamento de medição 3D Óptico (Ex.: Micro-vu, Zeiss, etc.)	5	6
40	Inspeção Visual	7	8
41	Medidor de campo magnético	5	6
42	Medidor de diâmetros e distâncias (Ex.: Twinner, Heliospan, etc.)	5	6
43	Medidor de erro de forma	5	6
44	Medidor de perfil	5	6
45	Medidor universal de estrias (Ex.: URMK)	5	6
47	Micrômetro	-	6
48	Micrômetro com esfera/pino + padrão + calço para medição	5	6

Fonte: Elaboração própria.

Para o critério de detecção foram identificados todos os métodos e equipamento de controle e avaliados quanto a sua probabilidade de detecção. O Quadro 11 representa a nova tabela contendo a coluna com a interpretação dos textos para aplicação dos índices de detecção adaptada para a realidade da organização objeto desse estudo.

Quadro 11 – Tabela adaptada pela equipe do FMEA para interpretação dos índices de detecção.

Detecções conforme FMEA 4ª Edição		Interpretação dos textos para aplicação na organização	
10	Quase impossível	Oportunidade de detecção	Nenhuma oportunidade de detecção.
		Critério	Nenhum controle de processo. Não se pode detectar, ou não está analisado.
9	Muito remota	Oportunidade de detecção	Improável detectar em qualquer estágio.
		Critério	Modo de falha e/ou Erro (Causa) não é facilmente detectável (por exemplo, auditorias aleatórias)
8	Remota	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema Pós-Processamento.
		Critério	Deteção do modo de falha pós-processamento, pelo operador, através de meios visual
7	Muito baixa	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema na Origem.
		Critério	Deteção do modo de falha, na estação, pelo operador, através de meios visuais/táteis/auditáveis, ou pós-processamento, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo, etc.).
6	Baixa	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema Pós-Processamento.
		Critério	Deteção do modo de falha, pós-processamento, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou na estação, pelo operador, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo, etc.).
5	Moderada	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema na Origem.
		Critério	Deteção do modo de falha ou Erro (Causa) na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos na estação, que detectarão peças discrepantes e notificarão o operador (luz, campainha, etc.). Medição realizada no setup e verificação da primeira peça (somente para causas de setup).
4	Altamente moderada	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema Pós-Processamento.
		Critério	Deteção do modo de falha pós-processamento, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e travarão a peça, para impedir processamento subsequente.
3	Alta	Oportunidade de detecção	Deteção do Problema na Origem.
		Critério	Deteção do modo de falha na estação, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e automaticamente travarão a peça na estação, para impedir processamento subsequente.
2	Muito alta	Oportunidade de detecção	Deteção do Erro e/ou Prevenção do Problema.
		Critério	Deteção do Erro (Causa), na estação, por controles automáticos, que detectarão o erro e impedirão que a peça discrepante seja produzida.
1	Quase certo	Oportunidade de detecção	Deteção não aplicável. Prevenção do erro.
		Critério	Prevenção de Erro (Causa) como resultado do projeto do dispositivo de fixação, projeto da máquina, ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item foi tornado à prova de erro, pelo projeto do processo/produto.

Fonte: Elaboração própria.

5.3. DIAGRAMA DO FLUXO DE PROCESSO

Durante a investigação, também foi identificada uma oportunidade de melhoria no diagrama do fluxo de processo, pois haviam sido identificadas diversas inconsistências, principalmente durante auditorias de qualidade, pois uma simples divergência entre o número sequencial das operações no roteiro de fabricação, provenientes do SAP em comparação ao diagrama do fluxo de processo proveniente do IQ-FMEA eram suficientes para não conformidades durante as auditorias.

Com mais esta variável, divergências entre a sequência de operações do roteiro de fabricação e o diagrama do fluxo de processo, uma nova investigação deu-se início em busca de solucionar mais esse problema. Sendo necessário e obrigatório o número das operações do roteiro de fabricação, por motivos óbvios de sequenciamento do processo, buscou-se então estudar a viabilidade de elaboração e adequação do diagrama do fluxo de processo através do SAP.

Com o suporte da área de informática e constantes melhorias, foi possível tornar realidade a elaboração do diagrama do fluxo de processo através do SAP, mitigando totalmente esta inconsistência entre o roteiro de fabricação e o diagrama do fluxo de processo, pois a base de dados é exatamente a mesma. Isso só foi possível através de uma adaptação no sistema viabilizando a utilização do campo chave de controle do SAP para o mapeamento do fluxo conforme mostrado nas Figuras 14, 15 e 16 respectivamente.

Op...	Sb...	Centro ...	Cen	Chave de controle	Chave de modelo	Descrição
1010		ENTRADA	611	ZCON	CONTR03	Controlar
1020		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
1030		N50753	6110	CC06	ENTALH1	Entalhar dentes pronto
1040		G53936	6110	CC06	FRESA9	Fresar dentes para retificar
1050		N57532	611	CC06	CHANFR2	Chanfrar e montar carga
1090		TRANSP	611	CC04	TRANSP	Transportar
1100		TTM1	618	ZTTM	TTM1	Tratamento térmico 1
2100		MOCONF	6180	ZCON	RECEBIM	Recebimento e conferência no TTM
2107		FPD01	6180	ZTTT	LAVAR2	Lavar,cement,temp,lav,revi.(ciclo único)
2137		SP78523	6180	ZTTC	SHOT	Shot peening
2740		TQ96787	6180	ZTTC	OLEAR1	Olear por imersão
3090		TRANSP	611	CC04	TRANSP	Transportar
3100		G41457	611	CC06	RETIFI	Retificar interno Ø(s) + face(s)
3120		G63402	6110	CC06	RETIF13	Retificar dentes - Worm dressável
1	2	3	4	5	6	Finalizar Roteiro

Figura 14 – Roteiro de fabricação mostrando o campo “chave de controle” com a codificação.

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 14 representa o formato do roteiro de fabricação no sistema SAP, onde está representado pelos seguintes campos:

- Operação (1) – determina em que sequência as operações devem ser executadas;
- Centro de trabalho (2) – chave que identifica o centro de trabalho ou máquina que será executada a operação;
- Centro de custo (3) – chave que identifica o centro de custo no qual a operação deve ser executada;
- Chave de controle (4) – determina quais as operações econômicas a ser executadas, para o objeto correspondente de um roteiro ou ordem (ex. programação ou cálculo de custos);
- Chave de modelo (5) – chave à qual estão atribuídas descrições frequentes de operações de procedimentos (ex. fresar, chanfrar, etc.). Através da entrada de uma chave de modelo na operação, é atribuída uma descrição da operação à própria operação. O usuário pode utilizar esta descrição como modelo, para criar uma descrição individual;
- Descrição (6) – descreve a operação a ser realizada. Este texto é transferido para a primeira linha do texto descritivo da operação.

A codificação explicitada na Figura 15 é representada pela chave de controle no roteiro de fabricação, que é o algoritmo que permitiu a elaboração do diagrama do fluxo de processo no SAP e também tem interface com a área financeira da empresa, pois a chave de controle é quem determina se uma determinada operação ou processo deverá ser relevante para custo ou não, representada aqui pelos códigos CC06 / ZTTT / ZTTC.






Descrição	Símbolo	Chave de controle
Início / Fim		CC03
Operação		CC01 / ZTTM
Inspeção		ZCON
Operação / Inspeção conjugadas		CC06 / ZTTT / ZTTC
Transporte		CC04

Figura 15 – Codificação para elaboração do diagrama do fluxo de processo no SAP.

Fonte: Elaboração própria.

Para cada código mencionado no campo chave de controle, o mesmo definirá seu respectivo símbolo no diagrama do fluxo de processo que será exibido através de uma transação específica para esta finalidade, como pode ser observado no exemplo da Figura 16.

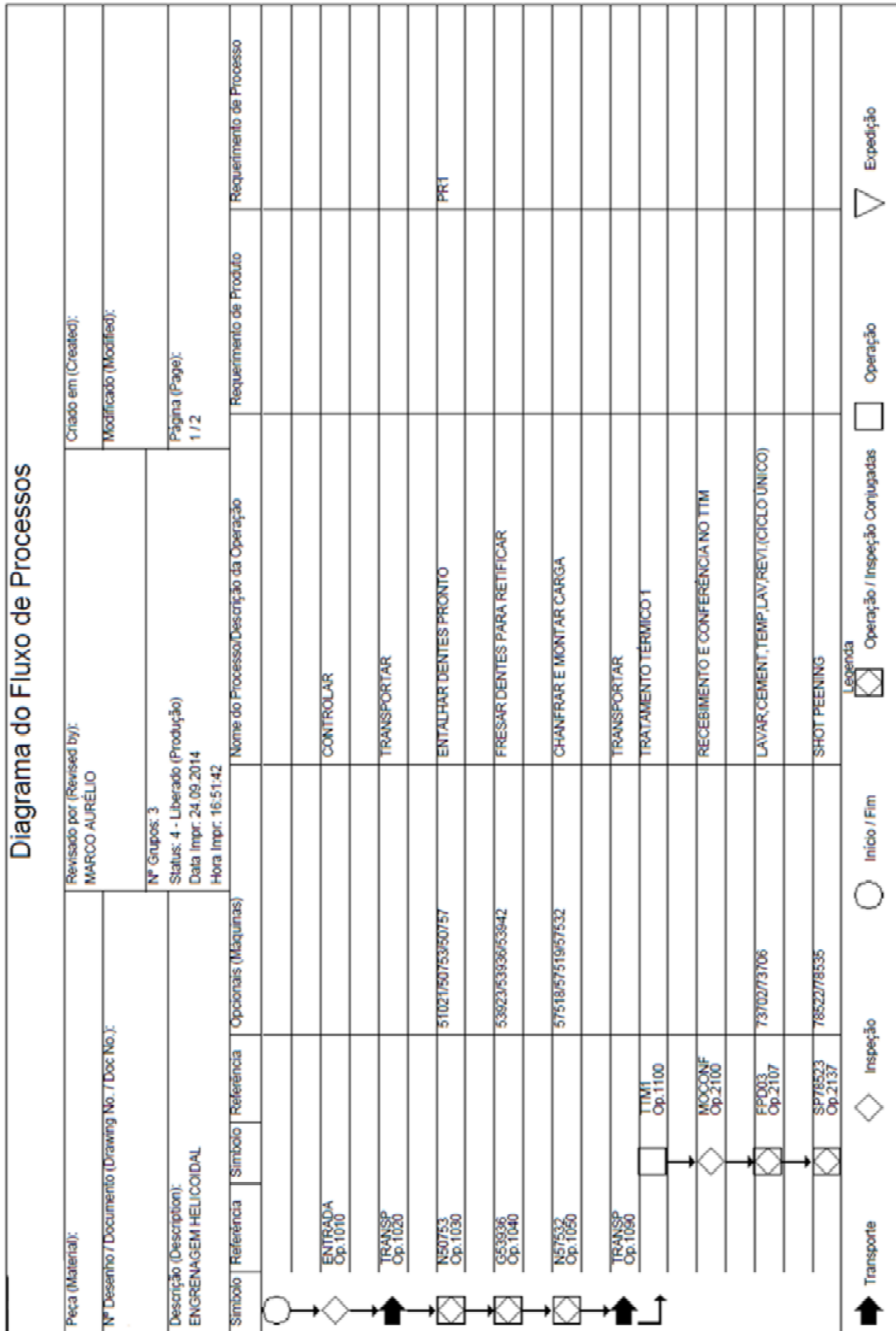


Figura 16 – Diagrama do fluxo de processo no SAP.

Fonte: Elaboração própria.

5.4. CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE PROCESSOS

Com todos os processos de fabricação identificados e mapeados, com suas respectivas denominações padronizadas no roteiro de fabricação, iniciou-se a elaboração da árvore de processos no IQ-FMEA, onde todos os processos de fabricação da organização foram individualmente avaliados criticamente pela equipe multifuncional e um novo padrão para cada processo foi definido, conforme exemplificado na Figura 17.

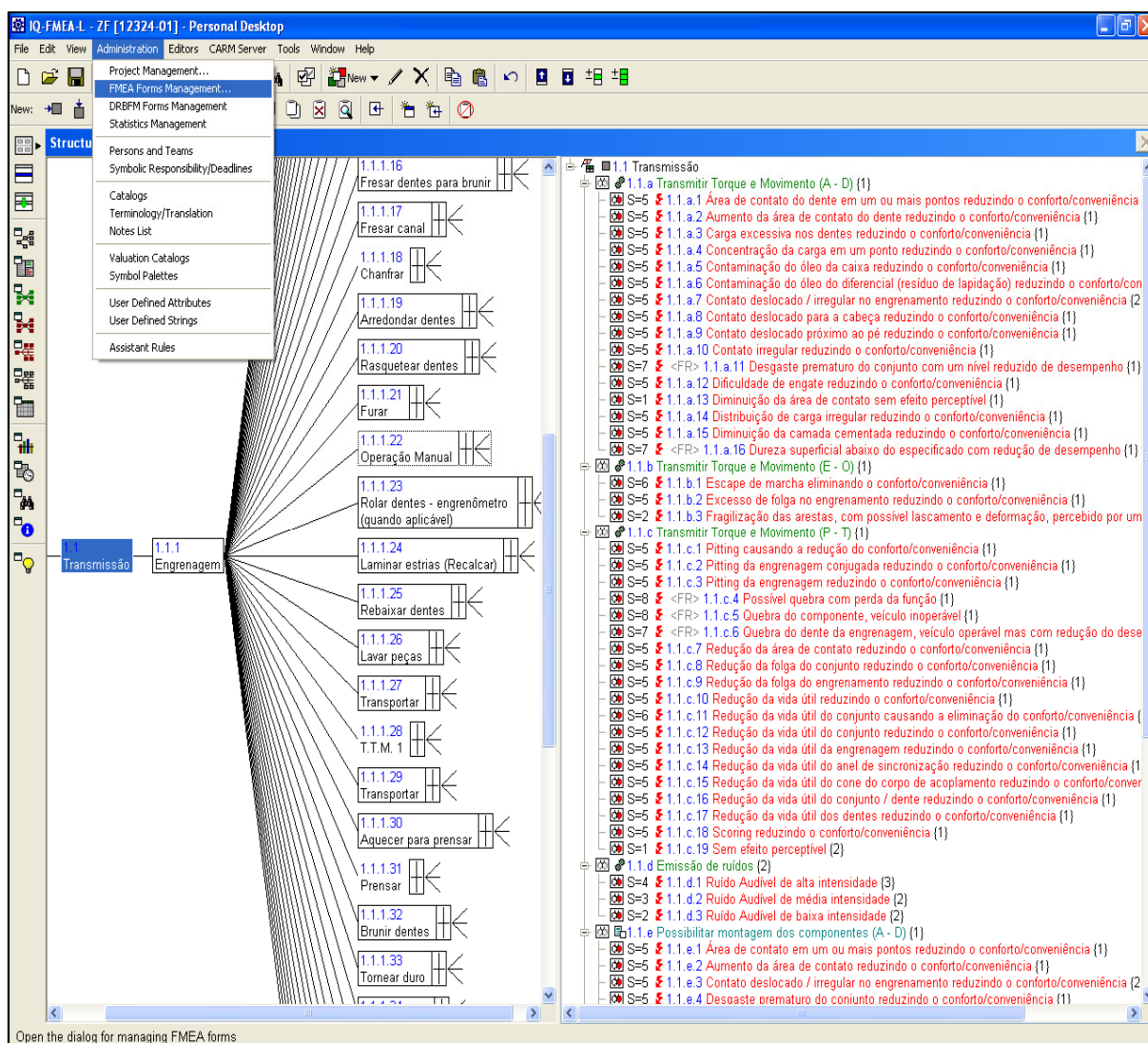


Figura 17 – Árvore de processos no IQ-FMEA.

Fonte: Elaboração própria.

Para a avaliação de cada processo de fabricação, eram convocados os especialistas do referido processo, visando obter o melhor resultado possível na avaliação assim, evitando retrabalhos posteriores. Após o consenso, a decisão da equipe era soberana, não sendo permitido posteriormente dúvidas ou questionamentos por outros membros da equipe, pois o mesmo foi avaliado pelos especialistas no assunto.

Para a análise das causas foi utilizado os 6M's, conforme representado na Figura 18. Os 6M's são os critérios utilizados no Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe, onde o mesmo é uma ferramenta

bastante utilizada para descobrir a relação existente entre determinado resultado de um processo (efeito) e seus diversos fatores (causas) que podem influenciar no resultado. O referido diagrama é apresentado de forma visual permitindo identificar suas possíveis causas e seu relacionamento com o problema (BRAZ, 2002).

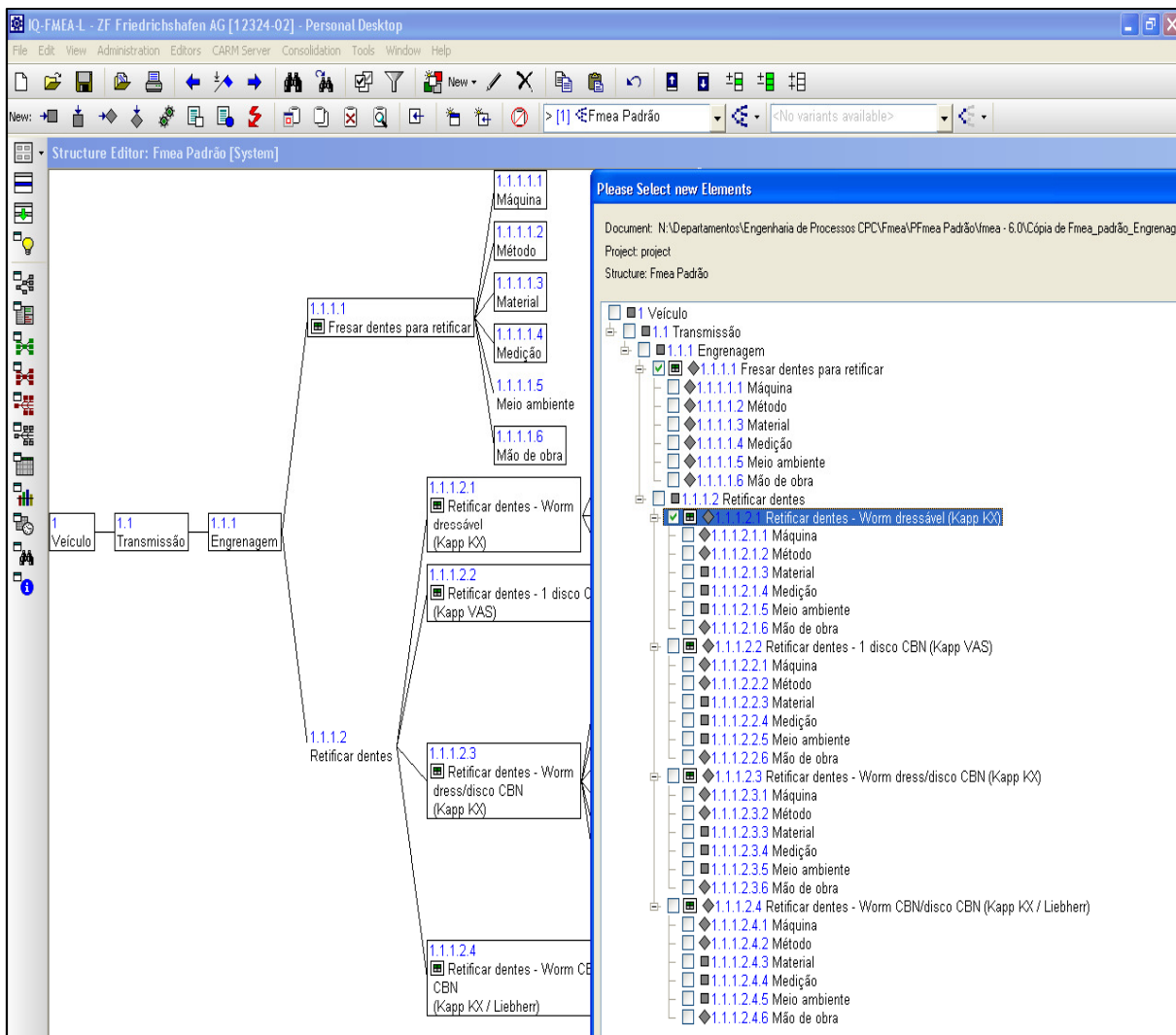


Figura 18 – Árvore de processos contendo os critérios 6M's.

Fonte: Elaboração própria.

Esses critérios 6M's (BRAZ, 2002) são referentes à:

- Máquina: toda causa envolvendo a máquina;
- Método: toda a causa envolvendo o método;
- Material: toda causa que envolve o material;
- Medição: toda causa que envolve os instrumentos de medida, sua calibração, etc.;

- Meio ambiente: toda causa que envolve o meio ambiente e o ambiente de trabalho;
- Mão de obra: toda causa que envolve uma atitude do colaborador.

A utilização desta ferramenta visa garantir que todas as possíveis causas tenham efetivamente sido consideradas e avaliadas.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS E PROPOSIÇÃO DO NOVO FMEA

A padronização dos textos no roteiro de fabricação permitiu a correlação entre o roteiro de fabricação do componente, associado à avaliação deste processo no FMEA padrão, para o qual o ponto de partida é a elaboração do roteiro de fabricação preliminar, seguido do diagrama do fluxo de processo também desenvolvido no sistema SAP, mitigando inconsistência no fluxo do processo e na sequência das operações. Com o diagrama do fluxo de processo definido puderam ser selecionadas as operações correspondentes no FMEA com o auxílio do software IQ-FMEA, restando apenas uma análise específica pela equipe multifuncional para o componente que está sendo analisado. Na Figura 19 podem-se verificar as etapas propostas para a elaboração do novo FMEA e, a seguir, o detalhamento de como foram suas aplicações.

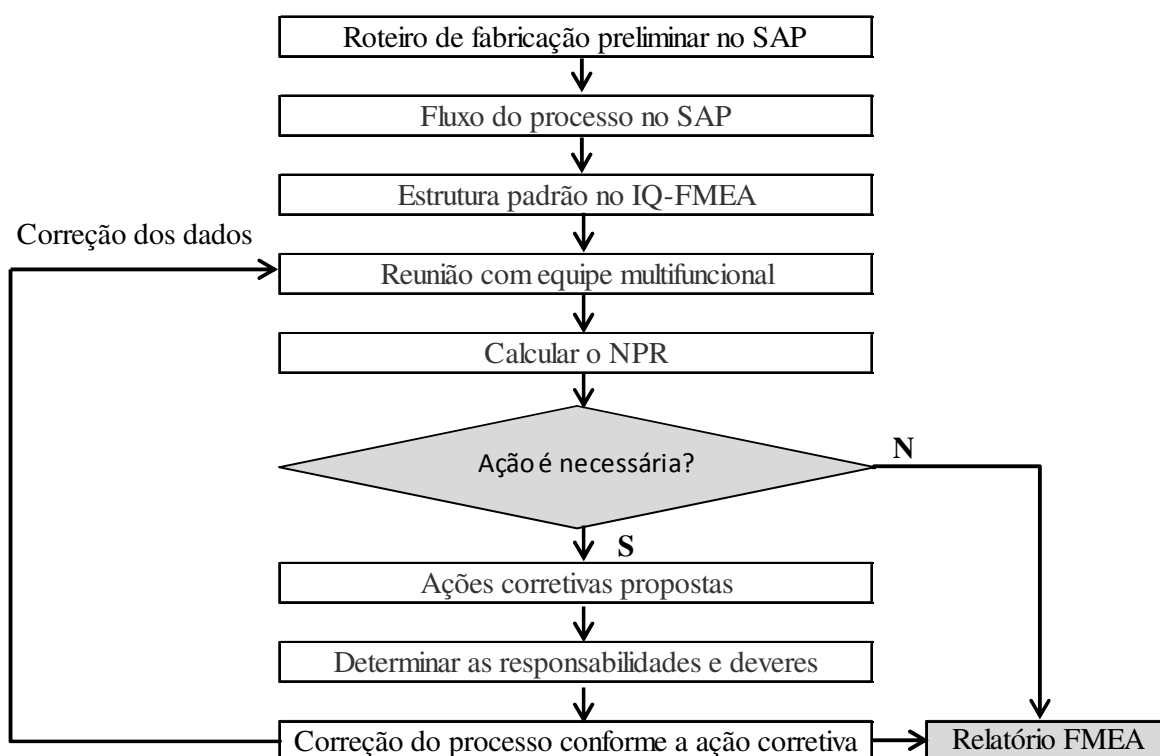


Figura 19 – Novo fluxo para elaboração do FMEA.

Fonte: Elaboração própria.

6.1. ROTEIRO DE FABRICAÇÃO PRELIMINAR NO SAP

Nesta etapa, o engenheiro de processos responsável pelo componente que será analisado, de posse do orçamento e do desenho do componente, deverá elaborar no sistema SAP um roteiro de fabricação preliminar, contendo todos os processos de manufatura necessários para o desenvolvimento do referido componente, respeitando a sequência das operações, as máquinas que serão processadas e tomando o devido cuidado para a seleção da

chave de controle, responsável pela correta simbologia no diagrama do fluxo de processo e a chave de modelo responsável, além da descrição padrão das operações por tecnologia de fabricação, também pelo texto descritivo da operação e pelo padrão para o preenchimento dos dados com os parâmetros de usinagem mínimos necessários para a correta execução do *setup* da máquina na produção. Com estas padronizações, o mesmo passou a ser selecionado através de *matchcode*¹⁰, pois esta informação é fundamental para o próximo passo do processo, o diagrama do fluxo de processo e também para texto do roteiro de fabricação, conforme apresentado na Figura 20.

Op...	Sb...	Centro ...	Cen.	Chave de controle	Chave de modelo	Descrição
1010		ENTRADA	6110	ZCON	CONTR03	Controlar
1020		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
1030		N50753	6110	CC06	ENTALH1	Entalhar dentes pronto
1040		G53936	6110	CC06	FRESA9	Fresar dentes para retificar
1050		N57532	6110	CC06	CHANFR2	Chanfrar e montar carga
1090		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
1100		TTM1	6180	ZTTM	TTM1	Tratamento térmico 1
2100		MOCOMF	6180	ZCON	RECEBIM	Recebimento e conferência no TTM
2107		FPD01	6180	ZTTT	LAVAR2	Lavar, cement, temp, lav, revi. (ciclo único)
2137		SP78523	6180	ZTTC	SHOT	Shot peening
2740		TQ96787	6180	ZTTC	OLEAR1	Olear por imersão
3090		TRANSP	6110	CC04	TRANSP	Transportar
3100		G41457	6110	CC06	RETIFI	Retificar interno Ø(s) + face(s)
3120		G63402	6110	CC06	RETIF13	Retificar dentes - Worm dressável
3170		FINAL	6110	CC03	FINAL	Finalizar Roteiro

Figura 20 – Roteiro de fabricação preliminar no SAP.

Fonte: Elaboração própria.

Vale ressaltar a importância da correta elaboração do roteiro de fabricação, pois todos os campos apresentados na Figura 20 são relevantes, pois isso determinará o sucesso dos passos seguintes.

6.2. DIAGRAMA DO FLUXO DE PROCESSO

Após a elaboração do roteiro de fabricação preliminar no SAP, o engenheiro de processos responsável gera o diagrama do fluxo de processo no SAP utilizando uma transação específica para esta finalidade, bastando preencher os campos relacionados ao produto (material) conforme representado na Figura 21 e solicitar a impressão conforme exemplo parcial do fluxo apresentado anteriormente na Figura 16.

¹⁰ *Matchcode* é uma ferramenta de pesquisa para dados gravados em um sistema. É uma ferramenta de busca eficiente e de fácil utilização para os casos em que a chave de um registro é desconhecida.

Impressão do diagrama do fluxo de processos do Roteiro

Material:

Centro:

Numerador de grupos:

Status do plano:

Cabeçalho

Equipe 1:

Figura 21 – Transação para impressão do diagrama do fluxo de processo no SAP.

Fonte: Elaboração própria.

6.3. SELEÇÃO DOS PROCESSOS NA ÁRVORE DE PROCESSOS DO IQ-FMEA

Com todos os processos de fabricação mapeados e com suas respectivas denominações padronizadas, com o diagrama do fluxo de processo em mãos, basta o engenheiro de processos responsável pelo componente acessar o software IQ-FMEA, selecionar a estrutura do FMEA padrão e selecionar os processos de fabricação conforme o diagrama do fluxo de processo na árvore de processos no IQ-FMEA, visto que, todos os processos de fabricação da organização foram mapeados e avaliados criticamente pela equipe multifuncional, bem como a descrição da operação no diagrama do fluxo de processo e na árvore de processos são exatamente os mesmos. Após a seleção dos processos de fabricação na árvore de processos no IQ-FMEA, está pronto o FMEA padrão preliminar. A Figura 22 representa um exemplo da seleção na árvore de processos.

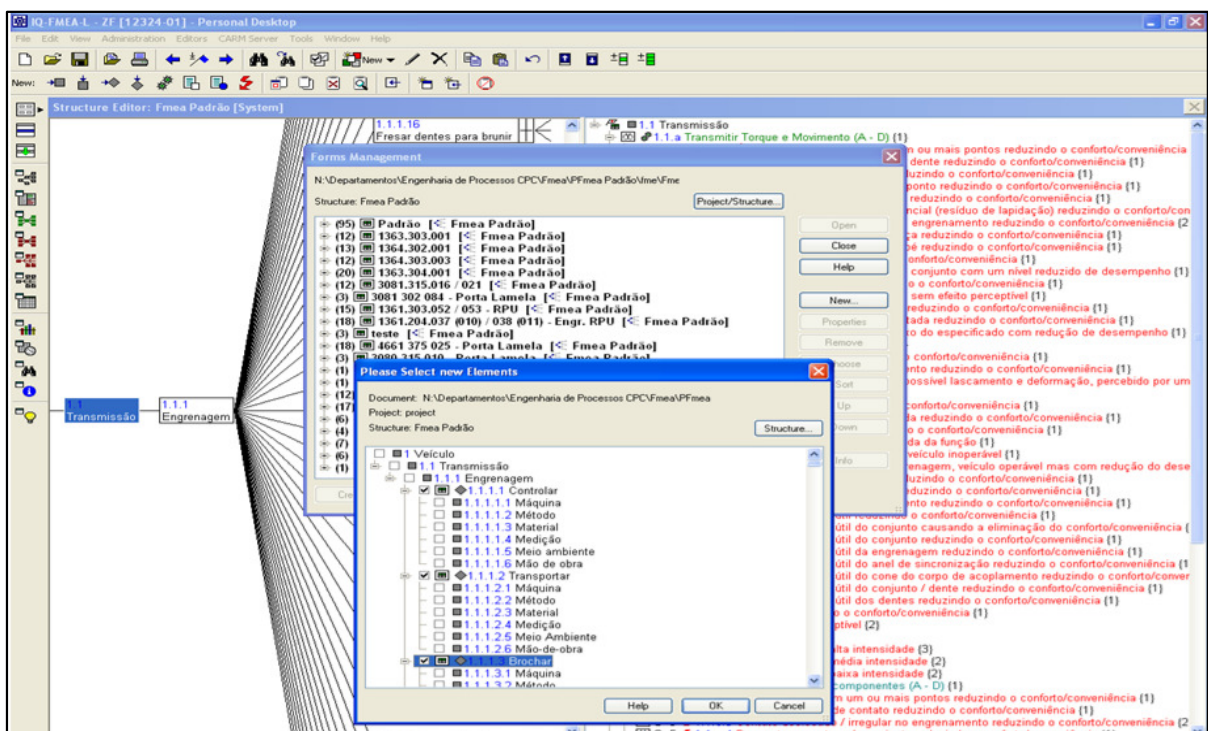


Figura 22 – Seleção dos processos na árvore de processos do IQ-FMEA.

Fonte: Elaboração própria.

6.4. ANÁLISE CRÍTICA DO COMPONENTE

Com o FMEA preliminar já elaborado, o responsável pelo desenvolvimento deste novo produto, planeja as reuniões com a equipe multifuncional como no FMEA tradicional, no entanto, a equipe inicia um processo de análise crítica do componente para avaliar alguma especificidade e tomada de ação, caso evidenciado sua necessidade pela equipe multifuncional. Caso isto ocorra, a própria equipe multifuncional deverá propor as ações corretivas necessárias, determinar as responsabilidades e deveres e monitorar a correção do processo e ações corretivas, visando mitigar a probabilidade de falhas, gerando um novo cálculo do NPR e se o mesmo resolver o problema, o FMEA está concluído.

A Figura 23 mostra um relatório parcial do FMEA concluído.

F M E A		Número: Fmea_padrão_Engrenagem.fme																	
Processo		Page:																	
Sistema:		Componente: X																	
Subsistema:		Responsável: Marco Aurelio																	
Item: xxxx xxx xxx - Engrenagem Helicoidal		Preparado por: Marco Aurelio																	
Ano modelo(s)/veículo(s): XXX		Criado: 22/03/2013																	
Time:		Modificado: 26/09/2013																	
Função	Requisito	Falha potencial	Efeito potencial da falha	S	C	Causa potencial da falha	Ação preventiva atual	O	Ações de detecção		D	NPR	Ações recomendadas	R/D	Resultado da ação				
									Causa	Modo da falha					S	O	D	RPN	
Process element: Retificar interno Ø(s) + face(s)																			
Diâmetro para gaiola aquilha (quando for requisito de produto ou processo)	Maior	[Engrenagem] Impossibilidade de fixação no dispositivo no processo posterior	7		[Mão de obra] Ajuste de máquina	Controle da 1ª peça após o ajuste da máquina	3	Ogiva de medição (5)		5	105		Marco Aurelio, Eng. Processo	P: Padronização dos dados de corte visando reduzir desgaste excessivo da ferramenta. Projeto NG	7	2	5	70	
		[Severidade conforme PO-7.11] >> Uma parcela do lote de produção pode ser refugada. Desvio do processo primário, incluindo velocidade reduzida da linha de produção e acréscimo de mão de obra.				Treinamento, incluindo on-the-job, conforme PO 6.1		Súbito + relógio comparador + anel padrão (5)					26/09/2013 completed						
					[Mão de obra] Falha operacional (Liberação próximo os limites superior / inferior de controle, set-up)	Treinamento, incluindo on-the-job, conforme PO 6.1	3	Ogiva de medição (5)		5	105		Marco Aurelio, Eng. Processo	P: Habilitar / instalar programa CNC para somente correção com incrementos 0,001 mm (9D)	7	2	5	70	
					[Máquina] Falha de máquina	Programa de Manutenção Preventiva conforme PO-7.13	3	Ogiva de medição (5)		5	105		NONE						
					[Método] Quebra do inserto - Emag	Controle periódica conforme Plano de Controle	3	Ogiva de medição (5)		5	105		Marco Aurelio, Eng. Processo	P: Realizar teste com nova ferramenta p/ torneamento dos diâmetros internos visando reduzir variação de medida e quebra de inserto. Projeto NG	7	2	5	70	

Figura 23 – Relatório parcial do FMEA concluído

Fonte: Elaboração própria

7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE O FMEA TRADICIONAL E O PROPOSTO

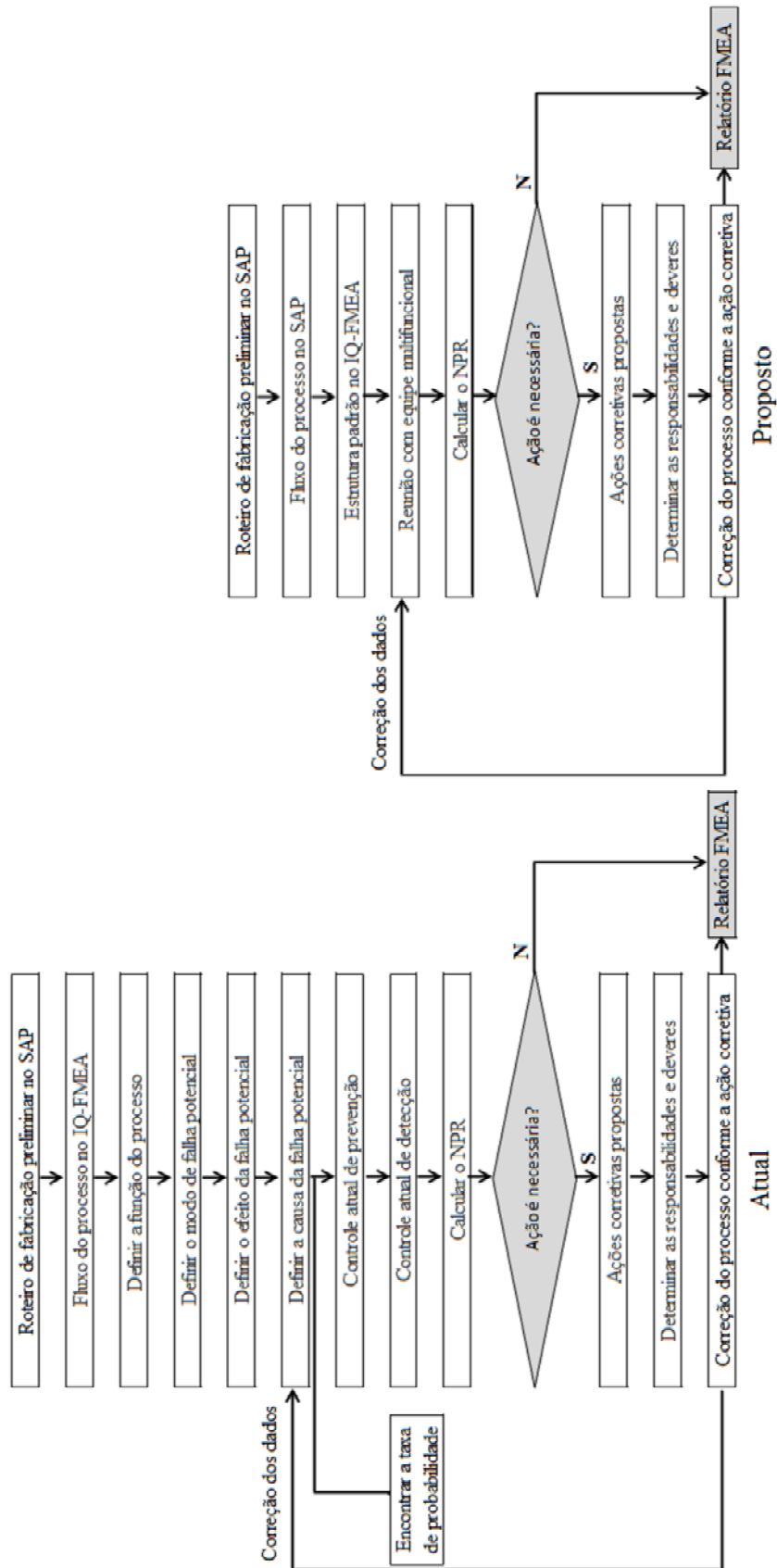


Figura 24 – Comparativo entre o fluxo atual e o proposto para elaboração do FMEA.

Fonte: Elaboração própria.

A organização estudada utilizava o FMEA tradicional, ou seja, seguindo todas as etapas e sequência sugeridas pelo formulário do manual de referência do FMEA 4ª edição (AIAG, 2008), sendo que para cada novo produto, todo este processo de elaboração era seguido, conforme mostrado anteriormente no Quadro 2.

Como podemos observar através do fluxograma comparativo representado na Figura 24, houve uma sensível redução das etapas para a elaboração do FMEA com o novo método proposto, pois todas as etapas iniciais do processo de elaboração do FMEA puderam ser suprimidas, sendo estas as etapas que mais geravam desperdícios. A seguir vamos relacionar alguns destes desperdícios e dificuldades encontrados no método tradicional:

- Tempo excessivo para a elaboração do FMEA, seis reuniões com duração de duas horas cada;
- Longo período para a conclusão de um FMEA, minimamente oito semanas eram necessários;
- Dificuldade em manter a mesma equipe em todas as reuniões, devido a atividades concorrentes e conflito de agenda;
- Interpretações divergentes para avaliação e pontuação dos índices das tabelas de severidade (S), detecção (D) e ocorrência (O);
- Desgaste na equipe multifuncional devido a conflito de ideias, morosidade e opiniões divergentes na interpretação do manual de referência do FMEA 4ª edição, etc.;
- Cálculo do NPR não confiáveis.

Com o novo método proposto para a elaboração do FMEA, pudemos observar uma redução expressiva em todos os aspectos, pois todas as deficiências apontadas no método tradicional foram discutidas e uma proposta de melhoria foi apresentada e implementada com sucesso pela equipe com o suporte do pesquisador, interferindo nas discussões e tomada de decisão, visando atingir o melhor resultado não só para a organização, mas também para a equipe com a experiência adquirida, trabalho em equipe e satisfação pelo resultado atingido. A seguir vamos relacionar algumas melhorias alcançadas em comparação ao método tradicional:

- Redução do tempo para a elaboração do FMEA de seis para duas reuniões e com tempo de duração também menor de 2 horas para 1,5 horas;

- Período para conclusão de um FMEA, máximo duas semanas, considerando uma reunião por semana;
- Regularidade na equipe devido à redução da quantidade de reuniões necessárias para a conclusão do FMEA;
- Eliminada as divergências na interpretação dos índices das tabelas, pois foi proposta uma adequação na interpretação da norma à organização estudada;
- Satisfação da equipe durante a análise crítica e conclusão do relatório do FMEA, pois são tratadas somente as especificidades do componente e conseqüentemente com mais objetividade;
- Cálculo do NPR confiáveis, pois todas as tabelas foram adequadas à organização estudada e os índices provenientes de dados históricos e reais, mitigando inconsistências nas interpretações;
- Correto uso do FMEA como uma ferramenta de predição de falhas.

Com o novo método em operação, pôde-se observar que o FMEA deixou de ser entendido pela equipe multifuncional como uma obrigação para cumprimento das normas de qualidade e passou a ser utilizada efetivamente como uma ferramenta preventiva, bem como sendo utilizada como dado de entrada para avaliação dos relatórios de análise de falhas (8D¹¹).

¹¹ 8D - Método para normalizar a resolução de problemas e não conformidades de itens, usando uma linguagem comum para facilitar a implementação de ações e a revisão gerencial.

8. CONCLUSÕES

Com o novo método proposto, FMEA padrão por processos de fabricação, muitos benefícios foram alcançados e serão descritos no decorrer deste capítulo, além da proposição inicial do estudo, onde a principal questão a ser respondida pela referida pesquisa é: Seria possível desenvolver um método mais viável para a elaboração do FMEA de processos?, pois a agilidade e flexibilidade no mundo globalizado cada vez mais tem se tornado um diferencial competitivo, aliado à confiabilidade no desenvolvimento de produtos.

Com o novo método, este processo foi simplificado e racionalizado, ganhando eficácia na elaboração do FMEA, pois após a elaboração preliminar do roteiro de fabricação no SAP, o engenheiro de processos, responsável pelo produto a ser desenvolvido, gera um diagrama do fluxo de processo com a mesma base do roteiro de fabricação e através desse diagrama do fluxo de processo, o mesmo passa a estruturar o novo FMEA através da árvore de processos do IQ-FMEA, onde o mesmo seleciona as operações constantes no diagrama do fluxo de processo, visto que os textos estão padronizados e, imediatamente após, gera o relatório preliminar do novo FMEA.

Vale ressaltar que a empresa estudada é uma multinacional de grande porte, sendo assim, dispõe de softwares de gestão como o SAP e IQ-FMEA, no entanto, o método proposto por esta pesquisa não se limita a estes softwares, pois pode ser replicado em outro sistema mais simples ou planilha do *Microsoft Excel*, por exemplo, desde que sejam seguidos rigorosamente todos os passos aqui propostos, bem como é exigido um grau de maturidade elevado da empresa e seus gestores, devido a sua complexidade e dispêndio de muitas horas da equipe para a elaboração desse método, onde foram realizadas 211 reuniões com a equipe multifuncional com duração de 2 horas cada e 66 colaboradores foram envolvidos neste processo, motivo pelo qual esta pesquisa foi realizada em apenas uma empresa.

Após esta etapa, com o relatório preliminar do FMEA, apenas duas reuniões com 1,5 horas passaram a ser necessárias para a conclusão e análise crítica do novo produto, avaliando sua especificidade e corrigindo alguma ação caso a equipe multifuncional julgue necessário, atingindo assim padrões internacionais de produtividade da mão de obra, pois em comparação com a produtividade média do Brasil em relação aos Estados Unidos era de apenas 27%, com esta proposta foi conseguido uma redução bastante expressiva, ou seja, 75% do tempo,

superando a produtividade dos Estados Unidos e, conseqüentemente, reduzindo os custos de desenvolvimento.

Outro benefício importante identificado foi a correta utilização do FMEA como uma ferramenta de predição de falhas potenciais, pois passou a ser utilizada como dado de entrada para a análise de falhas dos relatórios de 8D.

Também houve um ganho adicional no quesito qualidade para todos os produtos, pois todos passaram a ser avaliados severamente, ou seja, pelo item mais crítico por processo de fabricação. Outro problema também sanado diz respeito aos produtos que ainda não tinham o FMEA e até então eram necessários solicitações de desvios aos clientes, principalmente para efeito de auditorias.

Com os resultados obtidos, é possível afirmar que os objetivos estabelecidos pela pesquisa foram atingidos, superando as expectativas, pois também permitiu ganhos qualitativos adicionais. Vale enfatizar que a pesquisa aqui realizada poderá ser generalizada para outras organizações, pois o método proposto tem ênfase nos processos de fabricação, não se restringindo a um tipo de produto específico.

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como apresentado na pesquisa, o método proposto para a elaboração do FMEA de processos, mostrou-se eficaz e possível de ser generalizado. Sendo assim, recomenda-se a aplicação desse método em outra empresa de menor porte e com software mais simples e também poderia ser aplicado o método em uma empresa de outro segmento de produtos.

REFERÊNCIAS

AUTOMOTIVE INDUSTRY ACTION GROUP (AIAG). *Potential failure mode and effects analysis (FMEA): reference manual*. 4th. ed. Southfield: [AIAG], 2008

BOWLES, J. B.; PELÁEZ, C. Fuzzy logic prioritization of failure in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, Amsterdam, v. 50, n. 2, p. 203-213, 1995.

BRAZ, M. A. Ferramentas e gráficos básicos. In:_____. *Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços*. São Paulo: Atlas, 2002.

CHANG, C.-L.; LIU, P.-H.; WEI, C.-C. Failure mode and effects analysis using grey theory. *Integrated Manufacturing Systems*, Bingley, p. 211-216, 2001.

COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research. Action research for operation management. *International Journal of Operations & Production Management*, Bingley, v. 22, p. 220-240, 2002.

CROSBY, P. B. *Qualidade é investimento*. 7. ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1999.

ELMQVIST, J.; NADJM-TEHRANI, S. Tool support for incremental failure mode and effects analysis of component-based systems. *Design, Automation and Test in Europe*, New York, p. 921-927, 2008.

ESTORILIO, C.; POSSO, R. Redução das irregularidades identificadas na aplicação do FMEA de processo: um estudo em produtos estampados. *Produção Online*, Florianópolis, v. 11, n. 4, p. 995-1027, 2011.

FERREIRA, H.; TOLEDO, J. *Metodologias e ferramentas de suporte a gestão do processo de desenvolvimento de produto na indústria brasileira de autopeças*. Florianópolis: UFSC, 2001. v. 3.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2002.

HIRAYAMA, R. E. *Otimização do planejamento de processos de montagem final da indústria automotiva*. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Automotiva) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

JURAN, J. *A qualidade desde o projeto*. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

JURAN, J. M.; GODFREY, A. *Juran's quality handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1999.

LAURENTI, R. *Sistematização de problemas e práticas da análise de falhas potenciais no processo de desenvolvimento de produtos*. 2010. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

LEE, B. H. Using FMEA models and ontologies to build diagnostic models. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, London, p. 281-293, 2001.

LIKER, J. K. *O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo*. Porto Alegre: Bookman, 2005.

LIU, H.-C.; LIU, L.; BIAN, Q.-H.; LIN, Q.-L.; DONG, N.; XU, P.-C. Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*, Elmsford, p. 4403-4415, 2010.

McKINSEY, I. *Produtividade no Brasil: a chave do desenvolvimento acelerado*. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

MIGUEL, P. A. C. *Qualidade: enfoques e ferramentas*. São Paulo: Artliber, 2006.

MIGUEL, P. C.; SEGISMUNDO, A. O papel do FMEA no processo de tomada de decisão em desenvolvimento de novos produtos: estudo em uma empresa automotiva. *Produto & Produção*, Porto Alegre, v. 9, p. 106-119, 2008.

MONTGOMERY, T. A.; PUGH, D. R.; LEEDHAM, S. T.; TWITCHETT, S. R. FMEA automation for the complete design process. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996, Las Vegas, *Proceedings...* Las Vegas: IEEE, 1996. p. 30-36

NEPAL, B. P.; YADAV, O. P.; MONPLAISIR, L.; MURAT, A. A framework for capturing and analysing the failures due to system / component interactions. *Quality and Reliability Engineering International*, Malden, p. 265-289, 2008.

PALADINI, E. P. *Gestão estratégica da qualidade: princípios, métodos e processos*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

POSSO, R. K. *Análise dos fatores de influência na aplicação do "FMEA de Processo" em produtos estampados e sugestão de melhoria*. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PRICE, C. J. Effortless incremental design FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996, Las Vegas, *Proceedings...* Las Vegas: IEEE, 1996. p. 43-47.

PRICE, C.; TAYLOR, N. Automated multiple failure FMEA. *Reliability Engineering and System Safety*, Amsterdam, p. 1-10, 2002.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FUENTE, D. D. L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality and Reliability Management*, Bradford, v.19, n.2, p.137-150, 2002.

RATH; STRONG. *Six Sigma*. Massachusetts: Rath & Strong, 2002.

SAP, Help Portal. Disponível em <<http://help.sap.com>>. Acesso em 15 Julho 2014.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, D. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. 2nd ed. Milwaukee: ASQ, 2003.

THIOLLENT, M. *Metodologia da pesquisa-ação*. São Paulo: Cortez, 2002.

TOLEDO, J. C.; BORRÁS, M. A. A.; MERGULHÃO, R. C.; MENDES, G. H. S. *Qualidade: gestão e métodos*. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

TUBINO, D. *Manual de planejamento e controle da produção*. São Paulo: Atlas, 1997.

TUMER, I. Y.; STONE, R. B.; BELL, D. G. Requirements for a failure mode taxonomy for use in conceptual design. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN, 14., 2003, Stockholm, *Proceedings...* Stockholm: Design Society, 2003.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA). *Quality management in the automobile industry*. Frankfurt: [VDA], 2006. (Product and Process FMEA, v. 4).

WANG, Y.-M.; CHIN, K.-S.; POON, G. K. K.; YANG, J.-B. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, Elmsford, p. 1195-1207, 2009.

WERKEMA, M. C. *Lean seis Sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing*. Belo Horizonte: Werkema, 2006.

WIRTH, R.; BERTHOLD, B.; KRAMER, A.; PETER, G. Knowledge-based support of system analysis for the analysis of failure modes and effects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Swansea, v. 9, n. 3, p. 219-229, 1996.

APÊNDICE A – TABELA PARA ARQUIVAMENTO DAS INFORMAÇÕES EXTRAÍDAS DAS PUBLICAÇÕES

Registro das Informações Provenientes das Publicações Selecionadas									
Id	Título	Autores	Tipo	Local	Ano	País	Base de Dados	Resumo da Proposta da Publicação	
1	Evaluate the orderings of risk for failure problems using a more general RPN methodology	Kuei-Hu Chang	Periódico	Microelectronics Reliability	2009	Taiwan	Science Direct	Este artigo propõe um algoritmo geral e eficiente para avaliar o risco de falha, que combina a média geométrica ponderada ordenada (OWGA) e para a priorização das falhas, ensaio e avaliação laboratorial para a tomada de decisão (DEMATEL).	
2	Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean	Ying-Ming Wang; Kwai-Sang Chin; Gary Ka Kwai Poon Jian-Bo Yang	Periódico	Expert Systems with Applications	2009	China	Science Direct	Este artigo propõe a avaliação de riscos da severidade, ocorrência e detecção como variáveis de fuzzy e a avaliação destes índices sejam feitos utilizando termos linguísticos de fuzzy. Os novos índices são definidos a partir de médias geométricas ponderadas e calculadas através de um conjunto de nível alpha e programação linear.	
3	Conceptual process planning – na improvement approach using QFD,FMEA and ABC methods	Alaa Hassan Ali Siadat Jean-Yves Dantan Patrick Martin	Periódico	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2010	França	Science Direct	Este artigo propõe uma abordagem baseada no custo, onde o QFD serve como dado de entrada para o FMEA e o método ABC é considerado para estimar os custos da manufatura com o objetivo de suportar o time a tomar decisão sobre qual processos alternativos é o melhor em termos de Qualidade e Custo.	
4	Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory	Hu-Chen Liu Long Liu Qi-Hao Bian Qin-Lian Lin Na Dong Peng-Cheng Xu	Periódico	Expert Systems with Applications	2011	China	Science Direct	Este artigo propõe o uso da lógica de fuzzy e a teoria Grey para resolver os dois principais problemas identificados pelo autor no método tradicional para a elaboração do FMEA, que são: 1- A equipe multifuncional frequentemente demonstra diferentes opiniões e conhecimento entre os integrantes da equipe, produzindo diferentes tipos de avaliação devido a natureza multidisciplinar da equipe; 2- Determinação do número de prioridade de risco, que no método tradicional utiliza-se o produto dos tres fatores ocorrência, severidade e detecção, o qual tem sido bastante criticado pela sua deficiência. O autor propõe usar termos linguísticos de fuzzy para expressar a severidade, ocorrência e detecção, e na sequência avaliar todos os modos de falha através de uma matriz de decisão que é dividida em duas séries, padrão e comparativa para a obtenção da diferença e computação do coeficiente de relação, determinação do grau de relação, introduz um peso para o fator de risco e assim priorizando o risco conforme este ranking.	
5	A system for distributed sharing and reuse of design and manufacturing knowledge in the PFMEA domain using a description logics-based ontology	Walter L. Mikos João C.E. Ferreira Paulo E.A. Botura Leandro S. Freitas	Periódico	Journal of Manufacturing Systems	2011	Brasil	Science Direct	Este artigo propõe o desenvolvimento de uma metodologia baseada na lógica descritiva usando o domínio da ontologia, visando o compartilhamento e reuso do conhecimento no FMEA	
6	An improved method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft engine rotor blades	Xiaoyan Su; Yong Deng; Sankaran Mahadevan; Qilian Bao	Periódico	Engineering Failure Analysis	2012	China	Science Direct	Este artigo propõe o uso da teoria de Dempster-Shafer, também conhecida como teoria das funções de crença, que nada mais é do que a generalização da teoria bayesiana da probabilidade subjetiva para obter a avaliação da prioridade de risco para o modo de falha, agregando diferentes opiniões dos especialistas, os quais podem ser imprecisos e incertos, combinando a avaliação de risco por múltiplos especialistas. Esta abordagem modificada adicionou a este constructo (BBAs) com a teoria da incerteza a fim de lidar com a combinação de evidências conflitantes.	
7	Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review	Hu-Chen Liu; Long Liu; Nan Liu	Periódico	Expert Systems with Applications	2012	China	Science Direct	Este artigo propôs a revisão de 75 artigos no período de 1992 à 2012 em periódicos internacionais para avaliar as abordagens e limitações no cálculo do NPR no método convencional do FMEA. A referida pesquisa observou que o FMEA baseado no cálculo puro do NPR não é aderente e robusto na priorização dos modos de falha. O autor também evidenciou que existem muitas abordagens sendo apresentadas para suportar a priorização dos modos de falha como: <i>fuzzy grey theory</i> , <i>AHP/ANP</i> e programação linear. No entanto, ainda existem dúvidas quanto sua aplicabilidade na vida real das organizações.	

APÊNDICE B – LISTA DE PUBLICAÇÕES ANALISADAS NA PESQUISA DE LAURENTI (2010) RELACIONADOS AO NPR NÃO PRECISOS

Registro das Informações Provenientes das Publicações Seleccionadas		
Id.	Resumo da Proposta da Publicação	Referência Bibliográfica
1	Método FMEA melhorado, com uma nova forma de calcular o NPR, o qual é dado maior peso ao índice Ocorrência. Os autores propuseram o método baseando-se em críticas feitas a outro método de cálculo da expectativa de custo das falhas que chegam ao cliente e das ações corretivas tomadas.	BEN-DAYA, M.; RAOUF, A. A revised failure mode and effects analysis model. International Journal of Quality & Reliability Management , v.13, n.1, p.43- 47, 1996.
2	Apresenta o método <i>Extend</i> FMEA (EFMEA), que usa um gráfico (<i>Scree Plot</i>) para priorizar os riscos associados com as falhas e avaliar a adequação das ações de melhoria. Por meio da análise do gráfico gerado e de uma expressão matemática é definido a ação de melhoria mais adequada para ser implementada, levando em consideração tanto a viabilidade da ação, quanto o seu impacto sobre o risco.	BLUVBAND, Z.; GRABOV, P.; NAKAR, O. Expanded FMEA (EFMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2004. Proceedings... Israel, 2004. p.31-36.
3	Método que modifica o cálculo do NPR do FMEA. No método o autor propõe: (1) retirar o índice detecção, que é o mais subjetivo de todos; (2) segmentar a severidade em classificações nominais como segurança, operacionalidade e estética, relacionando-a com o modo de falha, além de definir um valor máximo para a probabilidade ocorrência em cada classe, sendo que os modos de falha que	BOWLES, J. An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2003. Proceedings... EUA, 2003. p.380-386.

	ultrapassarem os valores pré-estipulados devem ser combatidos; (3) calcular a expectativa de custo para ajudar na avaliação do efeito da mudança no projeto (<i>design</i>), multiplicando a probabilidade de ocorrência da falha e o custo do efeito da falha.	
4	O método é composto de duas maneiras baseadas na Lógica <i>Fuzzy</i> para a priorização dos modos de falhas. A primeira, avaliação crítica <i>Fuzzy</i> , baseia-se no ranque numérico do NPR tradicional e usa os valores dos índices provenientes da análise de confiabilidade. A segunda realiza uma avaliação crítica usando ranque linguístico <i>Fuzzy</i> , e pode ser executada em fases iniciais de projeto (<i>design</i>) onde informações são pouco detalhadas pelo fato da prioridade ser calculada por meio de ranques linguísticos.	BOWLES, John B.; PELAEZ, C. Enrique Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety , v.50, n.2, p.203-213, 1995.
5	Software para a avaliação da criticidade dos modos de falhas baseado na teoria da lógica <i>Fuzzy</i> . Propõe o uso de uma função de risco, que permite calcular de forma automatizada as regras da teoria <i>Fuzzy</i> .	BRAGLIA, M.; FROSOLINI, M.; MONTANARI, R. Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management , v.20, n.4, p.503-524, 2003.
6	Método chamado <i>Priority-Cost</i> FMECA (PC-FMECA). Os modos de falhas a serem combatidos são classificados por cálculo modificado do NPR. O cálculo prioriza a severidade e utiliza a ferramenta AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) e	CARMIGNANI, Gionata An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority cost FMECA. Reliability Engineering & System Safety , 2008.

	<p>estima a rentabilidade de cada falha corrigida. A rentabilidade considera as vantagens obtidas com a melhora do projeto (<i>design</i>) menos os custos que essas melhorias causariam. A lucratividade financeira de se evitar cada falha é dada pela expressão $P = TL_c - TL_{wm} - CoA$, onde: TL_c = perda financeira caso a falha venha a ocorrer; TL_{wm} = perda financeira estimada com a ação de melhoria; CoA = o custo da ação. A abordagem, além disso, propõe uma expressão matemática para selecionar o melhor mix de modos de falhas a serem atacados, levando em conta o orçamento disponível da empresa.</p>	
7	<p>Aplica a teoria <i>Grey</i> para calcular o NPR e ajudar em decisões que as informações são incompletas e o comportamento do sistema é explorado usando análise relacional e modelos de construção.</p>	<p>CHANG, C.; LIU, P.; WEI, C. Failure mode and effects analysis using grey theory. Integrated Manufacturing Systems, v.12, n.3, p.211-216, 2001.</p>
8	<p>O método propõe a aplicação da lógica <i>Fuzzy</i> para eliminar conversão dos índices diretamente pela avaliação da linguística e avaliação dos fatores e a teoria <i>Grey</i> para obter o NPR atribuindo pesos relativos aos coeficientes sem a utilidade de qualquer função.</p>	<p>CHANG, C.; WEI, C.; LEE, Y. Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. Kybernetes, v.28, n.8-9, p.1072-1080, 1999.</p>
9	<p>Apresenta o método <i>Design process</i> FMEA. O novo método incrementa ao FMEA tradicional um questionário para ajudar na identificação dos modos de falhas e nos seus efeitos. O <i>Design</i></p>	<p>CHAO, L.; ISHII, K. Design process error proofing: Failure modes and effects analysis of the design process. Journal Mechanical Design, Transactions ASME, v.129, n.5, p.491-501, 2007.</p>

	<p><i>process</i> FMEA usa uma nova forma de priorizar os modos de falha, por meio do cálculo do EPN (<i>Error priority number</i>). Os erros são advindos das áreas: conhecimento, análise, comunicação, execução, mudança e organização.</p>	
10	<p>O método apresentado avalia a hierarquia e a interdependência das ações de melhoria aplicando o ISM (<i>Interpretative structural model</i>), calcula o peso das ações por meio do ANP (<i>Analytic network proces</i>) e, por fim, determina a ordem de prioridade das ações por meio do UPN (<i>Utility priority number</i>).</p>	<p>CHEN, J. K. Utility priority number evaluation for FMEA. Journal of Failure Analysis and Prevention, v. 7, n. 5, p.321-328, 2007.</p>
11	<p>Propõe a integração do FMEA na primeira e segunda fase do QFD, fases onde são levantados requisitos do produto e desdobrados em características técnicas. A Teoria da Lógica <i>Fuzzy</i> é aplicada tanto para o QFD quanto para o FMEA. A integração entre FMEA e QFD, por ser baseado na Teoria da Lógica <i>Fuzzy</i>, é feita por expressões matemáticas, tendo como resultado final requisitos de produto condizentes com as necessidades dos clientes.</p>	<p>CHEN, Liang-Hsuan; KO, Wen-Chang Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA. Applied Mathematical Modelling, v.33, n.2, p.633-647, 2009.</p>
12	<p>Software baseado em conhecimento que usa a lógica <i>Fuzzy</i> para eliminar as incertezas dos índices do FMEA. O software auxilia colaboradores inexperientes a realizarem a análise do FMEA na fase de projeto conceitual para melhoria da qualidade e confiabilidade,</p>	<p>CHIN, K.; CHAN, A.; YANG, J. Development of a fuzzy FMEA based product design system. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v.36, n.7-8, p.633-649, 2008.</p>

	avaliação de alternativas de design, seleção de materiais, e avaliação do custo.	
13	Método FMEA que usa a abordagem <i>Evidential Reasoning</i> (ER – racionalização por evidência) na análise de decisão de múltiplos atributos. O método proposto captura a diversidade de opiniões dos membros do time e prioriza os modos de falhas sob diferentes tipos de incertezas. O método permite que os fatores de risco sejam agregados em uma medição não linear, ao contrário da multiplicação tradicional no cálculo do NPR.	CHIN, K.-S.; WANG Y.-M.; POON G.K.K.; YANG J.-B. Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. Computers & Operations Research , v.36, n.6, p.1768-1779, 2009.
14	TFMEA (<i>Total Failure Mode and Effects Analysis</i>). O novo método, além da análise tradicional feita no projeto (<i>design</i>) e processo de fabricação de um produto feita pelo FMEA tradicional, previne falhas de maneira holística, com a inclusão da análise de falhas originadas em todos os departamentos da empresa.	DEVADASAN, S. R.; MUTHU S.; SAMSON R. N.; SANKARAN R. A. Design of total failure mode and effects analysis programme. International Journal of Quality & Reliability Management , v.20, n.5, p.551-568, 2003.
15	FMEA baseado na <i>Fuzzy Utility Theory</i> , para definir custos devido a falhas. O método propõe o cálculo dos índices: expectativa de custo de cada modo de falha, utilidade dos valores, e índice de prioridade de risco (<i>Risk Priority Index - RPI</i>). A priorização dos modos de falhas é feita pelo RPI, para a tomada de decisão das ações de melhoria a serem implementadas. É proposto também, por meio da <i>Fuzzy Theory Utility</i> , uma forma	DONG, C. Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation. International Journal of Quality & Reliability Management , v.24, n.9, p.958-971, 2007.

	de otimizar as opiniões dos especialistas durante a aplicação da ferramenta, visto que cada um tem sua opinião sobre os valores dos índices e na maioria das vezes não são iguais.	
16	Novo método para priorizar os riscos de modos de falhas. A novidade do método consiste no novo gerenciamento dos dados provenientes do time de projeto (<i>design</i>), normalmente obtido por escala qualitativa, sem necessitar de uma conversão numérica artificial e arbitrária, e dessa forma, manter as informações sempre em uma escala qualitativa. Através da aplicação desse método, mudanças arbitrárias e artificial das escalas são eliminadas, desse modo, os índices são classificados de acordo com sua importância no projeto (<i>design</i>) e os modos de falhas são classificados mais adequadamente do que da maneira tradicional. A aplicação é feita por meio de uma equação podendo ser feita por um computador.	FRANCESCHINI, F.; GALETTO, M. A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA. International Journal of Production Research , v. 39, n. 13, p.2991-3002, 2001.
17	Método que usa o sistema de inferência <i>fuzzy</i> (<i>fuzzy inference system</i>) no FMEA para estimar o risco a partir de opiniões de especialistas sobre a quantificação de variáveis linguísticas. O sistema é usado para o cálculo do NPR baseado em um <i>fuzzy model</i> , chamado de <i>fuzzy NPR</i> . O modelo transforma os valores subjetivos em quantitativos de forma lógica.	GUIMARAES, A. C.; LAPA, C. M. F. Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning. Annals of Nuclear Energy , v. 31, n. 1, p.107-115, 2004.

18	<p>Método FMEA com aspectos financeiros de risco e o modelo ABC (<i>Activated- Based Cost</i>). O método mostra como pode ser quantificado os riscos de um plano de processo de manufatura. Na quantificação de riscos o método usa conceitos do <i>cost-based</i> FMEA e o ABC baseado no custo para estimar os custos de manufatura do produto levando em consideração o risco e o custo do controle de qualidade. O ABC é aplicado para estimar o custo da manufatura do plano de processo. Já o <i>cost-based</i> FMEA é utilizado para analisar os modos de falhas potenciais do processo e estimar os impactos financeiros dos modos de falhas.</p>	<p>HASSAN, A. <i>et al.</i> Cost-based FMEA and ABC concepts for manufacturing process plan evaluation. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBERNETICS AND INTELLIGENT SYSTEMS, 2008. Proceedings... Síria, 2008.</p>
19	<p>O método <i>Group-Based Failure Effects Analysis</i> (GFEA) usa o <i>Risk Priority Category</i> (RPC), baseado na lógica <i>Fuzzy</i>, e técnicas de tomada de decisão de grupo para estudar os efeitos das falhas sobre as funções/subsistemas e a categoria do risco da falha com informações incertas. Além disso, o método usa operadores compensados que permite balancear os fatores das falhas ou os atributos das funções/subsistemas. Com isso é possível agregar decisões intuitivas e divergentes de especialistas sobre a importância de fatores de falhas e efeitos de falhas sobre os fatores.</p>	<p>JENAB, K.; DHILLON, B. Group-based failure effects analysis. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, v. 12, n. 4, p.291-307, 2005.</p>

20	<p>Método FMEA baseado na teoria da probabilidade desenvolvida para calcular o NPR para todos modos de falha, componentes e sistema. Desta forma, todos os índices calculados podem ser sistematicamente comparados numa base racional, uma vez que são expressos em termos de uma escala probabilística comum. O método apresentado também apresenta o <i>Ordered Matrix</i> FMEA, onde todas as informações qualitativas e quantitativas sobre são gravadas de forma gráfica e conveniente, sobre os relacionamentos dos modos de falhas, causas e efeitos. O método foi incorporado a um sistema computacional para identificar eficientemente todas as causas potenciais de falhas.</p>	<p>KARA-ZAITRI, C.; KELLER, A. Z.; BARODY, I.; FLEMING, P. V. An improved FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991. Proceedings... Reino Unido, 1991. p.248-252.</p>
21	<p>O objetivo do método <i>scenario-based</i> FMEA é delinear e avaliar mais precisamente o risco de eventos. Probabilidade e custo fornecem base consistente para análise de risco e tomada de decisão, e cenários de falhas fornecem continuidade através de níveis e fases do ciclo de vida do produto. O método usa a custos esperados de falhas para tomar decisões sobre investimentos em confiabilidade e servibilidade (<i>serviceability</i>). Os cenários de falhas são cenários indesejáveis de uma cadeia de causa-efeito, sendo que cada cenário potencialmente resulta em consequências</p>	<p>KMENTA, S.; ISHII, K. Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME, v. 126, n. 6, p.1027-1035, 2004.</p>

	<p>negativas com alguma probabilidade. A cadeia de causa-efeito pode ser aumentada quando são identificados novos efeitos e novas causas. A expectativa de custo é calculada por um modelo matemático que leva em consideração a probabilidade do cenário e uma medida de consequência.</p>	
22	<p>O objetivo do framework desenvolvido é capturar e analisar os modos de falha que podem ocorrer devido à interação dos componentes e elementos funcionais de um sistema. O framework baseia-se na definição da arquitetura do produto, seguido pela aplicação de um modelo chamado SFC (<i>Structure- Functions- Constraints</i>). O modelo visa identificar, por meio de simulação, as interações entre os componentes e suas restrições e extrair os modos de falhas que poderiam ocorrer devido às interações entre os componentes. Os modos de falhas são inseridos em uma matriz (<i>functional interactions failure matriz</i>). São calculados índices de severidade, ocorrência, detecção e o NPR para cada modo de falha identificado utilizando <i>fuzzy logic</i>. Além do índice de prioridade de risco (NPR), o framework apresenta o cálculo de outro índice, para os modos de falha, chamado “<i>criticality index</i>” para apoiar a tomada de decisão. Com os dois índices é elaborada uma tabela de priorização dos modos de falha para os</p>	<p>NEPAL, B.; YADAV, O. P.; MONPLAISIR, L.; MURAT, A. A framework for capturing and analyzing the failures due to system/component interactions. Quality and Reliability Engineering International, v.24, n.3, p.265--289, 2008.</p>

	quais são recomendadas ações de melhoria.	
23	O método FMEA que usa a lógica probabilística <i>Approximate Reasoning</i> (racionalização aproximada). O formalismo <i>Approximate Reasoning</i> é baseado na lógica <i>Fuzzy</i> , que é combinada com a teoria <i>Grey</i> para gerar o NPR do FMEA. O objetivo é desenvolver um método que não necessite do uso de uma função para se definir os índices de severidade, probabilidade de ocorrência e de detecção para a análise e para evitar o uso do NPR tradicional. Isto é alcançado usando informações advindas de especialistas e integrando-as em uma maneira formal para expressar um método subjetivo de ranquear riscos.	PILLAY, A.; WANG, J. Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning. Reliability Engineering and System Safety , v. 79, n. 1, p.69-85, 2003.
24	O método apresenta uma nova perspectiva para o FMEA baseada sobre dois sistemas de apoio a decisões. O primeiro permite classes, ou intervalos de valores, serem determinados não apenas para os índices de detecção, frequência e severidade, mas também para a resultante prioridade de risco de cada causa da falha potencial. O segundo sistema expande o primeiro, aplicando a teoria <i>Fuzzy</i> em todas as variáveis consideradas no sistema de decisão, por meio de regras qualitativas as quais fornecem um ranking dos riscos das causas de falhas potenciais do sistema de produção.	PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FUENTE, D. D. L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management , v.19, n.2, p.137-150, 2002.

25	<p>O método <i>Life Cost-Based</i> FMEA é um método para comparar e selecionar alternativas de projeto (<i>design</i>) capaz de reduzir o custo do ciclo de vida de um sistema particular. A simulação de Monte Carlo é aplicado ao método para considerar incertezas em relação à: tempo de detecção, tempo de reparo, ocorrência, tempo de espera, tempo de parada, e modelos de cenários complexos. <i>Life Cost-Based</i> FMEA não apenas auxilia nos melhoramentos do projeto e seleção de concepções, mas também permite que seja melhorada e planejada a manutenção preventiva e programada de componentes. Além disso, o método permite comparações de diferentes medidas de melhoria disponíveis e traça a análise em termos de custo, uma medida de risco amplamente aceitável.</p>	<p>RHEE, S. J.; ISHII, K. Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. Advanced Engineering Informatics, v. 17, n. 3-4, p.179-188, 2003.</p>
26	<p>O método para priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria expande a priorização de risco além do convencional NPR do FMEA. Foi definido uma nova escala de 1 a 1000 chamada <i>Risk Priority Ranks</i> (RPRs), usada para representar o aumento do risco de 1000 maneiras possíveis para severidade-ocorrência-deteção. A atribuição de valores para o risco é baseada na regra "<i>If-Then</i>".</p>	<p>SANKAR, N.; PRABHU, B. Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, v.18, n.3, p.324-336, 2001.</p>

27	<p>Método que usa o FMEA para gerenciar riscos técnicos e otimizar o processo de tomada de decisão no PDP. O método apresentado parte do princípio que existem projetos parciais dentro de um projeto principal, assim o é sugerida uma nova maneira para calcular o NPR do projeto principal. Essa maneira leva em conta o NPR de cada projeto, seus fatores de riscos e a influência da qualidade.</p>	<p>SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P. Failure mode and effects analysis (FMEA) in the context of risk management in new product development: A case study in an automotive company. International Journal of Quality & Reliability Management, v.25, n.9, p.899-912, 2008.</p>
28	<p>Método de apoio à tomada de decisão sobre ações corretivas baseadas na repriorização de modos de falhas do FMEA. O método é chamado DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory). As alternativas são priorizadas baseadas na severidade do efeito ou influência e tipo de relação (direta/indireta) entre elas. Uma influência indireta significa que um modo de falha pode ser uma causa de outro modo de falha. O DEMATEL analisa relações e estruturas entre componentes de um sistema, com respeito aos seus tipos (direto/indireto) e severidade, ou um número de alternativas disponíveis. Desta forma, com o DEMATEL é possível representar os modos de falhas em sistemas com muitos subsistemas e componentes, considerando que em tais sistemas o NPR pode ser uma abordagem pouco eficiente.</p>	<p>SEYED-HOSSEINI, S.; SAFAEI, N.; ASGHARPOUR, M. Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. Reliability Engineering and System Safety, v. 91, n. 8, p.872-881, 2006.</p>

29	<p>O artigo apresenta um método para calcular o NPR usando um modelo linguístico <i>Fuzzy</i>. Na abordagem proposta, os índices (S, O e D) são representados como membros de um conjunto <i>fuzzy</i> “fuzzificado” (<i>fuzzified</i>) usando uma apropriada função membro (<i>membership function</i>). A função faz uso de uma base de regras bem definidas e operações lógicas <i>fuzzy</i> para determinar o nível do risco das falhas, sendo que o resultado obtido com isso é “desfuzzificado” (<i>defuzzified</i>) para se obter o NPR.</p>	<p>SHARMA, R.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. International Journal of Quality & Reliability Management, v.22, n.9, p.986-1004, 2005.</p>
30	<p>O framework apresentado usa técnicas quantitativas e qualitativas para análise de risco e confiabilidade de um sistema. A técnica quantitativa faz uso de uma síntese <i>fuzzy</i> de dados de falhas e reparos. Vários parâmetros do sistema importância gerencial, tais com, tempo de reparo, taxa de falhas, tempo médio entre falhas, disponibilidade, e número esperado de falhas, são computados para quantificar o comportamento em termos de valores <i>fuzzy</i>, inteiro (<i>crisp</i>) e “desfuzzificado” (<i>defuzzified</i>). Para melhorar as características de confiabilidade e manutenibilidade do sistema, é feita uma análise qualitativa usando o FMEA. Endereçando as limitações do FMEA tradicional em relação ao cálculo do NPR, é proposta uma abordagem de</p>	<p>SHARMA, R. K.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Fuzzy modeling of system behavior for risk and reliability analysis. International Journal of Systems Science, v. 39, n. 6, p.563-581, 2008.</p>

	ranqueamento de risco que usa teoria <i>Fuzzy</i> e análise <i>Grey relational</i> para priorizar modos de falhas.	
31	O framework apresentado faz o uso da metodologia <i>Fuzzy</i> , uma abordagem de racionalização aproximada (<i>approximate reasoning</i>) para gerenciar informação imprecisa, incerta e subjetiva relacionada com o desempenho do sistema.	SHARMA, Rajiv Kumar; KUMAR, Dinesh; KUMAR, Pradeep. Predicting uncertain behavior of industrial system using FM: A practical case. Applied Soft Computing , v.8, n.1, p.96-109, 2008.
32	Método para simplificar o FMEA baseado na lógica <i>Fuzzy</i> . O método reduz o número de regras que são necessárias serem fornecidas por usuários do FMEA para o processo de modelagem do <i>Fuzzy</i> NPR. Para isso é proposto um sistema guiado de redução de regras (<i>Guided Rules Reduction System - GRRS</i>). Empregando o GRRS os usuários não precisam fornecer todas as regras, mas apenas as mais importantes quando construírem o modelo <i>Fuzzy</i> do NPR.	TAY, K.; LIM, P. Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. International Journal of Quality & Reliability Management , v.23, n.8, p.1047-1066, 2006.
33	O método proposto fornece diretrizes para a indústria de manufatura na correção de problemas de aplicação do FMEA, para que empresas possam adotar seus processos de FMEA em um ambiente colaborativo da cadeia de suprimentos. Além disso, é apresentada uma ferramenta baseada no <i>Microsoft Excel</i> , que proporciona uma maneira simples de auxiliar os engenheiros na tomada de decisão com relação à frequência de testes e requisitos de confiabilidade que o	TENG, S. G.; HO, S. M.; SHUMAR, D.; LIU, P. C. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. International Journal of Quality & Reliability Management , v.23, n.2, p.179-196, 2006.

	projeto (design) irá necessitar.	
34	O método <i>cost-oriented</i> FMEA (FMEA orientado aos custos) é usado como ferramenta para tomada de decisão, que integra uma perspectiva de qualidade-custo para determinar ações de melhoria, considerando recursos limitados. Isto é alcançado por meio do cálculo do novo NPR baseado nos custos das falhas internas e externas à empresa.	VON AHSEN, A. Cost-oriented failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management , v.25, n.5, p.466-476, 2008.
35	Abordagem chamada FuRBaR (<i>Fuzzy Rule-Based Bayesian Reasoning</i>) para priorizar falhas no FMEA. A abordagem é baseada em redes Bayesianas para transformar graus de crenças, utilizados para estimar falhas, provenientes das regras baseada na lógica <i>Fuzzy</i> , em probabilidades subjetivas condicionais das redes Bayesianas, de forma a ter uma melhor priorização dos modos de falhas.	YANG, Z.; BONSALL, S.; WANG, J. Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA. IEEE Transactions on Reliability , v. 57, n. 3, p.517-528, 2008.
36	O método FMEA baseado na teoria <i>Fuzzy</i> foi construído a partir de conhecimentos e experiências na forma de regras <i>fuzzy</i> 'If-then', eliminando a subjetividade dos índices do FMEA.	YEH, R.; HSIEH, M. Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant. Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineering , v.24, n.6, p.505-512, 2007.
37	O software de racionalização baseada em modelo é chamado RODON. O RODON pode ser usado para a aplicação do FMEA, e envolve uma lógica matemática a qual depende de um diagrama de bloco funcional que captura a "topologia" do sistema. Topologia refere-se à interconectividade dos componentes do	ZAMPINO, E. J.; BUROW, D. The application of RODON to the FMEA of a microgravity facility subsystem. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2002. Proceedings... EUA, 2002. p.361-366. International , v. 20, n. 2, p.143-154, 2004.

	sistema. O sistema pode ser simulado para capturar modos de falhas.	
--	---	--

APÊNDICE C – LISTA DE PUBLICAÇÕES ANALISADAS NA PESQUISA DE LAURENTI (2010) RELACIONADOS AO ESFORÇO PARA ELABORAÇÃO DO FMEA

Registro das Informações Provenientes das Publicações Seleccionadas		
Id.	Resumo da Proposta da Publicação	Referência Bibliográfica
1	Software para automatizar o FMEA por meio de modelos qualitativos. O processo de racionalização causal (<i>causal reasoning process</i>) é aplicado para codificar como um engenheiro usa um diagrama de um sistema, em vez de codificar um conjunto de situações e respostas que o engenheiro previamente encontraria. A vantagem desta abordagem é que não é necessário considerar e solucionar todas as situações que podem ser encontradas num período posterior a análise. O software fornece um diagrama do sistema (modelo causal) e os meios para utilizá-lo para compreender qualquer situação que possa surgir.	BELL, D.; COX, L.; JACKSON, S.; SCHAEFER, P. Using causal reasoning for automated failure modes and effects analysis (FMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1992. Proceedings... Denver, 1992. p.343-353.
2	Método para fechar a lacuna que existe durante o desenvolvimento de hardware e software usando o FMEA. O método apresenta uma sequência de passos que leva em conta desde a formação da equipe, passando pelos inputs do hardware, dos inputs do software, dos inputs dos testes de engenharia e confiabilidade até a implementação das ações corretivas.	BIDOKHTI, N. How to close the gap between hardware and software using FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2007. Proceedings... EUA, 2007. p.167-172.

3	<p>O método BFA (Bouncing failure analysis) estende a análise do FMEA, adicionando a análise de modos de falhas combinados, característica essa do FTA. O BFA substitui a tradicional análise de cima pra baixo do FTA pela análise de baixo pra cima, intuitiva para os engenheiros. O resultado é uma completa análise cobrindo todos os modos de falhas seguido pela testabilidade e detectabilidade da análise. BFA se inicia com a definição de todos os possíveis efeitos finais para o sistema sob análise, mostra a criação de uma matriz completa de interações para duplos, triplos e múltiplos pontos de falhas. A matriz é criada utilizando tanto FTA e FMEA. Por fim, o BFA apresenta os resultados finais por meio da matriz tradicional do FMEA, levando em consideração a importância dos modos de falhas, de acordo com sua duplicidade, triplicidade e assim por diante.</p>	<p>BLUVBAND, Z.; POLAK, R.; GRABOV, P. Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005. Proceedings... Israel, 2005. p.463-467.</p>
---	---	--

4	<p>Método chamado Priority-Cost FMECA (PC-FMECA). Os modos de falhas a serem combatidos são classificados por cálculo modificado do NPR. O cálculo prioriza a severidade e utiliza a ferramenta AHP (Analytic Hierarchy Process) e estima a rentabilidade de cada falha corrigida. A rentabilidade considera as vantagens obtidas com a melhora do projeto (design) menos os custos que essas melhorias causariam. A lucratividade financeira de se evitar cada falha é dada pela expressão $P = TL_c - TL_{wm} - CoA$, onde: TL_c = perda financeira caso a falha venha a ocorrer; TL_{wm} = perda financeira estimada com a ação de melhoria; CoA = o custo da ação. A abordagem, além disso, propõe uma expressão matemática para selecionar o melhor mix de modos de falhas a serem atacados, levando em conta o orçamento disponível da empresa.</p>	<p>CARMIGNANI, Gionata An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority cost FMECA. Reliability Engineering & System Safety, 2008.</p>
5	<p>Apresenta o método <i>Design process</i> FMEA. O novo método incrementa ao FMEA tradicional um questionário para ajudar na identificação dos modos de falhas e nos seus efeitos. <i>O Design process</i> FMEA usa uma nova forma de priorizar os modos de falha, por meio do cálculo do EPN (<i>Error priority number</i>). Os erros são advindos das áreas: conhecimento, análise, comunicação, execução, mudança e organização.</p>	<p>CHAO, L.; ISHII, K. Design process error proofing: Failure modes and effects analysis of the design process. Journal Mechanical Design, Transactions ASME, v.129, n.5, p.491-501, 2007.</p>

6	<p>Apresenta o software <i>Enhanced</i> FMEA (E-FMEA) que trata-se da aplicação dos sistemas CAD/CAM para determinar modos de falhas a partir de medidas e características. A determinação é seguida pela interpretação dos modos de falha baseada na experiência dos projetistas. Aplica-se a regra "<i>If-Then</i>" para analisar os efeitos, avaliar o "estrigo" (damage) e alcançar soluções para solucionar o problema.</p>	<p>CHEN, T.; CHEN, Y.; CHUNG, Y. Implementation of an enhanced FMEA system for the PCBA design testing a practical case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BUSINESS OF ELECTRONIC PRODUCT RELIABILITY AND LIABILITY, 2004. Proceedings... China, 2004. p.72-76.</p>
7	<p>Software para automatizar o FMEA de componentes que sofrem mudanças incrementais. O FMEA baseado em componentes trata-se de um método utilizado para gerar interfaces de segurança para os componentes, sendo que para isso encontram-se todas as falhas possíveis do sistema e as interfaces que podem falhar. O software que dá suporte a aplicação desse FMEA, foi desenvolvido na linguagem Java. O software lê as interfaces de segurança dos componentes e gera tabelas automaticamente. Além disso, durante as mudanças o sistema as registra incrementalmente e identifica no FMEA possíveis efeitos, o que permite obter resultados da análise de segurança cedo no ciclo de desenvolvimento.</p>	<p>ELMQVIST, J.; NADJM-TEHRANI, S. Tool support for incremental Failure Mode and Effects Analysis of component-based systems. In: PROCEEDINGS - DESIGN, AUTOMATION AND TEST IN EUROPE, 2008. Proceedings... Suécia, 2008 p.921-927.</p>
8	<p>Neste método o FMEA é aplicado a partir da análise de diagrama de blocos. É elaborada uma matriz de riscos que relaciona os índices de severidade e</p>	<p>FARQUHARSON, J.; McDUFFEE, J.; SEAH, A. K.; MATSUMOTO, T. FMEA of marine systems: Moving from perspective to risk-based design and</p>

	ocorrência. Nesta matriz são visualizados os riscos não aceitáveis e são definidos os modos de falhas a serem priorizados.	classification. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2002. Proceedings... EUA, 2002. p.165-172.
9	Software de manutenção virtual utilizado para apoiar o FMEA. O software compara o comportamento real e pretendido dos produtos, e possibilita relacionar o comportamento de um produto a sinais específicos, os quais podem ser detectados por sensores e usados para evitar falhas catastróficas.	HOUTEN, F.J.A.M.; KIMURA, F. The Virtual Maintenance System: A Computer-Based Support Tool for Robust Design, Product Monitoring, Fault Diagnosis and Maintenance Planning. CIRP Annals - Manufacturing Technology , v.49, n.1, p.91-94, 2000.
10	O software <i>Web-based</i> FMEA inclui três componentes principais: o servidor da web para o FMEA, o servidor para o banco de dados do FMEA e o cliente FMEA. Todos são unidos pela internet ou intranet, e podem estar localizados em locais geográficos diferentes durante a aplicação do FMEA. O usuário usa o navegador da web cliente para conectar ao servidor da web FMEA. Uma vez conectado, o usuário segue as instruções do software e entra com as informações necessárias sobre as páginas da web. Os dados introduzidos são analisados localmente pelas máquinas do cliente ou enviados de volta para o servidor para processamento relevante. Tanto os dados digitados como os dados derivados são armazenados no banco de dados FMEA. Cópias físicas dos documentos podem ser	HUANG, G.; NIE, M.; MAK, K. Web-based failure mode and effect analysis (FMEA). Computers and Industrial Engineering , v. 37, n. 1-2, p.177-180, 1999.

	impressas sempre que o cliente o solicitar.	
11	<p>O método <i>Group-Based Failure Effects Analysis</i> (GFEA) usa o <i>Risk Priority Category</i> (RPC), baseado na lógica <i>Fuzzy</i>, e técnicas de tomada de decisão de grupo para estudar os efeitos das falhas sobre as funções/subsistemas e a categoria do risco da falha com informações incertas. Além disso, o método usa operadores compensados que permite balancear os fatores das falhas ou os atributos das funções/subsistemas. Com isso é possível agregar decisões intuitivas e divergentes de especialistas sobre a importância de fatores de falhas e efeitos de falhas sobre os fatores.</p>	<p>JENAB, K.; DHILLON, B. Group-based failure effects analysis. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, v. 12, n. 4, p.291-307, 2005.</p>
12	<p>Método FMEA baseado na teoria da probabilidade desenvolvida para calcular o NPR para todos modos de falha, componentes e sistema. Desta forma, todos os índices calculados podem ser sistematicamente comparados numa base racional, uma vez que são expressos em termos de uma escala probabilística comum. O método apresentado também apresenta o <i>Ordered Matrix</i> FMEA, onde todas as informações qualitativas e quantitativas sobre são gravadas de forma gráfica e conveniente, sobre os relacionamentos dos modos de falhas, causas e efeitos. O método foi incorporado a um sistema computacional para identificar eficientemente todas as</p>	<p>KARA-ZAITRI, C.; KELLER, A. Z.; BARODY, I.; FLEMING, P. V. An improved FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991. Proceedings... Reino Unido, 1991. p.248-252.</p>

	causas potenciais de falhas.	
13	Software computacional para a aplicação do FMEA em circuitos eletrônicos. O software é baseado em duas partes, a parte do programa FMEA, que consiste dos inputs, outputs, análise do circuito e FMEA, e a parte manual que inclui a avaliação dos resultados apresentados pelo software.	LEHTELÄ, M. Computer-aided failure mode and effect analysis of electronic circuits. Microelectronics Reliability , v.30, n.4, p.761-773, 1990.
14	O software simula o comportamento de circuitos termo-hidráulico na presença de falhas em componentes, auxiliando a construção das tabelas do FMEA. O software inclui: uma biblioteca de componentes e seus modos de falhas; um módulo interativo para escolher componentes apropriados a partir da biblioteca e para construir um dígrafo do circuito; um módulo da configuração do circuito em termos de equações, considerando modos de falha para serem simulados; e um módulo para a resolução do sistema de equações e para o controle dos parâmetros funcionais.	LIMNIOS, N.; GUYONNET, J. F. Inductive analysis of failure modes of thermohydraulic systems by numerical simulation. Reliability Engineering , v.18, n.2, p.141-154, 1987.
15	O FMEA <i>Streamlining</i> é um software que usa simulação quantitativa de circuitos. Basicamente, o software contém um loop que simula cada falha potencial do circuito em desenvolvimento. O FMEA <i>Streamlining</i> usa simulação análoga usando os mesmos modelos desenvolvidos para entender como o circuito opera nominalmente para	MONTGOMERY, T. A.; MARKO, K. A. Quantitative FMEA automation. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1997. Proceedings... EUA, 1997. p.226-228.

	entender modos de falha.	
16	<p>Software para automatizar todo o ciclo de desenvolvimento de sistemas de circuitos elétricos/eletrônicos. Para a automação cobrir todo o ciclo de desenvolvimento, é proposto que seja usada simulação qualitativa e quantitativa. A simulação qualitativa é empregada nas fases iniciais do desenvolvimento (projeto da arquitetura), quando o design detalhado não está disponível. Já a quantitativa é aplicada nas fases adiantadas do desenvolvimento, após o projeto do circuito ter sido largamente definido. Combinando os dois tipos de simulação em uma única ferramenta promove apoio em múltiplos níveis de detalhes, partindo do sistema completo e os efeitos sobre o consumidor, para os componentes individuais e causas raiz.</p>	<p>MONTGOMERY, T. A.; PUGH, D. R.; LEEDHAM, S. T.; TWITCHETT, S. R. FMEA automation for the complete design process. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996. Proceedings... Reino Unido, 1996. p.30-36.</p>
17	<p>O objetivo do framework desenvolvido é capturar e analisar os modos de falha que podem ocorrer devido à interação dos componentes e elementos funcionais de um sistema. O framework baseia-se na definição da arquitetura do produto, seguido pela aplicação de um modelo chamado SFC (<i>Structure- Functions- Constraints</i>). O modelo visa identificar, por meio de simulação, as interações entre os componentes e suas restrições e extrair os modos de falhas que poderiam ocorrer devido às interações entre os</p>	<p>NEPAL, B.; YADAV, O. P.; MONPLAISIR, L.; MURAT, A. A framework for capturing and analyzing the failures due to system/component interactions. Quality and Reliability Engineering International, v.24, n.3, p.265--289, 2008.</p>

	<p>componentes. Os modos de falhas são inseridos em uma matriz (<i>functional interactions failure matriz</i>). São calculados índices de severidade, ocorrência, detecção e o NPR para cada modo de falha identificado utilizando <i>fuzzy logic</i>. Além do índice de prioridade de rico (NPR), o framework apresenta o cálculo de outro índice, para os modos de falha, chamado “<i>criticality index</i>” para apoiar a tomada de decisão. Com os dois índices é elaborada uma tabela de priorização dos modos de falha para os quais são recomendadas ações de melhoria.</p>	
18	<p>O software <i>Failure Modes and Effects Simulation</i> (FMES) é uma maneira efetiva de se realizar o FMEA e análise de confiabilidade. O FMEA cria um conhecimento básico da resposta do software à falha em componentes. Análise de confiabilidade usa o FMEA combinado com taxas de falhas em componentes e taxas de recuperação do software para construir um modelo que pode ser resolvido pela probabilidade do sistema falhar. O FMES descreve o sistema com um grupo de componentes. Um componente é definido com suas interconexões (entradas e saídas), seu estado (o componente e suas saídas podem ocupar diferentes estados) e a descrição de seu comportamento</p>	<p>PALUMBO, D. Using failure modes and effects simulation as a means of reliability analysis. In: IEEE/AIAA DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE, 1992. Proceedings... EUA, 1992. p.102--107.</p>

	(caracteriza ocorrem mudanças no componente e seus estados). O FMEA é apoiado pela linguagem RML (<i>Reliability Modeling Language</i>) para modelar o sistema e automatizar o FMEA.	
19	Modificação do software FLAME que é usado para automatizar a realização do FMEA em projetos elétricos. O software é modificado para a aplicação do FMEA possa ser realizada de maneira incremental, tornando a tarefa dos engenheiros de realização do FMEA menos trabalhosa. O software usa uma descrição da estrutura do projeto elétrico e das funções do subsistema para gerar os efeitos de cada modo de falha no projeto (<i>design</i>). Ele também é capaz de determinar valores do NPR para cada efeito de falha, usando valores determinados para falhas similares em modelos similares.	PRICE, C. Effortless incremental design FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996. Proceedings... Reino Unido, 1996. p.43-47.
20	A pesquisa descreve como a capacidade (<i>capability</i>) e utilidade de um software de análise de segurança de projetos elétricos podem ser melhoradas separando em camadas os tipos de conhecimentos usados. A separação do conhecimento em camadas permite que possa ser reusada uma quantidade máxima de informações à medida que o projeto do sistema elétrico evolui é modificado. Além disso, a separação também permite que ferramentas do software monitorem as	PRICE, C.J.; SNOOKE, N.A.; LEWIS, S.D. A layered approach to automated electrical safety analysis in automotive environments. Computers in Industry , v.57, n.5, p.451-461, 2006.

	consequências das mudanças para o projeto, de modo que a repercussão de qualquer mudança na concepção possa ser entendida.	
21	<p>O software apresentado é chamado FLAME, que evoluiu ao longo dos anos movendo gradualmente de protótipos de pesquisa. O FLAME que combina racionalização funcional e estrutural para a análise da segurança de projetos elétricos. Ele proporciona uma assistência automatizada para os engenheiros em todos os aspectos durante a geração do FMEA para projetos elétricos. As funções especificadas de um projeto de um circuito são combinadas com um modelo qualitativo de um circuito elétrico que atenda às funções, e usadas para analisar a segurança do projeto. Os modelos funcionais são incorporados por componentes de uma extensa biblioteca. As representações incorporadas são submetidas a uma simulação de computador, a fim de ver o efeito de uma lista de possíveis falhas no novo projeto. Existe uma lista de possíveis modos de falha para todos os componentes dentro da biblioteca, os quais são atribuídos com base num histórico de ocorrências de falhas.</p>	<p>PRICE, C. J.; SNOOKE, N.; PUGH, D. R.; HUNT, J. E.; WILSON, M. S. Combining functional and structural reasoning for safety analysis of electrical designs. Knowledge Engineering Review, v. 12, n. 3, p.271-287, 1997.</p>

22	<p>A aplicação do software FLAME, para automatizar a aplicação do FMEA em circuitos elétricos, é dividida em três partes: (1) construção do modelo que descreve o circuito elétrico o qual o FMEA será aplicado; geração do FMEA, que proporciona avaliação das falhas do sistema pelos índices do FMEA (S, O e D); (3) exame interativo do FMEA, que reporta os resultados do FMEA ao usuário. A automação da realização do FMEA por meio de simulação permite que erros no projeto do sistema elétrico sejam detectados antes da construção de protótipos físicos.</p>	<p>PRICE, C. J.; PUGH, D. R.; WILSON, M. S.; SNOOKE, N. Flame system: automating electrical failure mode & effects analysis (FMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1995. Proceedings... Reino Unido, 1995. p.90-95.</p>
23	<p>O framework organiza o conhecimento para uma simulação de subsistemas que é um componente de um software expert para a análise do FMEA. Organizando o conhecimento base da simulação do subsistema ao redor de uma ontologia de função centrada, é produzido uma arquitetura que facilita a racionalização sobre um projeto de engenharia em múltiplos níveis de abstração e por todo o ciclo de vida do projeto. Além do mais, a arquitetura resultante proporciona a capacidade para incorporar a análise assistida por computador e ferramentas de projeto cedo no projeto conceitual de um sistema de engenharia, antes que um comprometimento seja feito, para implementar um tecnologia específica no</p>	<p>RUSSOMANNO, D. J. A function-centered framework for reasoning about system failure at multiple levels of abstraction. Expert Systems, v.16, n.3, p.148--169, 1999.</p>

	comportamento do sistema. O resultado é uma fonte de conhecimento de simulação do software expert que pode ser usado para racionalizar os efeitos de falhas do sistema baseado no projeto conceitual.	
24	O método propõe uma alternativa para salvar custos da preparação do FMEA. A aplicação do método é rápida e permite que os engenheiros influenciem nas decisões do projeto usando o estudo do FMEA, à medida que o projeto (<i>design</i>) evolui. O método aplica uma abordagem <i>bottom-up</i> para relacionar os modos de falhas dos componentes e as funções afetadas por eles nas montagens do sistema.	SEXTON, R. D. An alternative method for preparing FMECA's. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991. Proceedings... Reino Unido, 1991. p.222-225.
25	Método para simplificar o FMEA baseado na lógica <i>Fuzzy</i> . O método reduz o número de regras que são necessárias serem fornecidas por usuários do FMEA para o processo de modelagem do <i>Fuzzy</i> NPR. Para isso é proposto um sistema guiado de redução de regras (<i>Guided Rules Reduction System - GRRS</i>). Empregando o GRRS os usuários não precisam fornecer todas as regras, mas apenas as mais importantes quando construírem o modelo <i>Fuzzy</i> do NPR.	TAY, K.; LIM, P. Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. International Journal of Quality & Reliability Management , v.23, n.8, p.1047-1066, 2006.
26	O framework proposto é equipado com um modelo de inferência <i>Fuzzy</i> para prever o índice de ocorrência. O objetivo do framework é facilitar tanto a definição do valor do índice ocorrência quanto à	TAY, K. M.; TEH, C. S.; BONG, D. Development of a fuzzy-logic-based occurrence updating model for process FMEA. In: ICCCE08 INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER AND

	redefinição do índice após a melhoria para o projeto ser proposta, sem subjetividade.	COMMUNICATION ENGINEERING 2008: GLOBAL LINKS FOR HUMAN DEVELOPMENT, 2008. Proceedings... Malásia, 2008. p.796-800.
27	O framework apresentado tem o objetivo de gerar automaticamente um FMEA, reusando conhecimentos presente em FMEA's anteriores. O framework é composto de um modelo de FMEA e uma técnica de racionalização (<i>reasoning</i>). O modelo de FMEA é criado com base no sistema de transformação. Bibliotecas de componentes são criadas e generalizadas usando a abordagem orientada a objetos. A geração automática do FMEA é realizada por meio da técnica de racionalização funcional. São introduzidos conceitos sobre unidade funcional e diagrama funcional. Uma Função Genérica é usada como um objeto abstrato para representar funções de projetos e processos. Propagação de causa e efeito é usada no diagrama funcional com o auxílio de dois relacionamentos, pré-condição e pós-condição.	TEOH, P.; CASE, K. Failure modes and effects analysis through knowledge modelling. Journal of Materials Processing Technology , v. 153-154, n. 1-3, p.253-260, 2004.
28	Apresenta o método FMAG (<i>for FMEA generation</i>) para gerar automaticamente o FMEA por meio de modelagem e processo de racionalização. O modelo é criado utilizando o método IDEF3 (<i>modelagem estrutural e funcional</i>). O processo de racionalização é baseado na abordagem "fragmento de conhecimento"	TEOH, P.; CASE, K. Modelling and reasoning for failure modes and effects analysis generation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture , v. 218, n. 3, p.289-300, 2004.

	(<i>knowledge fragment</i>).	
29	O software FMEA incremental automatizado usa o simulador EPOCH (<i>Engineering Product and Operations Cross-cutting Hybrid</i>) para automatizar a geração do FMEA a partir de modelos de projeto (dados do projeto). A ferramenta desenvolve um grupo de análises baseadas em cenários, usando o simulador híbrido CONFIG, para gerar relatórios que sumarizam os resultados das análises. A automação apóia o FMEA incremental reportando como uma modificação no design (projeto) altera a apresentação dos efeitos funcionais de falhas, vistos em um grupo de cenários operacionais.	THROOP, D.; MALIN, J.; FLEMING, L. Automated incremental design FMEA. In: IEEE PROCEEDINGS AEROSPACE CONFERENCE, 2001. Proceedings... EUA, 2001. p.7--3458 vol.7.
30	O framework iFMEA (<i>intelligent FMEA</i>) é um mecanismo de inferência inteligente baseado no modelo alvo do sistema. O framework é composto por três partes: analisador de modos de falha, analisador de efeitos de falha e criador de relatório de FMEA. Por meio de modelos hierárquicos do sistema e utilizando o modelo FIORN (<i>Failure, Input/Out Relationship Nets</i> - Redes de relações de entrada e saída de falhas) são analisados os modos de falhas e seus efeitos e criado o relatório do FMEA.	TINGDI, Z.; TIEJUN, S.; XIAO, H.; LINLING, S. Intelligent FMEA based on model FIORN. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2004. Proceedings... China, 2004. p.386--390.

31	<p>O método FMEA invertido guia o agente de mudança para a metodologia apropriada de avaliação e o plano de qualificação. O FMEA invertido se inicia listando-se as mudanças propostas para o sistema existente. Considerando as questões a seguir, o time de FMEA constrói o FMEA invertido: a) o que está sendo modificado?; b) com isto pode afetar a saída do processo?; como a saída do processo pode afetar o produto? Quais dispositivos, circuitos são afetados?; Quais checagens podem ser feitas para garantir igualdade? Qual avaliação pode ser introduzida para garantir confiabilidade?</p>	<p>TRAHAN, R.; POLLOCK, A. Using an inverted FMEA to manage change and reduce risk in a FAB. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING CONFERENCE, 1999. Proceedings... EUA, 1999. p.15-18,.</p>
32	<p>O software baseado em conhecimento para a análise de modos de falha e efeitos apresentado é denominado WIFA. WIFA é o acrônimo alemão para 'FMEA baseado em conhecimento'. O software fornece um modelo de informação para construir taxonomias funcionais e estruturais na forma de uma biblioteca para o conhecimento presente no FMEA (produto e processo). Dessa maneira, a biblioteca contém descrições precisas e completas dos produtos e processos, e facilita o reuso posterior dos conhecimentos coletados durante um FMEA. Cada componente da estrutura taxonômica está ligado a pelo menos uma função e tem uma lista definida de modos</p>	<p>WIRTH, R.; BERTHOLD, B.; KRAMER, A.; PETER, G. Knowledge-based support of system analysis for the analysis of failure modes and effects. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v. 9, n. 3, p.219-229, 1996.</p>

	<p>de falha. Os componentes podem herdar informação do componente pai na taxonomia. Uma função é definida em termos de uma lista de verbos e contém informação sobre a função principal e entradas e saídas da função.</p>	
33	<p>Método que combina o conceito de <i>green design</i> com os métodos FMEA e TRIZ. O método proposto é baseado na estrutura do FMEA e leva em consideração o meio ambiente, segurança e saúde. O FMEA é modificado para definir o ‘eco-modo de falhas’ e priorizá-los através do Eco-NPR. Os índices ‘severidade’, ‘ocorrência’ e ‘detecção’ são transformados nos índices ‘impacto ambiental’, ‘perspectiva do consumidor’ e ‘cumprimento de regulamentação’. Para propor melhorias para o projeto (<i>design</i>), levando em consideração eco- inovações, é utilizado o método TRIZ. O TRIZ leva em consideração parâmetros de engenharia e de princípios inventivos. Com o TRIZ é elaborada uma matriz de contradição que auxilia na descoberta de soluções viáveis. Além do TRIZ, também é utilizado um checklist chamado <i>eco-failure</i> (eco-falha). O <i>eco-failure</i> guia os projetistas ou engenheiros na descoberta de deficiências do produto. O <i>eco-failure</i> e o TRIZ compensam a falta de experiência dos engenheiros e diminuem o tempo de um <i>brainstorm</i>.</p>	<p>YEN, S.; CHEN, J. L. An eco-innovative tool by integrating FMEA and TRIZ methods. In: ECO DESIGN INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 2005. Proceedings... China, 2005. p.678-683.</p>

APÊNDICE D – MODELO METODOLOGIA DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS 8D

Metodologia de Solução de Problemas 8D			
Id.	Atividade	Objetivo	Conceito chave
D0	Preparação para o 8D	Avaliar a real necessidade de iniciar o 8D	Mais adequado para causas especiais e desconhecidas; Focalizar em critérios de escolha do problema, evitando perdas; Quantificar o problema e Identificar os modos de falha e efeito; Solicitação do cliente – Falhas OKm e Garantia; A complexidade do problema requer um time para solucioná-lo; Esse 8D não duplicará um 8D já existente?
D1	Formação da equipe	Estabelecer uma equipe multifuncional para a solução do problema.	Time – Recomenda-se que a composição da equipe esteja limitada entre 4 a 6 pessoas. Deve ser formada de pessoas de diversas áreas, alocando tempo, autoridade e habilidades nas técnicas de solução de problemas e na implementação de ações corretivas/preventivas; Champion – Tem autoridade para implementar mudanças; dá suporte nas decisões da equipe e provê recursos; Líder – Estabelece missão da equipe, objetivos, calendário das reuniões, direcionando e estimulando a equipe a trabalhar de forma dialogada e participativa; Membros – Necessário conhecimento do processo e/ou do produto; provêm informações e idéias e participam de todas as atividades da equipe.
D2	Descrição do problema	Descrever o problema (o que está errado, com o quê?), em termos quantitativos, pois uma falha na descrição distanciará a equipe da identificação causa raiz.	Identifique os modos de falha e/ou efeito no PFMEA; Atualize a pontuação de Ocorrência, se aplicável; O problema deve ser completamente entendido pela equipe. Descreva o problema utilizando: Banco de dados, Foto, Desenho, Peça, etc; A declaração do problema facilita a procura pela causa-raiz e a busca da ação corretiva; Utilize o método É/Não É.
D3	Ações de Contenção	Definir, implementar e validar ações de contenção, até que ações permanentes sejam implementadas. A ação de contenção isola os efeitos do problema, tanto para clientes externos como internos.	Verificar e segregar peças suspeitas em toda cadeia de fornecimento (cliente, peças em trânsito, produção, montagem, estoques, expedição, etc); Registrar a ação de contenção (ex: seleção, ações de inspeção 100%), quantidades refugadas e retrabalhadas e suas localizações, e outras ações imediatas com responsáveis e prazos; As ações devem ser monitoradas enquanto estiverem em uso. Em geral elas adicionam custo ao processo e portanto devem ser eliminadas após a implementação das ações corretivas; Identificação do Break Point (1º lote sem defeitos).
D4	Definição e verificação da Causa Raiz	Foco em Ocorrência; Detecção e Sistema	Ocorrência: Por que o problema ocorreu? Detecção: Por que o problema não foi detectado? Sistema: Por que o problema não foi previsto? Análise do processo conforme PFMEA; diferenças e mudanças; Ferramentas da Qualidade: Brainstorming; 5 Por que's; Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe) se não existir PFMEA; Atualizar PFMEA com resultados da investigação da causa (efeito;modos de falha; RPN; ações de detecção e prevenção); Revisão da descrição do problema se necessário.
D5	Escolha e verificação da ação corretiva permanente	Criar alternativas de ações corretivas permanentes e selecionar as melhores	Definir ação corretiva de processo – ocorrência (prevenção); Definir ação corretiva de sistema de controle – detecção; Definir ação corretiva de sistema (planejamento); Faça experimentos antes de implementá-las, para garantir sua eficácia; Registre os critérios de decisão e avalie os riscos; Defina: O que vai ser feito? Quem vai fazer? Quando? Como?
D6	Implementação e validação da ação corretiva permanente	Implementar as ações corretivas. Planejar a verificação da eficácia das ações	Implemente as ações corretivas de processo (ocorrência); controle (detecção); e sistema (planejamento). Verificar a eficácia das ações implementadas. Certifique que o problema foi removido. Eliminar as ações de contenção. Atualizar PFMEA com resultados da implementação das ações.
D7	Prevenir a repetição	Revisar produtos por todo o sistema para ações similares	Revisar produtos e/ou processos similares que podem se beneficiar dos resultados obtidos. Atualizar todos os documentos conforme necessário; Documentar lições aprendidas, para serem utilizadas em processos futuros (Manter registros das alterações do PFMEA), análise 5 Por que's e Ishikawa (quando aplicável).
D8	Reconhecimento da equipe	Completar e fechar o 8D. Reconhecer a equipe pela contribuição	Revise e finalize o relatório de 8D após aprovação dos clientes (interno ou externo); Selecione documentos-chave para conservação, mantendo junto ao 8D todas as evidências e anexos. Documente as lições aprendidas; Reconheça os esforços coletivos da equipe, bem como todas as contribuições individuais que resultaram na solução do problema. Conemore e divulgue a finalização do 8D.