

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**SISTEMATIZAÇÃO DE PROBLEMAS E PROPOSTAS DE
MELHORIAS DA APLICAÇÃO DO FMEA NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

BRUNO DOMCIANO VILLARI

Orientador: Professor Titular Henrique Rozenfeld

São Carlos-SP

2011

BRUNO DOMICIANO VILLARI

**SISTEMATIZAÇÃO DE PROBLEMAS E PROPOSTAS DE
MELHORIAS DA APLICAÇÃO DO FMEA NO PROCESSO DE
DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São
Paulo para a obtenção do título de
Engenheiro de Produção Mecânica.**

**Orientador: Prof. Titular Henrique
Rozenfeld**

São Carlos-SP

2011

Resumo

Villari, Bruno Domiciano (2011). SISTEMATIZAÇÃO DE PROBLEMAS E PROPOSTAS DE MELHORIAS DA APLICAÇÃO DO FMEA NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Engenharia de Produção da Escola de São Carlos. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2011.

O Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) tem se mostrado um dos mais importantes processos de negócio para as empresas na busca pela vantagem competitiva, uma vez que, a habilidade de colocar rapidamente no mercado produtos inovadores e de alta qualidade tornou-se fato condicionante para o sucesso de uma empresa. Nesse contexto, uma ferramenta amplamente utilizada é o FMEA, que auxilia na prevenção de defeitos, em melhorias ou na consolidação dos requisitos básicos do cliente, e melhorar a qualidade e confiabilidade do produto. Porém, ao longo dos anos, praticantes do FMEA têm identificado diversas deficiências e problemas do método durante sua aplicação. Assim, este trabalho teve como objetivo principal a sistematização e organização dos problemas apresentados pelo FMEA durante sua aplicação no PDP e pelas propostas de melhorias apresentadas na literatura. Para se chegar a este objetivo, o estado-da-arte do FMEA foi levantado, uma Revisão Bibliográfica Sistemática foi realizada e os problemas e melhorias por ele apresentado foram classificados e estruturados. Como resultado, um mapa navegável foi criado e disponibilizado na web. Assim, tendo-se todos os problemas e melhorias do FMEA organizados e sistematizados, então, projetistas que se utilizarem deste trabalho, em conjunto com o mapa navegável, podem encontrar maneiras de superar suas dificuldades durante a aplicação do FMEA durante o PDP, podendo proporcionar um projeto mais isento de falhas e, consequentemente, um PDP mais eficiente e com um nível de qualidade dos produtos mais alto.

Palavras-Chave: FMEA, processo de desenvolvimento de produtos, qualidade.

Abstract

Villari, Bruno Domiciano (2011). SYSTEMATIZATION OF SHORTCOMINGS AND PROPOSALS FOR IMPROVEMENTS TO THE APPLICATION OF FMEA IN THE PRODUCTS DEVELOPMENT PROCESS.

Work completion – Industrial Engineering of São Carlos Engineering School. University of São Paulo, 2011.

The Product Development Process (PDP) has been one of the most important business processes for companies in the search for competitive advantage, since the ability to quickly bring to the marketplace innovative, high quality products has become indeed a condition for success of a company. In this context, a widely used tool is the FMEA, which helps in preventing defects, in improvements and/or in the consolidation of the basics requirements of the customers, and improve product quality and reliability. But over the years, FMEA practitioners have identified several deficiencies and problems during the application of the method. This work aimed to the systematization and organization of the problems presented by the FMEA during its application in the PDP and the proposed improvements presented in the literature. To achieve this goal, the state of the art of FMEA was raised, a Systematic Literature Review was performed and the problems and improvements it presented were classified and structured. As a result, a navigable map was created and made available on the web. Then, taking up all the problems and improvements of the FMEA organized and systematized, designers who use this scientific work, together with the navigable map, can find ways to overcome its difficulties during the application of FMEA during the PDP, and can provide a design more fault-exempted and, therefore, a more efficient PDP and with a higher level of product quality.

Key-words: FMEA, products development process, quality.

Lista de Figuras

Figura 1- Atividades desenvolvidas	9
Figura 2 - Típico formulário de FMEA, estrutura de árvore e principais informações que são inseridas no formulário	16
Figura 3 - Visão estrutural das informações do FMEA (ROZENFELD et al., 2006 p.366.).....	16
Figura 4 - O time de FMEA.....	17
Figura 5 - Printscreen da estrutura de sistemas	21
Figura 6 - Matriz e gráficos de controle	22
Figura 7 - Planilha de acompanhamento de ações.....	23
Figura 8 - Processo de Condução de Revisão Sistemática	24
Figura 9 - <i>Printscreen</i> da tabela de arquivamento das informações extraídas das publicações selecionadas	28
Figura 10 - <i>Printscreen</i> da matriz de relacionamento entre os problemas do FMEA e o nome do artigo que o citou	28
Figura 11 - Distribuição anual dos estudos selecionados	30
Figura 12 - Distribuição de estudos por país de origem.....	30
Figura 13 - Árvore de causa e efeito dos problemas e deficiências do FMEA	47
Figura 14 - Printscreen da árvore de causa e efeito apresentada no portal de conhecimentos	50
Figura 15 - Printscreen das práticas apresentadas no portal de conhecimentos	50
Figura 16 - Ilustração do link da prática para sua descrição e artigo que a apresentou durante a RBS.....	51
Figura 17 - Visão geral do Modelo Referência (ROZENFELD et al., 2006).....	65
Figura 18 - Tipos de ciclos da fase de projeto detalhado (ROZENFELD, 2006, p.296)	67
Figura 19 - Desdobramento dos SSC e sua integração ao projeto conceitual e detalhado (ROZENFELD, 2006, p.295)	68
Figura 20 - Visão geral dos métodos de avaliação dos SSC (ROZENFELD, 2006, p.364).....	69

Lista de tabelas

Tabela 1 - Casos de avaliação de riscos	15
Tabela 2 – Número de artigos encontrados e selecionados em cada base de dados.....	27
Tabela 3 - Fontes e quantidades de publicações.....	29
Tabela 4 - Classificação das práticas.....	31
Tabela 5 - Práticas e Diretrizes da classe abordagem.....	31
Tabela 6 - Práticas e Diretrizes da classe ferramenta	31
Tabela 7 - Práticas e Diretrizes da classe framework.....	32
Tabela 8 - Práticas e Diretrizes da classe método	33
Tabela 9 - Práticas e Diretrizes da classe sistemas.....	38
Tabela 10 - Lista dos problemas ordenados pela frequência de aparecimento nos estudos selecionados da revisão sistemática.....	41
Tabela 11 - Problemas relacionados ao RPN	42
Tabela 12 - Classe de problemas Temporais	43
Tabela 13 - Classe de problemas Integração com o PDP	43
Tabela 14 - Problemas Comportamentais.....	44
Tabela 15 - Classe de problemas de gestão de conhecimentos	44
Tabela 16 - Classe de problemas Operacionais	45
Tabela 17 - Classe Outros problemas	45
Tabela 18 - Problemas eliminados da rede de causa-efeito.....	46
Tabela 19 - Cadastro dos estudos obtidos na revisão sistemática	78

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contexto e motivação: falhas x prevenção de falhas	1
1.2. Questão de pesquisa e objetivos do trabalho	3
1.3. Lacuna e justificativa: problemas e propostas de melhoria do FMEA	4
2. METODOLOGIA CIENTÍFICA E FASES DA PESQUISA.....	7
2.1. Classificação da pesquisa.....	7
2.2. Atividades desenvolvidas.....	8
2.2.1. Pacote 1	9
2.2.2. Pacote 2	10
2.2.3. Pacote 3	10
2.2.4. Pacote 4	10
2.2.5. Pacote 5	11
3. ESTADO-DA-ARTE DO FMEA E SOFTWARES PARA APOIAR SUA APLICAÇÃO	12
3.1. FMEA.....	12
3.1.1. Desenvolvimento histórico.....	12
3.1.2. Processo de aplicação.....	13
3.1.3. Times.....	17
3.2. Softwares comerciais	18
3.2.1. Xfmea da ReliaSoft.....	18
3.2.2. IQ-FMEA da APIS.....	19
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS).....	24
4.1. Planejamento da revisão.....	25
4.1.1. Objetivo e questão.....	25
4.1.2. Fontes de busca e seleção.....	25
4.1.3. Idiomas das publicações.....	25
4.1.4. Palavras-chave.....	26
4.1.5. Processo de seleção de estudos	26
4.1.6. Estratégia de extração de informações.....	26
4.2. Execução de buscas.....	27
4.2.1. Execução da seleção.....	27
4.2.2. Extração das informações	28

4.3. Análise das informações extraídas	29
4.3.1. Fonte e tipo de publicação.....	29
4.3.2. Distribuição por ano e por país	29
4.3.3. Melhorias propostas para o FMEA	30
4.3.4. Problemas do FMEA identificados	40
5. MAPA NAVEGÁVEL	49
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
6.1. Trabalhos Futuros	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
Apêndice A – Teoria sobre Revisão Bibliográfica Sistemática.....	62
Apêndice B– O Modelo de PDP estudado nesse trabalho	64
Apêndice C – Bases de Dados pesquisadas durante a Revisão Sistemática	70
Apêndice D - Lista de publicações selecionadas na revisão bibliográfica sistemática	71
Apêndice E - Cadastro dos Estudos obtidos na Revisão Sistemática	78
Apêndice F – Fontes de Publicações dos estudos científicos	89
Apêndice G –Descrições das práticas apresentadas pelos trabalhos científicos provenientes da RBS	92

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho científico é referente ao Trabalho de Conclusão de Curso, relativo à ao curso de Engenharia de Produção Mecânica da Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos.

Neste trabalho, o primeiro capítulo apresenta a introdução, que inclui a motivação, as justificativas, questões de pesquisa e objetivos. Discutem-se, inicialmente, as conseqüências de falhas em produtos e o desafio de prevê-las cedo no ciclo de desenvolvimento de um produto (contexto e motivação – item 1.1). Com base na discussão inicial, são formuladas a questão de pesquisa e os objetivos do trabalho (item 1.2). Em seguida, são descritos problemas e melhorias do FMEA, um método amplamente usado para se prever falhas potenciais (lacuna e justificativa – item 1.3).

1.1. Contexto e motivação: falhas x prevenção de falhas

As corporações enfrentam continuamente os desafios mandatórios de reduzir custos, desenvolver produtos mais rapidamente e atender às exigências dos consumidores por produtos confiáveis (WOMACK, JONES e ROOS, 1992). A habilidade de colocar rapidamente no mercado produtos que desempenhem adequadamente suas funções com menor número possível de falhas pode distinguir as melhores empresas das demais (SOBEK, WARD e LIKER, 1999). Os rápidos avanços tecnológicos, a diminuição do ciclo de vida dos produtos e o aumento de suas funcionalidades tornam cada vez mais complexa a tarefa de desenvolver produtos com alta qualidade e confiabilidade.

Nos últimos 20 anos, empresas têm desenvolvido mais projetos incrementais de produtos e menos projetos que adicionam linhas de produtos em seus portfólios (BARCZAK, GRIFFIN e KAHN, 2009). Corroborando com essa afirmação, Gerst et al. (2001), Clarkson, Simons e Eckert (2004) asseveram que a maioria dos novos produtos em engenharia é projetada através de modificações de produtos existentes, ou seja, que o desenvolvimento de produtos envolve a contínua evolução de um projeto (*design*) inicial. Essa evolução envolve modificações para não só atender necessidades existentes, desejos emergentes ou expectativas latentes dos consumidores (LAUGLAUG, 1993), como também para melhorar o desempenho dos produtos ou corrigir defeitos (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004).

No entanto, mudanças de engenharia podem introduzir novas falhas potenciais no produto (CHAO e ISHII, 2007; SCHMITT et al., 2007; LAURENTI e ROZENFELD,

2009), e falhas afetam a qualidade e disponibilidade do produto e causam prejuízos tanto para o fabricante quanto para o usuário. Conforme relata Rizzotto (2003), na indústria automobilística isto é particularmente verdadeiro. O autor apresenta um caso ocorrido em 1999 nos Estados Unidos em que a *General Motors* (GM) foi condenada a pagar quatro bilhões e novecentos milhões de dólares em uma única ação indenizatória. A decisão da justiça foi baseada, dentre outras provas, em documentos internos da própria GM que comprovaram que a empresa sabia do problema, mas preferiu ocultá-lo dos consumidores para não ter que gastar entre quatro a onze dólares por veículo, se procedesse ao respectivo recall (RIZZOTTO, 2003). No Brasil, segundo dados do portal Estradas¹, entre os anos de 2000 a 2009 mais de cinco milhões e trezentos mil veículos sofreram recalls.

Revelações de defeitos nos produtos, como nos recalls, além de prejuízos financeiros, afetam negativamente a reputação das montadoras perante o mercado (DAVIDSON e WORRELL, 1992; RHEE e HAUNSCHILD, 2006; BATES et al., 2007) com conseqüente perdas no valor da marca e das ações (BARBER e DARROUGH, 1996; BATES et al., 2007) e queda nas vendas (HAUNSCHILD e RHEE, 2004; BATES et al., 2007). Além de resultados anormais para as corporações, produtos defeituosos levam a maiores impactos ambientais, pois mesmo que eles tenham sido projetados para serem duráveis, terão de ser reparados ou substituídos (VEZZOLI e MANZINI, 2008).

A avaliação da qualidade e confiabilidade de um produto é tradicionalmente feita nos estágios avançados de seu desenvolvimento, por meio de inúmeros testes, técnicas estatísticas e modelagem matemática (LEVIN e KALAL, 2003). Contudo, as empresas se defrontam com o desafio de prever a maior quantidade de falhas potenciais nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos (PDP).

Adotar uma abordagem proativa de antecipação de falhas pode diminuir a quantidade de *redesigns* (alterações no projeto) (KARA-ZAITRI et al., 1991) e de testes em protótipos (para avaliação e validação) necessários para o desenvolvimento do produto (SEGISMUNDO e MIGUEL, 2008). Além disso, benefícios financeiros também podem ser alcançados, já que o custo para realizar uma modificação aumenta exponencialmente no decorrer das fases do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) (BOOKER, RAINES e SWIFT, 2001; ROZENFELD et al., 2006).

¹www.estradas.com.br

Durante o PDP, vários métodos e ferramentas podem ser utilizados para antecipar falhas do produto e do seu processo de fabricação. O método mais utilizado na indústria é o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas) (STAMATIS, 1995; HAWKINS e WOOLLONS, 1998; STONE, TUMER e STOCK, 2005). Desde a adoção do FMEA pela indústria automotiva na década de 80, vasta literatura contendo práticas de melhoria (recomendações de uso, diretrizes, aplicação conjunta com outros métodos, uso de software de apoio à realização do FMEA, etc.) vem sendo publicada.

Em vista disso, percebeu-se a necessidade de se sistematizar e agrupar tais trabalhos em um único trabalho, facilitando, assim, a busca pelos problemas do FMEA e suas melhorias e práticas publicadas por diversos autores. Com ambos os fatores sumarizados em um único trabalho, então, praticantes do FMEA terão uma grande quantidade de informações disponíveis, podendo auxiliá-los na aplicação de um FMEA mais isento de falhas.

1.2. Questão de pesquisa e objetivos do trabalho

A **questão de pesquisa** que se pretende responder é: quais problemas da aplicação do FMEA podem ser identificados da literatura e quais propostas de melhoria foram apresentadas para solucionar esses problemas?

Para responder essa questão defini-se o seguinte como **objetivo geral**: sistematizar e organizar os problemas e propostas de melhoria do método FMEA presentes na literatura.

Os problemas referem-se tanto a deficiências intrínsecas do FMEA, quanto a dificuldades de aplicação prática. As propostas de melhoria são modificações e melhoramentos recomendados ao FMEA para solucionar ou amenizar seus problemas.

Do objetivo geral, são desdobrados os seguintes **objetivos específicos**:

- definir o estado-da-arte do FMEA, incluindo softwares comerciais para sua aplicação;
- identificar o maior número possível de deficiências e propostas de melhoria publicadas na literatura a respeito da aplicação do FMEA; e
- estruturar e organizar as deficiências e propostas de melhorias.

1.3. Lacuna e justificativa: problemas e propostas de melhoria do FMEA

A partir de uma revisão bibliográfica inicial sobre FMEA foram identificados problemas da aplicação do FMEA no processo de desenvolvimento de produtos (PDP). Os problemas identificados na revisão estão relacionados (1) ao momento de aplicação do FMEA no ciclo do PDP (KARA-ZAITRI et al., 1991; MCKINNEY, 1991), (2) à integração/iteratividade do FMEA com outros métodos do PDP (STAMATIS, 1995; WIRTH et al., 1996; SHAHIN, 2004; KRASICH, 2007) e (3) à reutilização de conhecimentos sobre falhas (MCKINNEY, 1991; STONE, TUMER e STOCK, 2005; AJAYI e SMART, 2008; GRANTHAM LOUGH, STONE e TUMER, 2008). A seguir, são detalhados os problemas identificados.

1. Momento da aplicação do FMEA no ciclo do PDP: usualmente as empresas utilizam o FMEA em um estágio muito avançado do ciclo de desenvolvimento de um novo produto, tendo pequena influência na melhora global do projeto do produto (MCKINNEY, 1991). Uma pesquisa do tipo *survey*, realizada em 1990 na indústria automotiva do Reino Unido, identificou, dentre outros, um problema semelhante (KARA-ZAITRI et al., 1991). A análise de FMEA é usualmente feita com o propósito de checagem e não para prevenção de problemas; a maioria dos fornecedores só aplicava o FMEA por que era uma obrigação contratual com as montadoras. O estudo concluiu que essa postura leva ao aumento do número de *redesigns* (retrabalho) durante o PDP.
2. Integração/iteratividade com o PDP e com outros métodos: apesar de existirem inúmeras outras melhores práticas que podem apoiar e/ou complementar o FMEA na execução da análise de falhas potenciais (STAMATIS, 1995), este é tratado como uma técnica isolada, ou seja, não é integrado com o processo de desenvolvimento, e conseqüentemente nem com outros métodos de gestão da qualidade (WIRTH et al., 1996). Isso resulta em um trabalho adicional para criar novamente essas informações na aplicação da técnica, já que as informações do FMEA (tanto entradas como saídas) também estão presentes em outros documentos gerados no PDP.
3. Reutilização de conhecimentos sobre falhas: comumente, em análises de sistemas similares, tanto dados de falhas em campo quanto de análises anteriores não são considerados/recuperados (MCKINNEY, 1991; AJAYI e SMART, 2008; GRANTHAM LOUGH, STONE e TUMER, 2008). “(...) *Nem mesmo*

falhas anteriores de componentes mecânicos com part number idênticos são apresentadas como possíveis modos de falha (...)” (MCKINNEY, 1991).

Na revisão bibliográfica inicial, foram encontrados relatos de que praticantes do FMEA o consideram uma técnica tediosa que consome muito tempo (HUNT, PUGH e PRICE, 1995; PRICE et al., 1995; STONE, TUMER e STOCK, 2005), que a aplicação do FMEA pode aumentar a carga de trabalho dos engenheiros em até 20% e apesar do esforço, os resultados são pobres (WIRTH et al., 1996) e que a análise é subjetiva, baseada na experiência dos praticantes (BELL et al., 1992).

Em resposta aos problemas, nos trabalhos estudados são apresentadas propostas de melhoria para a aplicação do FMEA. Um exemplo nesta direção é de um método desenvolvido por pesquisadores de universidades americanas em conjunto com a NASA para registrar o conhecimento sobre falhas, que usa uma taxonomia padrão para nomear componentes mecânicos e seus possíveis modos de falhas (TUMER, STONE e BELL, 2003; GRANTHAM LOUGH, STONE e TUMER, 2008). A taxonomia padrão contribui para eliminar imprecisões terminológicas que dificultam o reuso de informações sobre falhas advindas tanto de sessões de aplicação do FMEA, quanto de relatórios de falhas em campo. O reuso do conhecimento sobre falhas evita a recorrência destas, torna as análises feitas pelo FMEA menos subjetivas e possibilita que elas sejam realizadas no início do desenvolvimento de produtos, quando o custo para realizar mudanças é mais baixo.

Na universidade de Stanford foram desenvolvidas diversas adaptações para o método FMEA, tais como, *Scenario-based FMEA*, *Life Cost-based FMEA*, e *Assembly process FMEA*. O *Scenario-based FMEA* organiza sequências de eventos não desejados de causa-efeito ao invés de modos de falhas (KMENTA e ISHII, 2004). *Life Cost-based FMEA* mede o risco das falhas potenciais em termos de custo total que elas incorreriam caso acontecessem (RHEE e ISHII, 2004). *Assembly process FMEA* foi desenvolvido especificamente para identificar erros em montagens manuais (KMENTA, ISHII e CHELDELIN, 2003).

Outros trabalhos apresentam conceitos para automatizar o FMEA, usando inteligência artificial, e torná-lo menos laborioso. Price et al. (1995) e Bell et al. (1992) empregaram respectivamente simulações qualitativas e processo de racionalização causal (*causal reasoning process*) para produzir relatórios mais completos e consistentes com o ciclo do desenvolvimento do produto. Foi dado um passo a frente na automação do FMEA com o desenvolvimento de um conceito que analisa os efeitos de

falhas múltiplas significativas (PRICE e TAYLOR, 2002). Para oferecer resultados precisos para os projetistas, foi desenvolvido um software que usa simulação quantitativa (MONTGOMERY e MARKO, 1997). Redes Bayesianas foram empregadas para construir modelos probabilísticos de grafos acíclicos dirigidos (*directed acyclic graph* – DAG) que representam dependências causais e estatísticas entre estados de sistemas internos e externos (cliente e o mundo) e variáveis de eventos de sistemas físicos (LEE, 2001). Contudo, as técnicas de automação são limitadas a sistemas que possuem comportamentos previsíveis como, por exemplo, circuitos eletrônicos.

A partir da revisão bibliográfica inicial, foi percebida a existência de grande quantidade de trabalhos que relatam problemas e melhorias para o FMEA. No entanto, não existe nenhum trabalho que reúna, classifique e apresente esses problemas e melhorias. A grande quantidade de publicações despertou a necessidade de sintetizar e gerar inferências pela combinação dos resultados das publicações.

2. METODOLOGIA CIENTÍFICA E FASES DA PESQUISA

Segundo Marconi e Lakatos (2004, p.46) método científico é “*o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo – conhecimentos válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista*”. Silva e Menezes (2005) afirmam que uma pesquisa é um procedimento lógico e ordenado e tem como escopo proporcionar respostas aos problemas que são propostos, sendo que a pesquisa pode ser requerida quando o conhecimento disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionado ao problema.

Neste capítulo são discutidos os aspectos metodológicos considerados na realização deste trabalho. O ponto de partida é a discussão da classificação da pesquisa quanto a sua natureza, quanto à forma de abordagem do problema, quanto a seus objetivos e quanto a seus procedimentos técnicos. Por fim, são detalhadas as fases da pesquisa em termos de atividades desenvolvidas.

2.1. Classificação da pesquisa

Do ponto de vista da natureza, a pesquisa pode ser básica, que visa à obtenção de novos conhecimentos úteis ao avanço científico sem aplicação prática prevista, ou aplicada, que visa à obtenção de novos conhecimentos para aplicação prática e voltada para a solução de problemas específicos (SILVA, MENEZES, 2005).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa pode ser quantitativa, que constitui traduzir em números opiniões e informações para analisá-las e classificá-las, ou qualitativa, que considera que há uma relação ativa entre o mundo real e o sujeito, isto é, uma conexão indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números, sendo o processo e seu significado os focos principais da abordagem (SILVA, MENEZES, 2005).

Segundo Gil (1991), do ponto de vista dos objetivos da pesquisa, ela pode ser exploratória, que visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com o objetivo de torná-lo explícito ou a construir hipóteses, ou descritiva, que objetiva descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis, ou explicativa, que objetiva identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, ou seja, o “porquê” das coisas.

Ainda segundo Gil (1991), do ponto de vista dos procedimentos técnicos há oito possibilidades. A primeira trata-se da pesquisa bibliográfica, que é elaborada a partir de

material já publicado, a segunda é a pesquisa documental, que é organizada a partir de materiais que não receberam tratamento analítico, a terceira refere-se à pesquisa experimental, que é realizada a partir da determinação de um objeto de estudo, selecionando as variáveis capazes de influenciá-los, definindo as formas de controle e de observação dos efeitos que as variáveis produzem no objeto, a quarta trata-se do levantamento, que se baseia na interrogação direta dos indivíduos cujo comportamento se deseja conhecer, a quinta é o estudo de caso, que é caracterizada pelo estudo profundo e fatigante de um ou poucos objetos de forma que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento, a sexta trata-se da pesquisa *expost-facto*, que é caracterizada pelo “experimento” se realizar depois dos fatos, a sétima refere-se a pesquisa-ação, que é concebida e desempenhada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo, e por fim a oitava possibilidade é a pesquisa participante, que é desenvolvida a partir do intercâmbio entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

Levando em consideração as classificações da pesquisa, este trabalho foi caracterizado quanto a sua natureza como aplicado, devido o seu objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos. A abordagem foi classificada como qualitativa-quantitativa, pelo fato do processo e o seu significado serem os focos principais e a tabulação dos dados e a informação dos resultados serem feitas através de meios estatísticos. Do ponto de vista dos seus objetivos, é exploratória-descritiva, à medida que visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses e a coleta de dados é feita através de técnicas padronizadas. O procedimento técnico utilizado foi a Revisão Bibliográfica Sistemática – RBS, que é apresentada no **Apêndice A**.

2.2. Atividades desenvolvidas

Este trabalho foi realizado por meio de cinco pacotes de trabalho, ilustrados pela Figura 1.

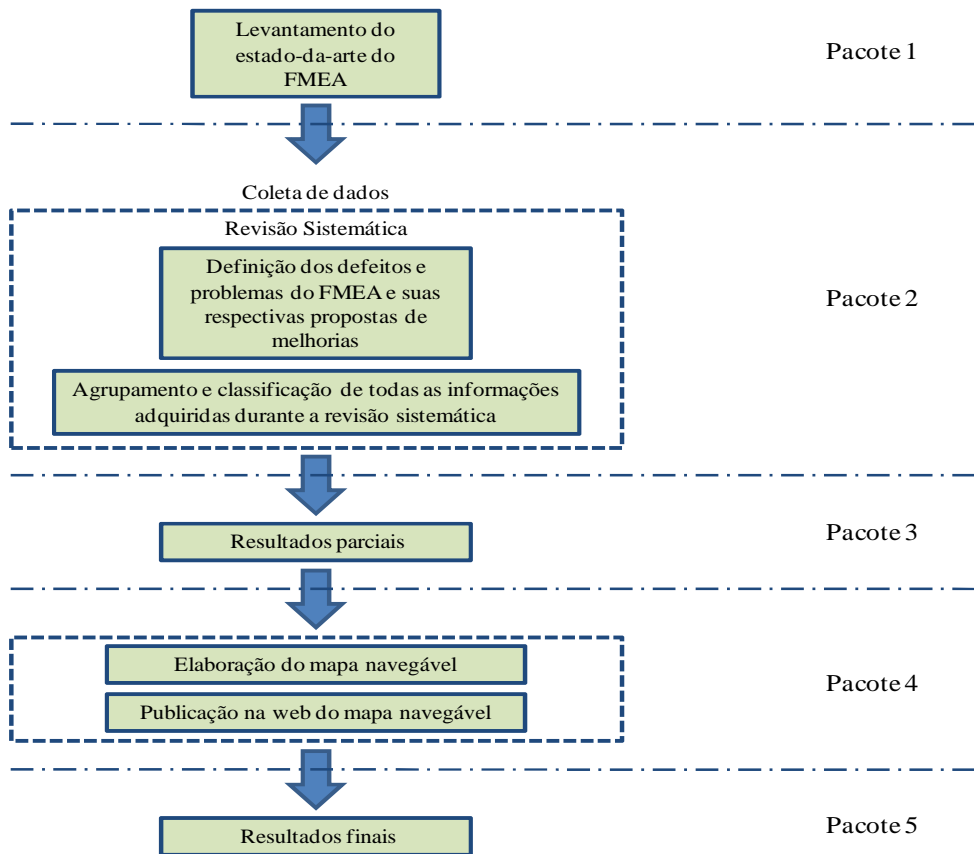


Figura 1- Atividades desenvolvidas

Cada um dos pacotes de trabalho é descrito a seguir.

2.2.1. Pacote 1

O primeiro pacote correspondeu ao estudo do Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) e do levantamento do estado-da-arte do FMEA (Capítulo 3), por meio de revisão de literatura. A revisão de literatura possibilitou um amplo conhecimento sobre o FMEA e como ele é aplicado no PDP (**Apêndice B**). Ainda nesse primeiro pacote de trabalho, para complementar o estado-da-arte do FMEA, foi feita uma busca por softwares comerciais utilizados para apoiar a aplicação do FMEA (item 3.2).

Foi encontrada grande quantidade de softwares comerciais disponíveis no mercado, e então, para sintetizá-los em uma lista de softwares mais utilizados por empresas, foram feitas consultas a profissionais, por meio de emails e de fóruns de discussões especializados.

Os softwares apontados como os mais utilizados foram: IQ-FMEA da empresa APIS information technologien GmbH, Xfmea da empresa ReliaSoft, e FMEA-PRO da empresa Dyadem.

Foram conseguidas as licenças educacionais do IQ-FMEA e do Xfmea pelo grupo de pesquisa Engenharia Integrada e Engenharia de Integração, parte do Núcleo de

Manufatura Avançada (NUMA) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Assim, além de pesquisa documental no material de marketing e nos manuais de aplicação dos dois sistemas, o pesquisador pode manipulá-los e analisá-los.

2.2.2. Pacote 2

No segundo pacote de trabalho foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para levantar os problemas e melhorias do FMEA (Capítulo 4).

Seguindo o procedimento metodológico da RBS, foram identificadas as bases de dados e os strings de pesquisa por meio da determinação inicial dos objetivos e do foco do estudo. Posteriormente, foi realizado o levantamento de estudos nas bases de dados, e, de acordo com critérios de exclusão e inclusão estabelecidos, selecionados os que eram pertinentes.

Os estudos selecionados foram então cadastrados em uma planilha Excel e no gerenciador de referências bibliográficas JabRef. O cadastro no Excel possibilitou a realização de uma análise quanto à distribuição do ano e local de publicação, quanto à base de dados e quanto à fonte de publicação dos estudos selecionados.

Os problemas e deficiências do FMEA e suas respectivas propostas de melhorias foram extraídos dos estudos selecionados e cadastrados em outras planilhas do Excel. Os problemas e melhorias encontrados foram classificados em classes, com o objetivo de organizá-los, e assim, facilitar a interação entre problemas e melhorias.

2.2.3. Pacote 3

O terceiro pacote de trabalho referiu-se à elaboração do relatório científico de acompanhamento (relatório parcial), correspondente aos resultados do primeiro e do segundo pacotes de trabalho.

2.2.4. Pacote 4

O quarto pacote de trabalho trata-se de um mapa navegável que foi publicado no portal de conhecimentos² com o título: “Mapa navegável de práticas para a melhoria da aplicação do FMEA no processo de desenvolvimento de produtos”.

O mapa é composto por uma árvore de causa e efeito, que visa relacionar os problemas e deficiências do FMEA em uma relação de causa-efeito. Com esse

²O Portal de Conhecimentos permite, de forma livre, aberta e gratuita, o compartilhamento de conhecimentos existente e gerados na área de desenvolvimento de produtos. URL do portal: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br>

relacionamento, que contou com a opinião de especialistas no assunto, foi possível identificar os problemas raízes, ou seja, problemas chaves do método FMEA.

Em seguida, o mapa navegável apresenta todas as práticas obtidas durante a análise dos artigos provenientes da RBS, sendo que cada prática apresenta um link para uma nova página na web, esta página apresenta a descrição da prática e um 2º link com o nome do artigo que apresentou tal prática, este 2º link proporciona o download do artigo completo obtido durante a RBS, disponibilizando um conhecimento mais aprofundado para os usuários que se interessaram sobre cada prática descrita.

2.2.5. Pacote 5

O quinto pacote de trabalho consiste da elaboração deste relatório científico final, sendo que, o presente relatório contém todos os resultados obtidos das atividades desenvolvidas durante a pesquisa, ou seja, apresenta os resultados de todos os pacotes de trabalho.

3. ESTADO-DA-ARTE DO FMEA E SOFTWARES PARA APOIAR SUA APLICAÇÃO

Neste capítulo é feita uma discussão sobre a evolução histórica do FMEA e sobre seu processo e times de aplicação. Além disso, são descritos funcionalidades e benefícios de dois softwares comerciais para aplicação do FMEA.

3.1. FMEA

A sigla FMEA é a abreviação para *Failure Mode and Effects Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos de Falhas). O FMEA é uma maneira sistemática para se determinar todos os possíveis modos de falha potencial, os efeitos e as causas de cada modo de falha sobre o desempenho de um sistema (produto ou processo, industrial ou administrativo), avaliar os riscos e especificar ações de melhoria. O propósito do método é identificar riscos e pontos fracos de um produto o mais cedo possível em seu processo de desenvolvimento, permitindo que melhorias também possam ser realizadas o quanto antes.

O FMEA gerencia a avaliação de riscos de maneira integrada com o desenvolvimento de novos produtos e processos. Ele é um fator importante para a garantia da qualidade antes que um novo ciclo de produção se inicie (BERTSCHE, 2008). O método estimula a aplicação do conceito de melhoria contínua, e possibilita documentar sistematicamente a evolução do projeto do produto (FRANCESCHINI e GALETTO, 2001).

3.1.1. Desenvolvimento histórico

Segundo Pentti e Atte (2002), o método FMEA foi desenvolvido e documentado no procedimento MIL-P-1629 em 1949 pelo Exército dos Estados Unidos. Anos mais tarde esse procedimento serviu de base para elaboração das normas militares MIL-STD-1629 e MIL-STD-1629A, que continuam sendo usadas até os dias de hoje (PENTTI e ATTE, 2002). Outros autores afirmam que o FMEA emergiu em 1963 de estudos feitos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), durante o desenvolvimento do projeto Apollo (PUENTE et al., 2002; JOHNSON e KHAN, 2003; CLARKE, 2005; BERTSCHE, 2008; MCDERMOTT, MIKULAK e BEAUREGARD, 2009).

Em 1975 o FMEA foi usado no setor nuclear e em 1978 a Ford Company foi a primeira empresa automotiva a integrar o FMEA em seu conceito de garantia da qualidade (CLARKE, 2005). No início da década de 80 as empresas automotivas que

formam a AIAG (*Automotive Industry Action Group*) incorporaram formalmente o FMEA, por meio da norma QS-9000, em seus processos de desenvolvimento de produtos. Este movimento foi seguido pela indústria automobilística alemã. O procedimento de aplicação do FMEA definido pela VDA (*Verband der Automobilindustrie –German Association of the Automotive Industry*) é o mais usado na Europa (BERTSCHE, 2008).

Atualmente, o FMEA é aplicado em uma variedade de outras áreas, tais como, médica (SPATH, 2003; DUWE, FUCHS e HANSEN-FLASCHEN, 2005; MONTI et al., 2005; CHIOZZA e PONZETTI, 2009; FORD et al., 2009), química e petroquímica (GUIMARÃES e LAPA, 2004; THIVEL, BULTEL e DELPECH, 2008), alimentos (SCIPIONI et al., 2002; SCOTT, WILCOCK e KANETKAR, 2009; TSAROUHAS, ARVANITTOYANNIS e AMPATZIS, 2009; TSAROUHAS, ARVANITTOYANNIS e VARZAKAS, 2009), desenvolvimento de software (BRAUN et al., 2009; GÖNCZY et al., 2009; KOH e SEONG, 2009), administrativo (RHEE e ISHII, 2003; MILAZZO et al., 2009), etc.

3.1.2. Processo de aplicação

Um pequeno grupo, conhecido como time de FMEA, formado por especialistas de diferentes disciplinas do ciclo de vida do produto, executa o FMEA em uma ou mais sessões. Em uma sessão de FMEA o fluxo de trabalho é orientado por um formulário padrão (Figura 2). O formulário padrão varia ligeiramente de norma para norma. Não obstante, uma característica comum a todas as normas é que as colunas do formulário são preenchidas sucessivamente uma após a outra, da esquerda para a direita.

Geralmente nos formulários, a primeira coluna é reservada a descrição dos componentes do produto ou operações de fabricação e suas funções. As próximas colunas referem-se à análise de falhas. Segue-se para a avaliação dos riscos para ranquear as inúmeras causas de falha. As últimas colunas são reservadas para a otimização do conceito, derivado da análise da avaliação de riscos.

Desse modo, uma sessão de FMEA se inicia com a identificação de funções ou requisitos de um sistema (de um produto ou processo), subsistema, componente ou operação, maneiras que eles poderiam falhar e os efeitos e as causas de cada modo de falha (KRASICH, 2007).

O passo mais importante de um FMEA é a busca por todos os possíveis modos de falha concebidos. Cada modo de falha não encontrado pode levar a perigosos efeitos de falha e, portanto, a problemas drásticos de confiabilidade. Um princípio imperativo é a

observação de falhas ocorridas em casos semelhantes. Com a ajuda dos experientes membros do time de FMEA todos os modos de falha adicionais podem ser derivados. Frequentemente, *checklists* suplementares são usados na busca por modos de falha (BERTSCHE, 2008).

O formulário completo representa uma “estrutura de árvore” (ver círculos e triângulos da Figura 2). Um dado componente pode ter uma ou mais funções e normalmente vários modos de falha. Cada modo de falha possui vários efeitos de falha e diferentes causas de falha.

A análise de falhas é seguida pela avaliação do risco, que considera os critérios severidade do efeito da falha (S), probabilidade de ocorrência da causa da falha (O), e probabilidade de detecção da causa de falha ou de seu modo (D). Na avaliação do índice de severidade, por exemplo, se pessoas são expostas a perigos, o índice recebe um valor alto, por outro lado, se o efeito for apenas diminuição de conforto, é atribuído um baixo valor. A avaliação do índice de ocorrência refere-se a uma falha hipotética (potencial) ou que já vem ocorrendo no campo. O índice D determina o sucesso na detecção da causa de falha ou de seu modo antes de atingir o cliente. A multiplicação dos três índices resulta no índice de risco (RPN – *Risk Priority Number*) (AIAG, 2008).

Cada norma de aplicação do FMEA possui escalas padrão para a atribuição dos valores para os índices. Normalmente, as escalas são de números inteiros de 1 a 10. O valor 1 representa severidade mínima, baixa ocorrência, e detecção muito provável. O valor oposto (10) representa uma avaliação extremamente negativa e baixa confiabilidade do produto (WIRTH et al., 1996).

Na seção de otimização são atribuídas ações de redução de risco para as causas de falha com os maiores RPNs. Além dos maiores RPNs, também devem ser observados os valores individuais dos índices. Um valor de severidade $S > 8$ aponta para graves danos funcionais e também para riscos de segurança. Casos como esse, naturalmente, devem ser analisados com atenção. Um valor de $O > 8$ significa que a falha ocorre muito frequentemente, e naturalmente deve ser otimizado. Falhas podem ser dificilmente detectadas para valores de $D > 8$. Portanto, isto significa que, nestes casos, o dano não é evitado antes que ele chegue ao consumidor (BERTSCHE, 2008). Os exemplos a seguir, retirados do livro (BERTSCHE, 2008), ilustram quatro casos de avaliação de riscos (Tabela 1) e de análises para determinação de ações de melhoria.

Tabela 1 - Casos de avaliação de riscos (BERTSCHE, 2008)

Caso	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN
1	10	2	10	200
2	5	10	2	100
3	3	10	5	150
4	1	1	1	1

- Análise caso 1: Uma causa isolada de falha potencial de maneira alguma será detectada após sua ocorrência e leva um efeito de falha extremamente severo às mãos do cliente. Para este caso, existe a necessidade de ação, apesar do valor relativamente baixo do RPN.
- Análise caso 2: Uma causa de falha potencial ocorrendo frequentemente leva a um efeito moderadamente severo sob o ponto de vista do cliente. A ocorrência da causa da falha não é sempre detectada e, portanto, atinge as mãos do cliente de tempos em tempos. Aqui, é apropriado se introduzir ações de prevenção, e quando adequado, estas ações podem substituir as ações de detecção que estão implementadas.
- Análise caso 3: Uma causa de falha potencial, que frequentemente ocorre, não é sempre detectada e leva a uma falha relativamente insignificante às mãos do cliente. No entanto, tal condição pode frequentemente resultar em reclamações de clientes e deve ser melhorada com ações apropriadas de otimização.
- Análise caso 4: Uma causa de falha altamente improvável que ocorra, poderia levar a um efeito de falha insignificante às mãos do cliente, se ela ocorresse. Contudo, é altamente provável que a causa da falha seja detectada. No caso dessa avaliação, é razoável verificar as ações de detecção implementadas, e se necessário reduzi-las caso sejam muito caras.

As novas ações de otimização são descritas e responsáveis e prazos são estabelecidos. Após as ações serem implementadas, considerando o novo estado, são atribuídos novos valores para os índices S, O, e D e calculado um novo valor para o RPN.

A Figura 2 ilustra um formulário de FMEA, a estrutura de árvore e as principais informações que são inseridas durante as sessões.

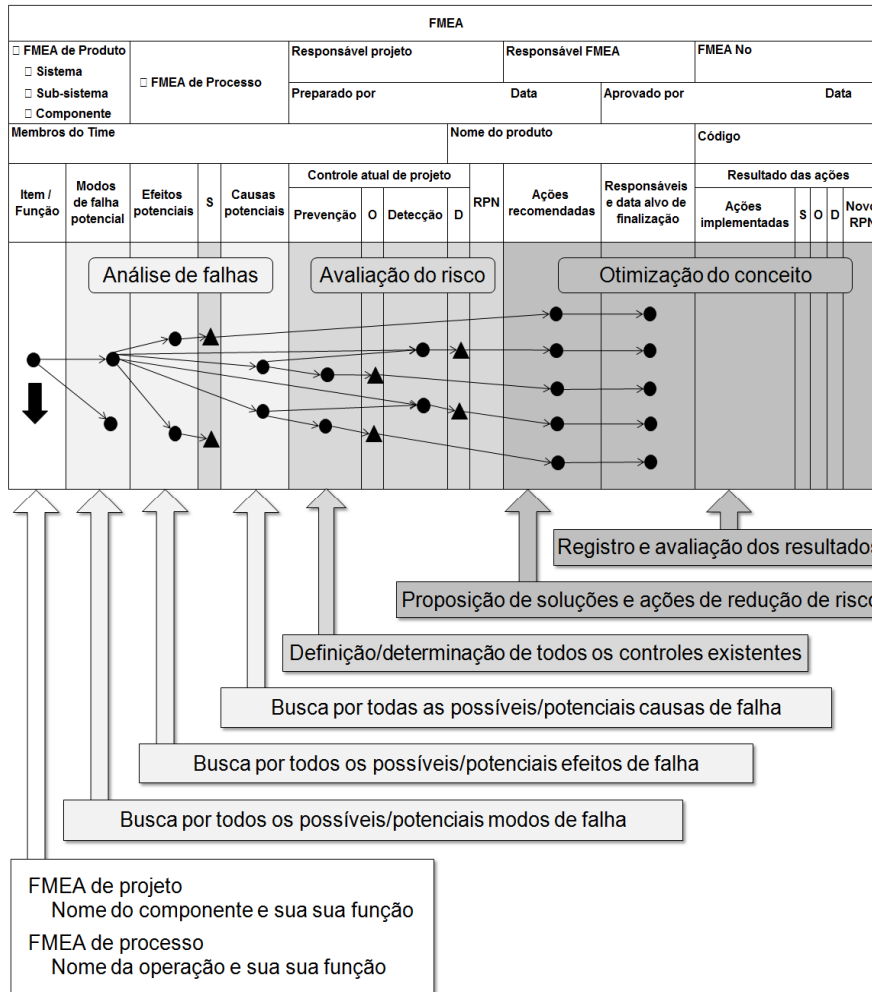


Figura 2 - Típico formulário de FMEA, estrutura de árvore e principais informações que são inseridas no formulário (BERTSCHE, 2008)

A Figura 3 a seguir, ilustrada a visão estrutural das informações do FMEA.

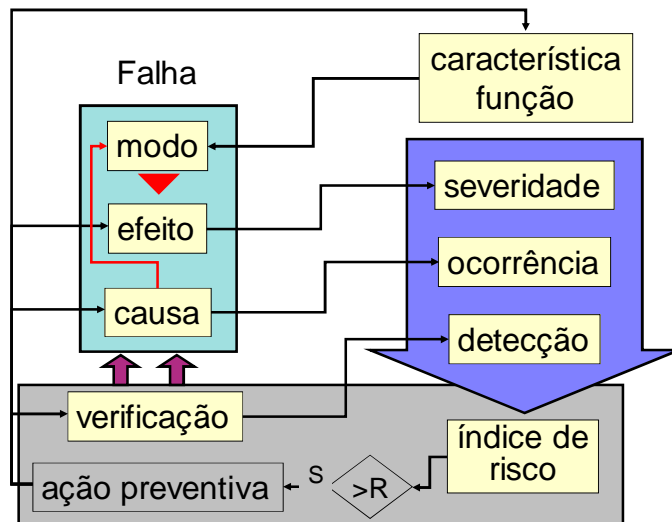


Figura 3 - Visão estrutural das informações do FMEA (ROZENFELD et al., 2006 p.366.)

3.1.3. Times

A execução de um FMEA é realizada em uma ou mais sessões por times multidisciplinares (Figura 4), os times de FMEA. Essa abordagem permite que todas as áreas funcionais da empresa afetadas pela análise sejam envolvidas (AIAG, 2008). Em prática, tem sido demonstrado que a execução do FMEA sob a direção de um facilitador, familiar com o procedimento metodológico, é benéfica, no sentido de evitar discussões referentes ao método (BERTSCHE, 2008).



Figura 4 - O time de FMEA

Em geral, o time de FMEA consiste de um facilitador, que oferece conhecimento metodológico, e membros que oferecem conhecimentos técnicos diversos referentes ao produto ou processo a ser analisado (STAMATIS, 1995). O facilitador, que também pode possuir um pequeno conhecimento do produto ou processo, certifica que os membros do time adquiram conhecimento básico da metodologia antes das sessões de análise (MCDERMOTT, MIKULAK e BEAUREGARD, 2009). Para isso, um treinamento rápido no início de uma sessão pode ser útil (BERTSCHE, 2008).

O tamanho do time depende da complexidade do item e do porte da organização (AIAG, 2008). Pode variar entre 4 – 6 membros. Se menos de 3 – 4 pessoas estiverem na sessão de análise, corre-se o risco de questões importantes serem omitidas ou abordadas inadequadamente. Por outro lado, se o time consistir de mais de 7 – 8 membros, a dinâmica das discussões do grupo poderia ser enfraquecida por falta de integração entre os membros do time, conduzindo, inevitavelmente, a aborrecimentos nas reuniões de FMEA (LEVIN e KALAL, 2003; BERTSCHE, 2008). O manual de aplicação do FMEA da AIAG (2008) prescreve que um time não necessita ter todos os

membros com experiência relevante, mas sim com tempo disponível e autoridade sancionada pela gerência.

Em certos casos, pode ser interessante ter membros do time com diferentes níveis de familiaridade com o produto ou processo. Aqueles que possuem maior familiaridade terão valiosos *insights*, mas talvez não notem problemas potenciais óbvios. Já aqueles que são menos familiarizados com o produto ou processo trarão idéias objetivas e imparciais (MCDERMOTT, MIKULAK e BEAUREGARD, 2009).

Deve-se atentar ao fato de que colaboradores experientes que têm investimento emocional no produto ou processo talvez fiquem demasiadamente sensíveis durante o processo de crítica e se tornem defensivos. Devem-se pesar as vantagens e desvantagens que o conhecimento e experiência deles podem trazer para a discussão antes de incluir ou não esses colaboradores no time (LEVIN e KALAL, 2003).

3.2. Softwares comerciais

Como parte do primeiro pacote de trabalho (item 2.2.1) foi feito o levantamento de softwares comerciais disponíveis no mercado. Os softwares que foram conseguidas licenças educacionais (Xfmea e IQ-FMEA) são descritos a seguir.

3.2.1. Xfmea da ReliaSoft

ReliaSoft Corporation com sede em Tucson, EUA, conta com um representante no Brasil, ReliaSoft Brasil, sediada em São Paulo. A ReliaSoft é uma empresa especializada no desenvolvimento de softwares para avaliação de confiabilidade em engenharia.

O software **Xfmea** da ReliaSoft facilita o desenvolvimento das análises de FMEA, gerando automaticamente os relatórios das análises, e ainda permite o gerenciamento completo dos dados de entrada e saída no software incluindo todas as ações recomendadas para a melhoria dos projetos criados, sendo que o software pode ser customizado para atender as necessidades de cada empresa.

Os relatórios, que o XFMEA pode gerar, reportam informações sobre cada componente analisado com seu(s) respectivo(s) modo de falha(s), apresentam também informações sobre os efeitos e causas dos modos de falhas, além de um plano de controle para as ações recomendadas e uma planilha para a revisão do projeto após as ações recomendadas serem finalizadas.

Além disso, o XFMEA apresenta as seguintes vantagens:

- Facilidade em criar relatórios (APQP³, ISO TS 16949⁴, entre outros), gráficos, diagramas de fluxo de processos e diagramas de blocos funcionais;
- Personaliza diferentes normas que são voltadas para a aplicação do FMEA como SAE J1739, SAE ARP5580, AIAG FMEA-3, MIL-STD-1629A, etc.
- Personaliza diferentes aplicações, como por exemplo, o FMECA (*Failure mode, effects and critically analysis*), DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*), PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis*), etc.
 - Permite ter diferentes vistas para facilitar a entrada de dados;
 - Permite o reuso de descrições e seções de outras análises;
 - Pode ser integrado com outros softwares de confiabilidade;
 - Permite anexar arquivos e links nas análises;
 - Facilita a definição e o gerenciamento de ações de melhoria (fechar o ciclo das ações corretivas), através de notificações via email e gráficos de controle de progresso;
 - Permite o registro de revisões e congelamento de versões;
 - Permite checar se a análise foi completa;
 - Possui utilitário de busca.

Devido às facilidades, citadas acima, que o XFMEA proporciona, este software pode ser usado como um excelente meio para combater algumas deficiências do FMEA, já que ele ajuda a tornar a aplicação do FMEA mais rápida, integra outras ferramentas, além de facilitar a reutilização das informações de aplicações do FMEA de projetos anteriores devido seu banco de dados.

3.2.2. IQ-FMEA da APIS

APIS informationstechnologien GmbH é uma empresa alemã que lançou-se no mercado no ano de 1992, firmando-se por meio de produtos com funcionalidades únicas e por seu alto padrão de tecnologia em softwares gerenciadores de riscos baseados em conhecimentos. A empresa fica alocada em dois lugares no mundo que são nos Estados Unidos e na Alemanha, onde se situa a sede.

O software IQ-FMEA tem como objetivo principal apoiar os usuários (projetistas) que estiverem trabalhando no âmbito da gestão de riscos. A grande movimentação de

³APQPA (Advance Product Quality Planning): Planejamento avançado da qualidade do produto é uma estrutura de procedimentos e técnicas usadas para gerenciar a qualidade no desenvolvimento de produtos.

⁴A 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.

dados necessária durante aplicação do FMEA torna-se consistente e eficiente com a utilização do IQ-FMEA, sendo que possíveis mudanças nos documentos podem ser feitas sem necessidade de ajustes adicionais. O software é adaptado e otimizado para o ambiente do Windows e oferece uma base de segurança para integrar o fluxo de trabalho e sistemas de gestão de documentos. Com isso, todas as expectativas de reuso de conhecimentos documentados são alcançadas.

Com a utilização do IQ-FMEA diversos documentos padronizados podem ser criados para apresentar os resultados da análise seguindo normas como ISO/TS 16949, VDA, AIAG, IEC 61508 e ISSO CD 26262, sendo estes documentos a matriz do FMEA, diagrama de fluxos de processos, planos de controle, planos de prazo e avaliações estatísticas. No entanto, outros documentos podem ser compilados, já que mesmo não seguindo normas podem ser úteis para a análise do FMEA, que são árvores de estrutura, redes de funções, redes de falhas, diagrama de causas e efeitos e árvore de falhas.

Para proporcionar esta gama de relatórios possíveis, o IQ-FMEA apresenta diversas funcionalidades, que são elas:

- Estruturas de sistemas: representa a estrutura do sistema em forma de árvore, sendo que a árvore mostra como o sistema completo pode ser dividido em subsistemas, e assim, as análises de falhas e funções podem ser realizadas. A Figura 5 apresenta um printscreen da estrutura apresentada pelo IQ-FMEA.

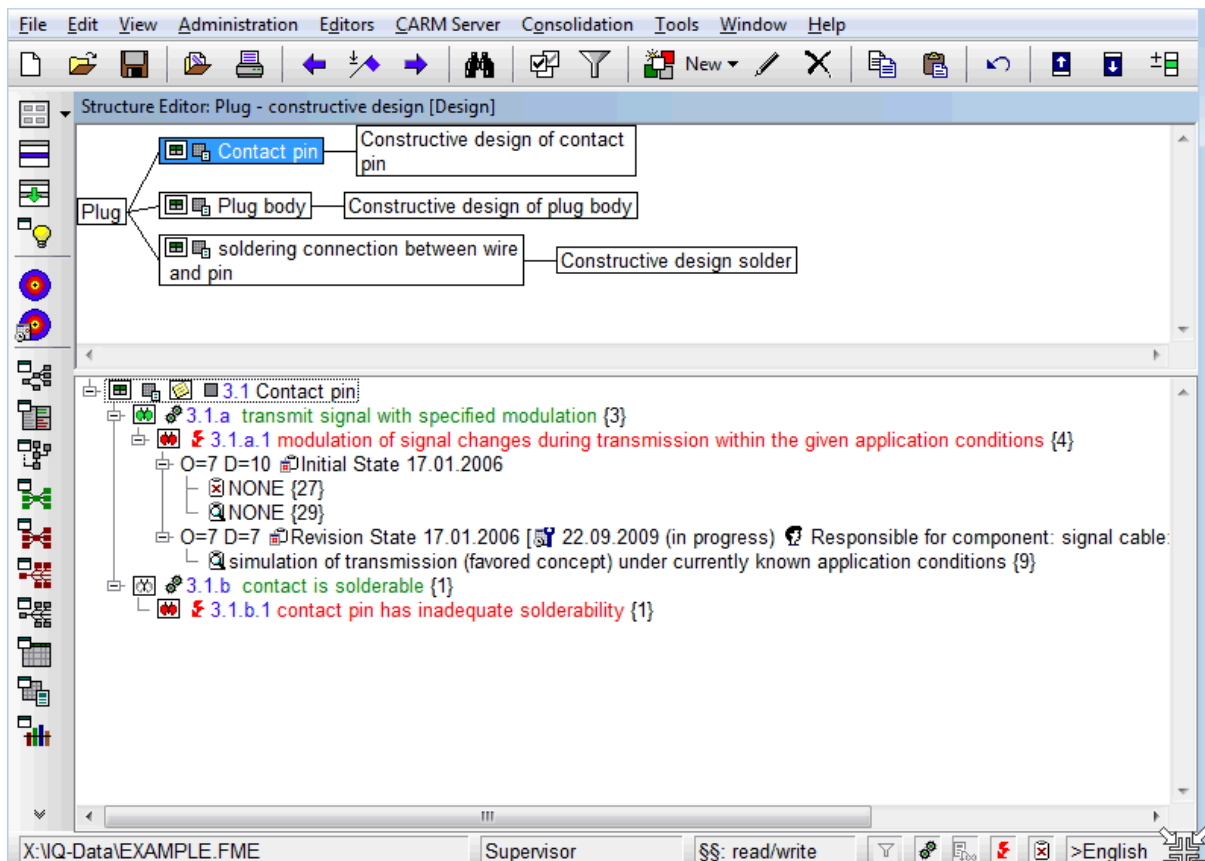


Figura 5 - Printscreen da estrutura de sistemas

- Rede de funções: As informações de causa e efeito de uma estrutura ou função do projeto são armazenadas em função da rede.
- Rede de falhas: As informações de causa e efeito de uma estrutura ou fracasso do projeto são armazenadas na rede falha.
- FTA e Diagrama de causa e efeito: ambos podem ser realizados por meio das informações provenientes da rede de falhas e funções.
- Matriz do FMEA: representa todas as entradas e saídas da análise do FMEA, sempre seguindo normas internacionais como VDA, AIAG, MIL entre outras. Além disso, está apto em receber comentários e gráficos para visualização junto à matriz. A Figura 6 apresenta a matriz do FMEA em conjunto com um gráfico.

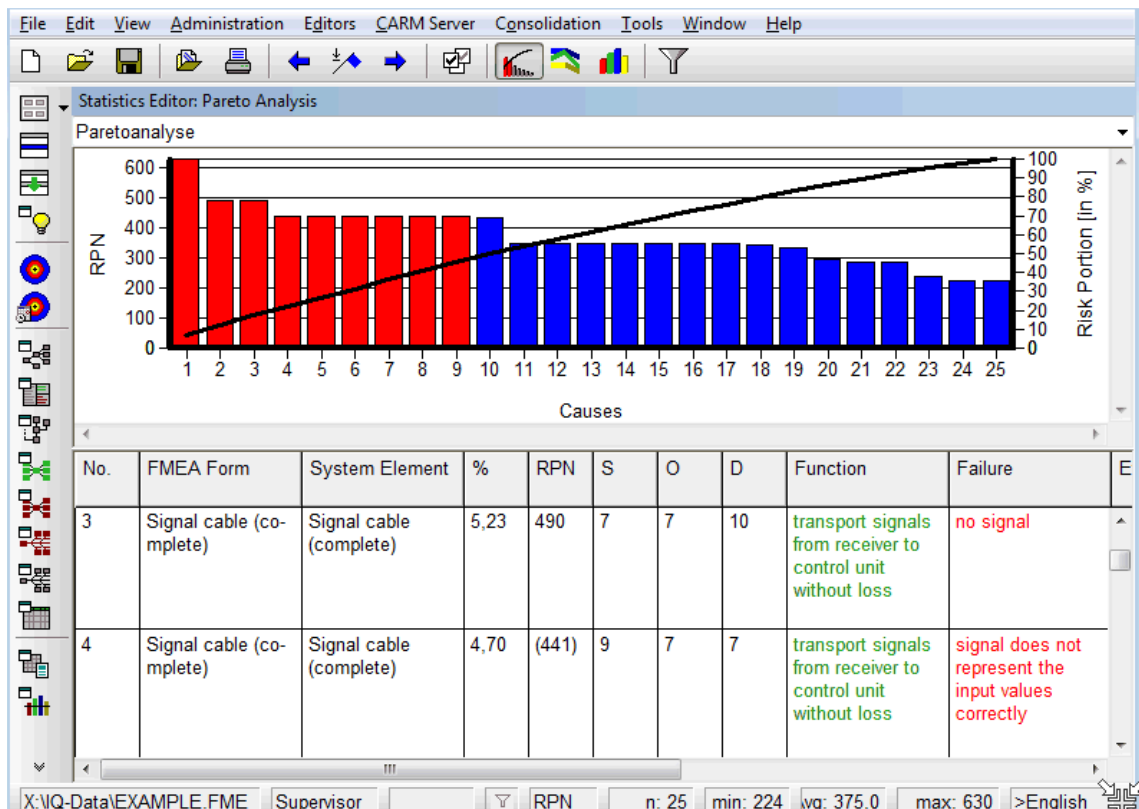


Figura 6 - Matriz e gráficos de controle

- IQ-explorer: O IQ-Explorer funciona de forma semelhante ao Windows Explorer. No entanto, um grande número de possibilidades adicionais é oferecido desde que o IQ-Explorer saiba e possa usar a estrutura de informação relevante no âmbito da sua busca. Na sua forma mais simples a IQ-Explorer é usado para procurar documentos em que determinado texto esteja contido
- Comunicação do time: esta função possibilita que emails automáticos sejam enviados para informar a situação da análise entre os membros do time, que planilhas sejam enviadas também por email e que informações sobre o FMEA sejam publicadas tanto na internet como na intranet.
- Acompanhamento de ações: enumera o responsável, a data e qualquer informação adicional para cada ação única. Esta ferramenta auxilia no gerenciamento de projetos. A Figura 7 apresenta um printscreen da planilha de acompanhamento de ações.

Active Ac-	Detection Action	Date	Status	Responsibility	RPN	RPN initial	RPN Now
atically proof-of-label at appliance	check bill of materials and verify with recorded test results	19.05.2009	in progress	Bonewski, Hans, D-PT, Entwicklung	(72)	225	225
	checking and clearing of process by shift supervisor	17.03.2009	in progress	Hehre, Claudia, FV-PO, Prozessplanung	(225)	270	270
	record in process documentation and checking by			Shift supervisor	RPN	RPN	RPN

Figura 7 - Planilha de acompanhamento de ações

- Avaliação estatística: fornece números e diagramas com base nesses números, a fim de ser capaz de avaliar os riscos em um sistema. Existem diferentes opções de análise disponíveis, tais como Análise de Pareto, análise de frequência, Matriz de riscos, entre outras.
- Controle de terminologia: O IQ-FMEA apresenta um catálogo para facilitar o reuso de informações e conhecimentos já que a terminologia torna-se uniforme, sendo alcançado por meio do IQ-explorer.

Pelas diversas funções citadas acima, este software faz com que a aplicação do FMEA seja mais eficiente, visto que problemas apresentados pelo FMEA podem ser superados, como por exemplo, falta de integração entre os membros da equipe e falta de reuso de informações de FMEAs realizados anteriormente, além disso otimiza o tempo, já que relatórios e gráficos são gerados automaticamente. E por tudo isso, IQ-FMEA é utilizada por várias empresas no mundo, entre elas estão AIRBUS Deutschland, BMW, BOSCH, TRW Automotive, entre outras.

Em seguida, é apresentada a Revisão Bibliográfica Sistemática, que trata-se do segundo pacote de trabalho, realizada para agrupar os problemas e deficiências do FMEA, assim como suas respectivas propostas de melhorias.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA (RBS)

A revisão sistemática consiste em uma metodologia específica científica que vai mais a fundo que uma simples visão geral sobre determinado assunto ou tema. Ela objetiva integrar e ordenar uma pesquisa empírica para criar generalizações. Esta iniciativa de integração envolve objetivos específicos, os quais permitem que o pesquisador analise criticamente os dados coletados, resolva conflitos detectados nos materiais provenientes da literatura e identifique questões para planejar futuras investigações (BIOLCHINI et al., 2005).

O modelo de revisão sistemática utilizado é apresentado por Biolchini et al (2005) e envolve três etapas: Planejamento, Execução e Análise. Durante as três etapas os dados operacionais são armazenados, e, ao final da revisão eles são usados para apresentar os resultados. Entre as fases são previstas avaliações. Assim, se os resultados gerados em uma fase não são aprovados, a fase é executada novamente. O processo de Biolchini é representado na Figura 8.

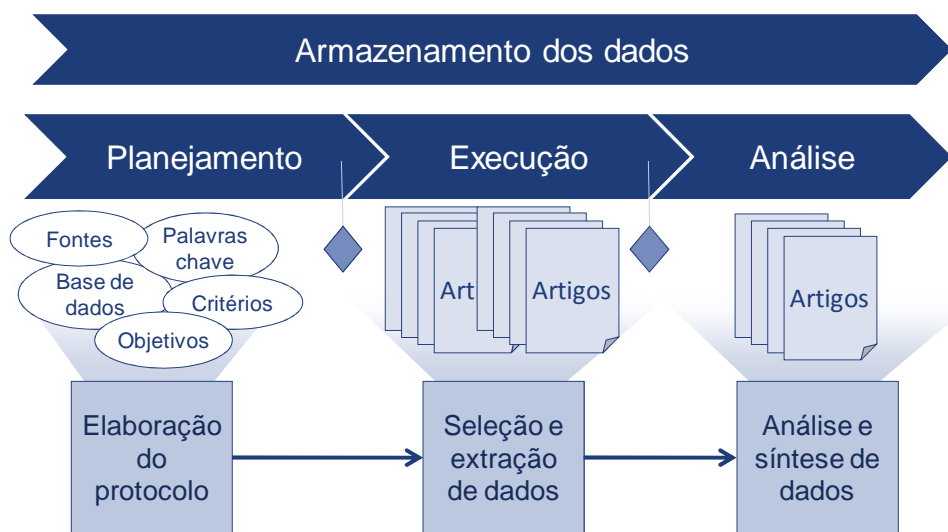


Figura 8 - Processo de Condução de Revisão Sistemática (Biolchini et al, 2005)

A identificação da necessidade de uma revisão já é parte da etapa de **Planejamento**. Da necessidade identificada são derivados os objetivos da pesquisa e elaborado um protocolo para a revisão. No protocolo são registrados os objetivos, e definidas questões a serem respondidas, fontes de busca, idioma das publicações, palavras-chave para as buscas, critérios de inclusão e exclusão das publicações, métodos de seleção e estratégia de extração de informações.

Na etapa de **Execução**, as palavras-chave são inseridas nas fontes de busca e os resultados obtidos (publicações) são selecionados de acordo com as definições do protocolo. Em seguida, são extraídas as informações relevantes dos estudos selecionados.

Na etapa de **Análise** as informações extraídas são analisadas e sintetizadas. A síntese pode ser apresentada de maneira descritiva (texto), em tabelas e gráficos.

A seguir as três etapas serão detalhadas.

4.1. Planejamento da revisão

Da revisão bibliográfica inicial, é identificada a necessidade de se levantar e sintetizar problemas e propostas de melhoria do FMEA de maneira sistemática. Essa necessidade caracterizou o objetivo de realizar uma revisão bibliográfica sistemática.

Após identificar o objetivo da revisão, é elaborado um protocolo especificamente para guiar todo o processo desta revisão sistemática. Seus principais pontos são apresentados a seguir.

4.1.1. Objetivo e questão

O **objetivo** da revisão bibliográfica é identificar e classificar os problemas e propostas de melhoria para o FMEA. Para propriamente focar a revisão, duas **questões de pesquisa** são elaboradas:

Quais problemas da aplicação do FMEA podem ser identificados da literatura e quais propostas de melhoria foram apresentadas para solucionar esses problemas?

4.1.2. Fontes de busca e seleção

Uma lista de **fontes de dados** é desenvolvida aplicando os critérios: ter acesso eletrônico, livre ou custeado pela Universidade de São Paulo, possuir mecanismos de busca baseado em palavras-chave, possuir indexados periódicos e anais de congressos da área de engenharia. As fontes selecionadas são as bases de dados eletrônicas: *Compendex, Science Direct, Scopus, Web of Science, IEEEExplore e Emerald*. Informações adicionais de cada base de dados são dadas pelo **Apêndice C**.

4.1.3. Idiomas das publicações

Os **idiomas** escolhidos são o inglês, por ser a língua internacionalmente usada para a escrita 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.

4.1.4. Palavras-chave

As **palavras-chave** escolhidas para a população são: “*FMEA*”, “*failure mode*”, “*product development*”, “*deficiency*”, “*design*”, “*shortcoming*”, “*product design*”, “*modified*”, “*integration*”, “*software*”. Das palavras-chave são derivadas as **strings de busca**: (*FMEA AND Deficiency*) OR (*FMEA AND “Product development”*) OR (*FMEA AND Design*) OR (*FMEA AND Shortcoming*) OR (*FMEA AND “Product design”*) OR (*FMEA AND Modified*) OR (*FMEA AND “Failure mode”*) OR (*FMEA AND Integration*) OR (*FMEA AND Software*). Na medida do possível, a string de busca será a mesma para todas as máquinas de busca (bases de dados eletrônicas). No entanto, podem existir adaptações para adequar as restrições de máquinas de busca específicas, de acordo com as diretrizes: (1) a string derivada deve ser logicamente equivalente à string original, ou (2) na impossibilidade de se manter equivalência exata, a string derivada deve ser mais abrangente para evitar perda de documentos potencialmente relevantes.

4.1.5. Processo de seleção de estudos

O **processo de seleção dos estudos** passa pelas etapas de seleção preliminar e seleção final. Na **seleção preliminar** é feita a leitura do resumo e da conclusão do estudo. Caso o trabalho atenda a critérios de inclusão e de exclusão, ele é selecionado para o processo de seleção final. Na **seleção final** é lido o artigo completo, e os que atenderem aos mesmos critérios serão selecionados para a extração de informações. Os **critérios de inclusão e exclusão** são:

- (1) O texto completo das publicações deve ser acessível via *web*;
- (2) A publicação deve citar pelo menos um problema do FMEA; e
- (3) O artigo deve apresentar pelo menos uma proposta de melhoria para o FMEA.

4.1.6. Estratégia de extração de informações

Adotam-se como **estratégia de extração de informação** que, para cada artigo selecionado, são extraídas as informações: título do documento, autores, tipo de publicação (periódico ou conferência), fonte (nome do periódico ou conferência), ano de publicação, país de origem da publicação, nome da fonte (base de dados) onde o trabalho foi encontrado, a descrição da melhoria proposta, e os problemas do FMEA citados.

4.2. Execução de buscas

Essa etapa compreende dois passos, execução da seleção e extração de informações. Os dois passos são descritos a seguir.

4.2.1. Execução da seleção

As buscas foram realizadas utilizando máquinas de busca das bases de dados selecionadas. Foram recuperadas 2602 referências, sendo 645 da Scopus, 573 da Compendex, 489 da Science Direct, 427 da ISI Web of Knowledge, 279 da Emerald e 189 da IEEEExplore. Para apoio à manipulação e tratamento dos trabalhos recuperados foi utilizado o gerenciador de referências JabRef.

Como parte da etapa de seleção preliminar, foram lidos os 2602 resumos, eliminando os trabalhos que nitidamente não citavam problemas do FMEA e não apresentavam uma proposta de melhoria para o método. Da seleção preliminar chegou-se a 123 publicações.

Então na seleção final os 123 trabalhos foram lidos por completo, chegando-se a 106 publicações para terem suas informações extraídas. A lista completa das 106 publicações é encontrada no **Apêndice D**. Elas foram referenciadas no formato numérico para facilitar a citação, que também será numérica.

A Tabela 2 mostra o número de publicações encontradas para cada base de dados, o número de publicações selecionadas após as duas etapas de seleção e a porcentagem de publicações selecionadas em relação ao encontrado.

Tabela 2– Número de artigos encontrados e selecionados em cada base de dados

	Números de publicações encontradas	Publicações selecionadas após processo de seleção preliminar	Publicações selecionadas após processo de seleção final	Número de publicações selecionadas por encontradas (%)
Scopus	645	16	13	2,02
Compendex	573	54	50	8,73
Science Direct	489	19	14	2,86
ISI Web of Knowledge	427	7	4	0,94
Emerald	279	15	14	5,02
IEEEExplore	189	12	11	5,82
Total	2602	123	106	

4.2.2. Extração das informações

Neste passo são extraídas as informações definidas na estratégia de extração. As publicações foram numeradas por ordem alfabética crescente do sobrenome do primeiro autor.

Informações referentes ao título do documento, autores, tipo de publicação, fonte, ano de publicação, país de origem da publicação e nome da base de dados foram tabuladas em uma planilha do Microsoft Excel. A Figura 9 apresenta a informação de dois artigos, como exemplo. Para o registro dos problemas do FMEA citados foi elaborada em outra planilha uma matriz de correlação entre as publicações e os problemas citados (Figura 10).

Informações provenientes das publicações selecionadas							
ID	Título da publicação	Autores	Tipo	Fonte	Ano	País	Base de Dados
[1]	A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies	Almannai, B. and Greenough, R. and Kay, J.	Periódico	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2008	Reino Unido	Compendex
[2]	Reliability Improvement of a Diesel Engine Using the FMETA Approach	Arcidiacono, Gabriele and Campatelli, Gianni	Periódico	Quality and Reliability Engineering International	2004	Itália	Compendex

Figura 9 - Printscreen da tabela de arquivamento das informações extraídas das publicações selecionadas

A tabela com os estudos cadastrados em ordem alfabética em relação aos autores (Figura 9) pode ser observada no **Apêndice E**.

Nome do Artigo	Deficiência/Problemas do FMEA citado nos artigos				
	Problema 1	Problema 2	Problema 3	Problema 4	...
Artigo 1	1		1		
Artigo 2			1	1	
...					

Figura 10 - Printscreen da matriz de relacionamento entre os problemas do FMEA e o nome do artigo que o citou

Na primeira coluna da matriz foram inseridos os nomes dos 106 artigos selecionados, e durante a leitura do artigo, quando era citado um problema do FMEA, este último era inserido na primeira linha da matriz. Geralmente um artigo citava mais de um problema e este relacionamento foi feito inserindo o número 1 na célula que era a

intersecção entre a linha que representa o artigo e a coluna que representa o problema. Dessa forma, foi possível contabilizar a frequência de aparecimento dos problemas.

Foram encontrados 361 problemas para o FMEA. Eles são apresentados em detalhes na seção 4.3.4.

4.3. Análise das informações extraídas

4.3.1. Fonte e tipo de publicação

Os 106 artigos selecionados foram publicados em 54 locais (fontes) diferentes, sendo que 62 são periódicos e 44 são congressos. Dez fontes tiveram mais de uma publicação selecionada, totalizando 62 publicações. As demais 44 fontes tiveram uma publicação cada. Na Tabela 3 são mostrados os nomes das fontes em ordem crescente de número de publicações. A lista das fontes que tiveram uma publicação (outros) está no **Apêndice F**.

Tabela 3 - Fontes e quantidades de publicações

Fonte	Número de publicações	
Annual Reliability and Maintainability Symposium	25	23,58
International Journal of Quality & Reliability Management	12	11,32
Reliability Engineering and System Safety	8	7,55
Quality And Reliability Engineering International	4	3,77
Expert Systems with applications	3	2,83
CIRP Annals - Manufacturing Technology	2	1,89
International Journal Of Food Science And Technology	2	1,89
International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2	1,89
Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME	2	1,89
The International Symposium on Product Quality and Integrity	2	1,89
Outros	44	41,51
Total	106	100

4.3.2. Distribuição por ano e por país

Os anos das publicações dos artigos selecionados são apresentados na Figura 11 e os países de origem na Figura 12.

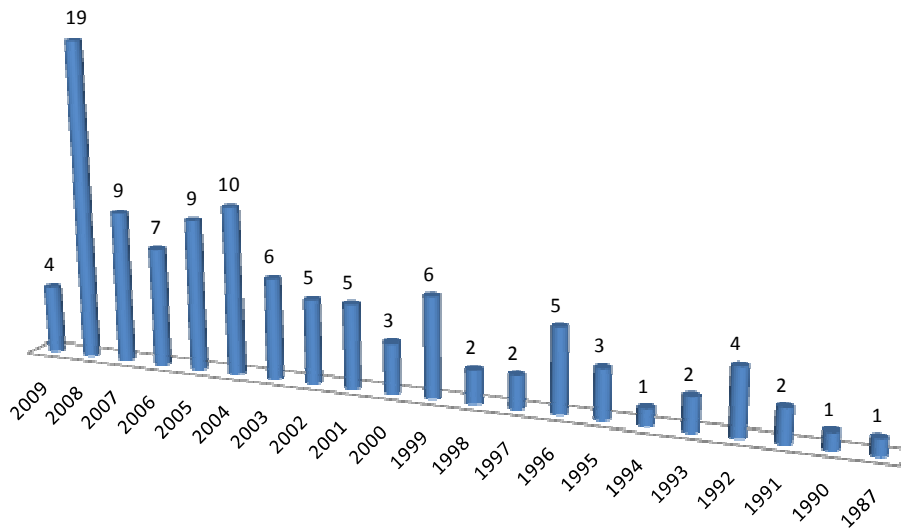


Figura 11 - Distribuição anual dos estudos selecionados

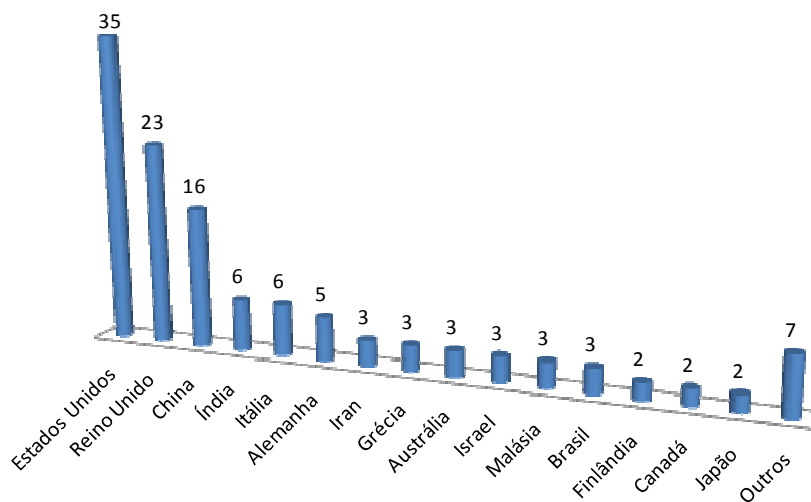


Figura 12 - Distribuição de estudos por país de origem

Cada um dos países da legenda “Outros” da Figura 12 teve um estudo selecionado. Esses países são: Síria, Suécia, Arábia Saudita, Holanda, França, Espanha e Áustria.

4.3.3. Melhorias propostas para o FMEA

Da análise das 106 publicações selecionadas, foram encontradas 161 práticas, que são propostas para melhorar a aplicação do FMEA no processo de desenvolvimento de produtos. As 161 práticas foram classificadas e agrupadas, de acordo com a metodologia apresentada pela mesma, em 2 abordagens, 1 ferramenta, 7 frameworks, 71 métodos, 25 sistemas e 55 diretrizes. Tal classificação é apresentada a seguir pela Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das práticas

Classes de melhoria	Descrição
Abordagem	Maneira ampla de encarar um problema ou situação (Wikipédia, 2011)
Ferramenta	É um utensílio, dispositivo, ou mecanismo físico ou intelectual utilizado por trabalhadores das mais diversas áreas para realizar alguma tarefa (Wikipédia, 2011)
Framework	Estrutura conceitual usada para resolver um problema ou desenvolver algo (Wikipédia, 2011)
Método	Trata-se de uma descrição detalhada de todas as operações necessárias para a realização de uma atividade (Wikipédia, 2011)
Sistemas	Trata-se de um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado (Wikipédia, 2011)

A classificação das práticas e a definição das diretrizes que podem ser alcançadas por elas, ou seja, as metas e as medidas prioritárias e suficientes a serem atingidas, são apresentadas, assim como o ID de identificação, para relacioná-la com sua referência bibliográfica, ressaltando que as tabelas foram separadas por classe de melhoria.

A Tabela 5 apresenta as práticas que se utilizam da classe abordagem para sua aplicação, e as diretrizes alcançadas por tais práticas, sendo que esta classe engloba um total de duas práticas.

Tabela 5 - Práticas e Diretrizes da classe abordagem

ID	Práticas	Diretrizes
[26]	Abordagem chamada ROMDA (<i>Reliability Optimization Method through Degradation Analysis</i>) que adota o FMEA para prever a confiabilidade de um produto	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas
[103]	Abordagem chamada FuRBaR (<i>Fuzzy Rule-Based Bayesian Reasoning</i>) para priorizar falhas no FMEA	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy

Em seguida, a Tabela 6 apresenta a prática que emprega a classe ferramenta, e as suas diretrizes, sendo que esta classe apresentou apenas uma prática.

Tabela 6 - Práticas e Diretrizes da classe ferramenta

ID	Prática	Diretriz
[1]	Ferramenta (planilha excel) de apoio a tomada de decisão baseada no QFD e no FMEA, que considera pessoas, tecnologia e organização	Integrar os métodos FMEA e QFD

A Tabela 7 apresenta as práticas que empregam a classe framework, e a diretrizes por elas alcançadas, sendo que esta classe apresentou sete práticas.

Tabela 7 - Práticas e Diretrizes da classe framework

ID	Prática	Diretrizes
[61]	Framework para capturar e analisar modos de falha devido a interações entre sistemas/componentes	Usar análise de clusters para identificar modos de falha de componentes, priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy, integrar o FMEA com as rotinas de testes de CAD/CAM e capturar modos de falhas devido a interações entre componentes de um módulo
[77]	Framework para racionalização de falhas em sistema em múltiplos níveis de abstração	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[84]	Framework que modela o comportamento de um sistema para análise de risco e confiabilidade	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy e usar a teoria Grey para calcular o RPN
[85]	Framework que usa fuzzy methodology (FM) para prever o comportamento de sistema	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[89]	Framework para prever e atualizar o índice de ocorrência baseado na lógica <i>Fuzzy</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[92]	Framework para reusar conhecimentos do FMEA por meio de modelagem de conhecimentos	Reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises e usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[95]	Framework iFMEA (intelligent FMEA)	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas

Em seguida, a Tabela 8 segue o mesmo padrão das tabelas anteriores, no entanto, para a classe método, sendo que esta classe apresentou um total de 71 práticas.

Tabela 8 - Práticas e Diretrizes da classe método

ID	Prática	Diretrizes
[2]	Método FMETA (Failure Mode and Effect Tree Analysis)	Integrar os métodos FMEA e FTA, integrar o design axiomático e o FMEA e identificar falhas originadas pela mesma causa
[3]	Método estatístico de clusterização para identificar falhas potenciais	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas e usar análise de clusters para identificar modos de falha de componentes
[4]	Método que integra FMEA, diagrama de Ishikawa, análise de Pareto com o método HACCP	Aplicar o método HACCP em conjunto com o FMEA, aplicar o diagrama de Ishikawa em conjunto com o FMEA e usar a análise de Pareto para priorizar os RPNs
[5]	Método que integra FMEA, diagrama de Ishikawa, análise de Pareto com o método HACCP	Aplicar o método HACCP em conjunto com o FMEA, aplicar o diagrama de Ishikawa em conjunto com o FMEA e usar a análise de Pareto para priorizar os RPNs
[6]	Método que integra FMEA, diagrama de Ishikawa, análise de Pareto com o método HACCP	Aplicar o método HACCP em conjunto com o FMEA, aplicar o diagrama de Ishikawa em conjunto com o FMEA e usar a análise de Pareto para priorizar os RPNs
[8]	Método melhorado de FMEA para o calculo do RPN	Dar maior peso ao índice Ocorrência
[9]	Método para fechar a lacuna no desenvolvimento de hardware e software usando o FMEA	Validar modos de falhas críticos e a resposta do sistema a falhas por meio de simulações
[10]	Método Expanded FMEA (EFMEA)	Ordenar, do menor para o maior, os valores dos RPNs em um gráfico <i>Scree Plot</i> e priorizar os RPNs a serem atacados que comporem a inclinação mais acentuada e para um mesmo modo de falha, ranquear por viabilidade as ações de melhoria e selecionar a mais adequada
[11]	Método Bouncing Failure Analysis (BFA)	Integrar os métodos FMEA e FTA e identificar falhas originadas pela mesma causa
[12]	Método para a avaliação da priorização do RPN na análise do FMEA	Retirar o índice Detecção, segmentar a severidade nas classes segurança, operacionalidade e estética e calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[13]	Método para priorização de modos de falhas usando a lógica <i>fuzzy</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[15]	Método chamado Priority-Cost FMECA (PC-FMECA)	Calcular o custo que as falhas poderiam incorrer

[16]	Método que usa a teoria <i>Grey</i> para calcular o RPN do FMEA	Usar a teoria <i>Grey</i> para calcular o RPN
[17]	Método que usa a lógica <i>Fuzzy</i> combinada com a teoria <i>Grey</i> para calcular o RPN do FMEA	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a <i>Lógica Fuzzy</i> e usar a teoria <i>Grey</i> para calcular o RPN
[18]	Método chamado <i>Design Process</i> FMEA	Integrar os métodos FMEA e QFD e considerar como possíveis modos de falhas para o FMEA erros advindos das áreas: conhecimento, análise, comunicação, execução, mudança e organização
[19]	Substitui o RPN do FMEA pelo UPN (<i>Utility Priority Number</i>)	Avaliar a interdependência das ações de melhoria para decidir a ordem de implementação
[20]	Programação linear <i>fuzzy</i> aplicada aos métodos QFD e FMEA	Integrar os métodos FMEA e QFD e priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a <i>Lógica Fuzzy</i>
[22]	Método FMEA modificado que identifica riscos de falhas que têm a mesma causa	Usar taxonomia padrão e identificar falhas originadas pela mesma causa
[24]	Método FMEA que usa a abordagem <i>Evidential Reasoning</i> (ER - racionalização por evidência)	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando usa a abordagem <i>Evidential Reasoning</i> (ER - racionalização por evidência)
[25]	Método <i>Timed</i> FMEA	Sem diretrizes específicas
[27]	Método <i>Total</i> FMEA (TFMEA)	O FMEA deve ser aplicado por todos os departamentos da empresa
[28]	Método chamado <i>Fuzzy Utility Theory based</i> FMEA (FUT-based FMEA)	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a <i>Lógica Fuzzy</i> e calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[30]	Método que usa o <i>Overall Equipment Efficiency</i> (OEE) para melhorar a aplicação do FMEA	Sem diretrizes específicas
[31]	FMEA para projeto baseado em risco	Se todas as possíveis falhas de um subsistema conduzem ao mesmo efeito, então é aceitável considerar o subsistema como um único componente com modos de falhas amplamente definidos, se o efeito final de falhas dentro de um subsistema depende de qual componente é considerado, então o subsistema deve ser quebrado em componentes mais específicos, a resolução dos índices de severidade e ocorrência deve ser entre 3 à 5 e antes de se iniciar o FMEA, deve ser definido o nível de risco considerado inaceitável
[32]	Método para integração do FMEA com o QFD	Integrar os métodos FMEA e

		QFD
[33]	Método para o cálculo do RPN sem transformar valores qualitativos em quantitativos	Diminuir a subjetividade do cálculo do RPN
[34]	Método FMEA que usa dígrafos e matrizes	Considerar as interações entre os modos e efeitos de falhas
[35]	Método para promover interações entre os métodos QFD e FMEA	Integrar os métodos FMEA e QFD
[36]	Método FMEDA (Failure Mode Effect and Diagnostic Analysis)	Sem diretriz específica
[37]	Método FMEA aplicado para melhorar a confiabilidade de sistemas eletrônicos	Quando for identificado que uma única falha pode causar a falha simultânea de vários componentes de um sistema, deve-se propor o uso de redundâncias, isto é, componentes que têm a mesma função mas seus princípios de funcionamento são diferentes
[39]	Método <i>probabilistic</i> FMEA (pFMEA)	Sem diretrizes específicas
[40]	Método que usa o sistema de inferência fuzzy (<i>fuzzy inference system</i>) no FMEA para estimar o risco a partir de opiniões de especialistas sobre a quantificação de variáveis lingüísticas	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[41]	Método FMEA com aspectos financeiros de risco e o modelo ABC (<i>Actived-Based Cost</i>)	Calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[42]	Método para a análise de severidade baseado na linguagem UML	Integrar os métodos FMEA e FTA, calcular o custo que as falhas poderiam incorrer e integrar os métodos FMEA e FFA (Functional Failures Analysis)
[44]	Método que combina o FMEA e o FAHP (<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>) para avaliar riscos de componentes verdes	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[45]	Método que combina o FMEA e o FAHP (<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>) para avaliar riscos de componentes verdes	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[48]	Método <i>Group-based Failure Effects Analysis</i> (GFEA)	Sem diretrizes específicas
[49]	Método FMEA melhorado	Considerar as interações entre os modos e efeitos de falhas, antes de iniciar o FMEA, derivar um diagrama de bloco funcional ou hierárquico, claramente identificando a seqüência do fluxo funcional e dependências ou independências das funções e operações. Um diagrama na forma de árvore é particularmente recomendado e antes de iniciar o FMEA, identificar o nível o qual a análise deve iniciar. O grau de detalhes depende do estágio que as análises são conduzidas
[50]	Método <i>Smart</i> FMEA	Sem diretrizes específicas

[51]	Método <i>scenario-based</i> FMEA	Calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[52]	Método para analisar modos de falhas usando FTA	Integrar os métodos FMEA e FTA e identificar falhas originadas pela mesma causa
[53]	Método que integra o QFD e o FMEA	Integrar os métodos FMEA e QFD e usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas
[55]	Método <i>Bayes Networking</i> FMEA (BN-FMEA)	Sem diretrizes específicas
[57]	Método para modelar o conhecimento e realizar diagnóstico sobre falhas usando <i>Polychromatic sets theory</i>	Reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises
[64]	Método que aplica <i>Fuzzy Cognitive Maps</i> (FCM) no FMEA	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas e priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy
[65]	Método que usa Fuzzy Cognitive Maps (FCM) com um modelo de sistema para a análise do FMEA	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[66]	Método qualitativo de integração da qualidade assegurada e da predição da confiabilidade por todo o ciclo de desenvolvimento de produto	Sem diretrizes específicas
[67]	Método mFMEA (<i>multiple Failure Mode and Effects Analysis</i>)	Integrar os métodos FMEA e FTA, identificar falhas originadas pela mesma causa e considerar as interações entre os modos e efeitos de falhas
[68]	Método FMEA que usa a lógica probabilística <i>approximate reasoning</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy e usar a teoria Grey para calcular o RPN
[75]	Método FMEA aplicado em um sistema de decisão	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy
[76]	Método Life Cost-Based FMEA	Calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[78]	Método para priorizar falhas no FMEA	Sem diretrizes específicas
[79]	Método FMEA aplicado no gerenciamento da gestão técnica de riscos no PDP	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas
[80]	Método alternativo para salvar custos da preparação do FMEA	Sem diretrizes específicas
[81]	Método de re-priorização de modos de falhas do FMEA para proposição de ações corretivas	Considerar as interações entre os modos e efeitos de falhas
[82]	Método que integra o FMEA e o modelo de Kano	Definir o índice de severidade sob o ponto de vista do cliente.

[83]	Método FMEA que usa linguagem <i>fuzzy</i> de modelagem	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[86]	Método <i>Inter-Crossing</i>	Usar um <i>checklist</i> de causas de falhas
[87]	Método <i>Function-Failure Design Method</i> (FFDM)	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas e usar taxonomia padrão
[88]	Método para simplificar o FMEA baseado na lógica <i>Fuzzy</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[90]	Método para implementar o FMEA em um ambiente colaborativo	FMEA é um documento vivo e deve sempre ser atualizado sempre que o produto é modificado, um novo modo de falha é identificado, ou um projeto a prova de falhas é implementado, todas as informações incluídas no FMEA devem conter detalhes suficientes para que as partes envolvidas sejam capazes de executar ações específicas e de vinculá-las com a parte responsável na cadeia de suprimentos, deve ser especificado um valor quantificável (que possa ser medido) para uma função, para que as partes envolvidas da cadeia de suprimentos possam ter um entendimento claro e uma interpretação comum da função, as especificações de engenharia devem estar presentes detalhadamente no FMEA, as quais incluem requisitos funcionais, de confiabilidade, de segurança e de durabilidade do sistema, subsistema e componentes, o relatório do FMEA deve ser parte do pacote de engenharia (desenhos, especificações de testes, etc.) que é compartilhado com toda cadeia de suprimentos, os colaboradores envolvidos com o projeto e manufatura do produto devem discutir, revisar e atualizar os relatórios do FMEA, em diferentes momentos do processo de desenvolvimento do produto, estabelecer um processo que garanta a inclusão de entradas dos fornecedores e clientes para o desenvolvimento do DFMEA, deve ser estabelecida uma ligação entre DFMEA e PFMEA, usar o DMEA para gerar o plano de teste e verificação de projeto,

		usar o DFMEA para gerar o plano de controle do processo e garantir que os colaboradores entendam com utilizar o FMEA em seu trabalho
[91]	Método para geração do FMEA no projeto conceitual	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas, reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises e usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[93]	Método FMAG (<i>for FMEA generation</i>)	Usar dados de falhas em testes e em campo nas análises de falhas, reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises e usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[96]	Método FMEA invertido	Sem diretrizes específicas
[97]	Método que integra FMEA e FTA no processo de especificação de requisitos	Integrar os métodos FMEA e FTA
[98]	FMEA usado na avaliação de custos de garantia	Calcular o custo que as falhas poderiam incorrer
[99]	Método <i>cost-oriented</i> FMEA	Sem diretrizes específicas
[100]	Avaliação de risco no FMEA usando média geométrica ponderada fuzzy	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[102]	Método para a aplicação do FMEA baseado na lógica <i>Fuzzy</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[104]	Método FMEA baseado na teoria <i>Fuzzy</i>	Priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>
[105]	Método que combina o conceito de <i>green design</i> com os métodos FMEA e TRIZ	Integrar os métodos FMEA e TRIZ

Por fim, a Tabela 9 apresenta as práticas que empregam a classe sistemas, e as suas diretrizes, sendo que esta classe apresentou um total de 25 práticas.

Tabela 9 - Práticas e Diretrizes da classe sistemas

ID	Prática	Diretrizes
[7]	Sistema baseado no processo de racionalização causal para automatizar a análise do FMEA	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e automatizar a aplicação do FMEA usando processo de racionalização causal (causal reasoning process)
[14]	Sistema de confiabilidade e análise de modos de falhas que adota a lógica <i>fuzzy</i> , baseado no procedimento do FMEA	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica <i>Fuzzy</i>

[21]	Sistema chamado <i>Enhanced</i> FMEA (E-FMEA)	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e integrar o FMEA com as rotinas de testes de CAD/CAM
[23]	Sistema FMEA baseado em conhecimento que usa a lógica <i>fuzzy</i>	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria utilizando a Lógica Fuzzy
[29]	Sistema para automatizar o FMEA de componentes que sofrem mudanças incrementais	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[38]	Sistema para gerar automaticamente árvores de falhas (FTA) e tabelas de FMEA que usa a modelagem <i>Multi-level Flow Modeling</i> (MFM)	Identificar falhas originadas pela mesma causa
[43]	Sistema de manutenção virtual para apoiar o FMEA	Usar modelos virtuais para apoiar a análise do FMEA
[46]	Sistema web de apoio à elaboração do FMEA	Sem diretrizes específicas
[47]	Sistema web de apoio à elaboração do FMEA	Sem diretrizes específicas
[54]	Projeto de uma base de dados relacional para armazenar informações do FMEA e automatizar o processo de aquisição informações	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[56]	Sistema para auxiliar a aplicação do FMEA	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[58]	Software de simulação numérica de modos de falhas	Reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises e usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[59]	Sistema FMEA <i>Streamlining</i>	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[60]	Sistema para automatizar todo o ciclo de desenvolvimento de sistemas de circuitos elétricos/eletrônicos	Sem diretrizes específicas
[62]	Software para automatizar o FMEA	Reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises
[63]	Software FMES (<i>Failure Modes and Effects Simulation</i>)	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[69]	Sistema para aplicar o FMEA de maneira incremental	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA e usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[70]	Sistema para automatizar a análise de segurança de projetos elétricos	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA, usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas e integrar o FMEA com as rotinas de testes de CAD/CAM

[71]	Sistema que combina racionalização funcional e estrutural para a análise da segurança de projetos elétricos	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA, usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas e
[72]	Sistema para automatizar o FMEA para análise de falhas múltiplas	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA, usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas e identificar falhas originadas pela mesma causa
[73]	Sistema AutoSteve para análise de falhas múltiplas	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA, usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas e identificar falhas originadas pela mesma causa
[74]	Software para automatizar a aplicação do FMEA em circuitos elétricos chamado FLAME	Usar um software para apoiar a aplicação do FMEA, usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[94]	Sistema para o FMEA incremental automatizado	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas
[101]	Sistema baseado em conhecimento para a análise de modos de falha e efeitos	Reaproveitar conhecimentos gerados em análise de falhas passadas para utilizá-los em novas análises, usar taxonomia padrão e usar um software para apoiar a aplicação do FMEA
[106]	Software de racionalização baseada em modelo	Usar um software para modelar e simular o sistema para capturar modos de falhas, efeitos e causas

A descrição das práticas classificadas como abordagem, ferramentas, frameworks, métodos ou sistemas é apresentada no **Apêndice G**, sendo por ele apresentado o ID de cada artigo, a classe e a descrição de cada prática. A seguir, serão apresentados os problemas identificados do FMEA pela RBS.

4.3.4. Problemas do FMEA identificados

Os 361 problemas levantados na RBS foram sumarizados em 37 problemas. Então esses 37 problemas foram ranqueados por ordem de frequência de aparecimento, organizados em classes e receberam um identificador (ID), sendo que estas classes serão apresentadas mais adiante, após a Tabela 10, que lista os 37 problemas ordenados em ordem decrescente de frequência de aparecimento.

Tabela 10 - Lista dos problemas ordenados pela frequência de aparecimento nos estudos selecionados da revisão sistemática

ID	Classe do problema	Problema	Frequência (%)
1.1	RPN	Os valores dos RPNs não são precisos	34,91
4.1	Comportamental	A realização de um FMEA completo e rigoroso demanda grande quantidade de tempo e recursos	31,13
3.1	Integração PDP	A aplicação do FMEA não é integrada com outros métodos e atividades do PDP	24,53
2.1	Temporal	Realizado tarde no PDP	21,7
1.2	RPN	Os índices são utilizados como se todos tivessem a mesma importância	20,75
1.3	RPN	Um mesmo valor de RPN pode representar situações caracterizadas por diferentes níveis de risco	19,81
6.1	Operacional	É considerado tedioso pelos praticantes	16,04
1.4	RPN	Critérios qualitativos são usados como quantitativos	15,09
5.1	Gestão de conhecimentos	Falta de reuso de informações sobre falhas (FMEAs passados e falhas em campo)	14,15
6.2	Operacional	É considerado laborioso pelos membros do time	12,26
6.3	Operacional	Falhas múltiplas não são consideradas	11,32
4.2	Comportamental	Dependente da experiência dos membros do time	10,38
4.3	Comportamental	Dificuldade em definir ações de melhoria adequadas, considerando a viabilidade (restrições), a chance de sucesso (redução do RPN), e os impactos desfavoráveis (nas pessoas, produto, processo, ambiente)	9,43
1.5	RPN	Dificuldade em estimar os valores para os índices	8,49
5.2	Gestão de conhecimentos	Falta de uma taxonomia padrão	8,49
6.4	Operacional	Os custos das ações de melhoria não são estimados	7,55
6.5	Operacional	Os custos de falhas que chegariam aos clientes não são estimados	7,55
1.6	RPN	Presença de lacunas na escala de 1 a 1000 do RPN (números primos)	6,6
2.2	Temporal	Dificuldade de se obter dados relevantes sobre o projeto do produto/processo	6,6
6.6	Operacional	O formulário do FMEA não representa todos os dados relevantes da análise	6,6
1.7	RPN	Os índices numéricos não são expressivos (não expressam a realidade)	5,66
4.4	Comportamental	Realizado somente por questões contratuais	5,66
1.8	RPN	Pequenas mudanças nos valores dos índices levam a grandes alterações do RPN	3,77
2.3	Temporal	Aplicado somente após o protótipo ser construído e testado	3,77
4.5	Comportamental	FMEA utilizado para checagem e não para se propor melhorias	3,77
4.6	Comportamental	Conflito entre os membros do time na atribuição de valores para os índices	3,77
6.7	Operacional	Os níveis de complexidade do item de análise não são considerados	3,77
4.7	Comportamental	Dificuldade de reunir o time multidisciplinar, fornecedores, e consumidores nas sessões do FMEA	2,83
6.8	Operacional	Repetitivo, já que deve estar sempre atualizado	2,83
7.2	Outros	Não levados em conta aspectos ambientais na proposição de melhorias	2,83

1.9	RPN	RPN não considera o tamanho do lote para atribuir a probabilidade de ocorrência da causa da falha	1,89
4.8	Comportamental	Falta de entendimento da importância do FMEA	1,89
1.10	RPN	O índice de Severidade é definido pelo projetista e não pelo consumidor	0,94
6.10	Operacional	Falta de agrupamento de modos de falhas (mecânica, elétrica, etc.)	0,94
6.9	Operacional	Não existem critérios para selecionar itens que serão analisados pelo FMEA	0,94
7.1	Outros	Não considera (previne) falhas originadas em diferentes departamentos da organização	0,94
7.3	Outros	Dificuldades em se definir os modos de falhas de sistemas críticos de segurança em tempo real (marca-passos, <i>airbags</i> , etc.)	0,94

No texto a seguir os problemas são apresentados nos grupos em que foram organizados. Dez problemas foram agrupados na classe RPN, que considera o cálculo e conceitos que envolvem o RPN e os índices Severidade, Ocorrência e Detecção. Entre os problemas desta classe, a literatura cita com maior frequência que *os valores dos RPNs não são precisos*. Os dez problemas dessa classe, e a quantidade de publicações que eles foram citados das 106 publicações selecionadas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Problemas relacionados ao RPN

ID	1. Problemas relacionados ao RPN	Quantidade de citações	Autores
1.1	Os valores dos RPNs não são precisos.	37	[8]; [10]; [12]; [14]; [16]; [17]; [18]; [19]; [23]; [27]; [28]; [33]; [15]; [40]; [41]; [48]; [13]; [49]; [51]; [24]; [20]; [61]; [68]; [75]; [76]; [78]; [79]; [81]; [84]; [85]; [83]; [88]; [90]; [99]; [103]; [104]; [106].
1.2	Os índices são utilizados como se todos tivessem a mesma importância.	22	[8]; [16]; [17]; [33]; [15]; [44]; [48]; [24]; [61]; [68]; [75]; [78]; [81]; [82]; [84]; [85]; [83]; [88]; [99]; [103]; [104]; [106]
1.3	Um mesmo valor de RPN pode representar situações caracterizadas por diferentes níveis de risco.	21	[12]; [16]; [17]; [19]; [33]; [48]; [24]; [68]; [69]; [78]; [79]; [81]; [82]; [84]; [85]; [83]; [88]; [99]; [103]; [104]; [106]
1.4	Crítérios qualitativos são usados como quantitativos.	16	[14]; [16]; [17]; [19]; [28]; [33]; [15]; [48]; [13]; [51]; [55]; [20]; [76]; [89]; [102]; [104]
1.5	Dificuldade em estimar os valores para os índices.	9	[14]; [39]; [48]; [49]; [24]; [79]; [89]; [90]; [106]
1.6	Presença de lacunas na escala de 1 a 1000 do RPN (números primos).	7	[12]; [33]; [15]; [41]; [78]; [81]; [106].
1.7	Os índices numéricos não são expressivos (não expressam a realidade).	6	[19]; [13]; [68]; [78]; [82]; [64].
1.8	Pequenas mudanças nos valores dos índices levam a grandes alterações do RPN.	4	[12]; [14]; [103]; [106].

1.9	RPN não considera o tamanho do lote para atribuir a probabilidade de ocorrência da causa da falha.	2	[8]; [16].
1.10	O índice de Severidade é definido pelo projetista e não pelo consumidor.	1	[82].

A classe de problemas Temporais (Tabela 12) é composta de três pelos problemas associados ao momento de aplicação do FMEA no ciclo do PDP. Dentro desta classe foram agrupados três problemas, sendo que o mais citado foi *o FMEA é realizado tarde no PDP*.

Tabela 12 - Classe de problemas Temporais

ID	2. Problemas Temporais	Quantidade de citações	Autores
2.1	Realizado tarde no PDP.	23	[3]; [7]; [70]; [18]; [22]; [23]; [42]; [13]; [20]; [60]; [61]; [66]; [72]; [69]; [74]; [77]; [79]; [80]; [87]; [93]; [91]; [94]; [92].
2.2	Dificuldade de se obter dados relevantes sobre o projeto do produto/processo.	7	[65]; [18]; [26]; [86]; [87]; [90]; [101].
2.3	Aplicado somente após o protótipo ser construído e testado.	4	[61]; [74]; [92]; [93].

Na classe de problemas Integração com o PDP foi identificado apenas um tipo de problema (Tabela 13).

Tabela 13 - Classe de problemas Integração com o PDP

ID	3. Problemas de integração com o PDP	Quantidade de citações	Autores
3.1	A aplicação do FMEA não é integrada com outros métodos e atividades do PDP.	26	[45]; [2]; [4]; [5]; [6]; [11]; [21]; [26]; [53]; [31]; [32]; [35]; [38]; [41]; [42]; [44]; [52]; [55]; [20]; [66]; [67]; [75]; [97]; [36]; [101]; [105].

A classe denominada Problemas comportamentais (Tabela 14) é composta de tipos de problemas associados aos comportamentos e atitudes dos colaboradores e das equipes envolvidas na aplicação do FMEA. Nesta classe foram agrupados oito tipos de problemas, sendo mais citado que *os indivíduos reclamam que a realização de um FMEA completo e rigoroso demanda grande quantidade de tempo e recursos*.

Tabela 14 - Problemas Comportamentais

ID	4. Problemas Comportamentais	Quantidade de citações	Autores
4.1	Queixas que a realização de um FMEA completo e rigoroso demanda grande quantidade de tempo e recursos.	33	[7]; [9]; [11]; [70]; [18]; [21]; [29]; [43]; [31]; [15]; [46]; [48]; [49]; [56]; [59]; [60]; [58]; [61]; [63]; [71]; [69]; [74]; [77]; [80]; [89]; [88]; [92]; [93]; [94]; [95]; [96]; [101]; [105].
4.2	Dependente da experiência dos membros do time.	11	[18]; [23]; [38]; [48]; [71]; [87]; [95]; [96]; [102]; [104]; [105].
4.3	Dificuldade em definir ações de melhoria adequadas, considerando a viabilidade (restrições), a chance de sucesso (redução do RPN), e os impactos desfavoráveis (nas pessoas, produto, processo, ambiente).	10	[2]; [10]; [19]; [30]; [70]; [77]; [79]; [80]; [87]; [96].
4.4	Realizado somente por questões contratuais.	6	[49]; [52]; [90]; [91]; [92]; [93].
4.5	FMEA utilizado para checagem e não para se propor melhorias.	4	[1]; [18]; [80]; [91].
4.6	Conflito entre os membros do time na atribuição de valores para os índices.	4	[14]; [48]; [13]; [106].
4.7	Dificuldade de reunir o time multidisciplinar, fornecedores, e consumidores nas sessões do FMEA.	3	[46]; [47]; [90].
4.8	Falta de entendimento da importância do FMEA.	2	[49]; [91].

A quinta classe, apresentada na Tabela 15, agrupa problemas de gestão de conhecimentos de falhas e de ações de melhoria. Foram identificados dois tipos de problemas para essa classe.

Tabela 15 - Classe de problemas de gestão de conhecimentos

ID	Problemas de Gestão de Conhecimentos	Quantidade de citações	Autores
5.1	Falta de reuso de informações sobre falhas (FMEAs passados e falhas em campo).	15	[3]; [7]; [27]; [49]; [54]; [55]; [57]; [61]; [63]; [71]; [87]; [93]; [91]; [99]; [101].
5.2	Falta de uma taxonomia padrão.	9	[3]; [65]; [51]; [55]; [57]; [87]; [93]; [91]; [101].

Foram agrupados dez problemas na classe Operacional, que se refere a atividades (operações) que devem ser realizadas na condução do FMEA. O problema mais citado desta classe foi que o FMEA é considerado tedioso pelos praticantes. A lista dos dez problemas dessa classe é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16 - Classe de problemas Operacionais

ID	Problemas Operacionais	Quantidade de citações	Autores
6.1	É considerado tedioso pelos praticantes.	17	[65]; [18]; [29]; [49]; [52]; [56]; [60]; [61]; [62]; [71]; [74]; [87]; [89]; [88]; [92]; [93]; [94].
6.2	É considerado laborioso pelos membros do time.	13	[65]; [29]; [39]; [49]; [50]; [56]; [61]; [62]; [63]; [87]; [94]; [101]; [106].
6.3	Falhas múltiplas não são consideradas.	12	[11]; [29]; [49]; [61]; [34]; [67]; [72]; [73]; [81]; [82]; [95]; [99].
6.4	Os custos das ações de melhoria não são estimados	8	[8]; [12]; [14]; [15]; [41]; [51]; [98]; [99].
6.5	Os custos de falhas que chegariam aos clientes não são estimados.	8	[8]; [14]; [28]; [51]; [76]; [98]; [99]; [106].
6.6	O formulário do FMEA não representa todos os dados relevantes da análise.	7	[3]; [31]; [49]; [55]; [57]; [36]; [103].
6.7	Os níveis de complexidade do item de análise não são considerados.	4	[9]; [65]; [50]; [52].
6.8	Repetitivo, já que deve estar sempre atualizado.	3	[70]; [31]; [71].
6.9	Não existem critérios para selecionar itens que serão analisados pelo FMEA.	1	[36].
6.10	Falta de agrupamento de modos de falhas (mecânica, elétrica, etc.).	1	[37].

Os problemas que não se encaixaram em nenhuma classe anterior foram agrupados na classe Outros problemas (Tabela 17).

Tabela 17 - Classe Outros problemas

ID	Outros problemas	Quantidade de citações	Autores
7.1	Não considera (previne) falhas originadas em diferentes departamentos da organização	1	[27].
7.2	Não levados em conta aspectos ambientais na proposição de melhorias	3	[45]; [44]; [105].
7.3	Dificuldades em se definir os modos de falhas de sistemas críticos de segurança em tempo real (marca-passos, airbags, etc.)	1	[25].

Com o intuito de relacionar os 37 problemas encontrados e definir os problemas que são causas raiz, foi construída uma árvore de causa e efeito.

Durante a construção da árvore ocorreram iterações com especialistas. Os especialistas, Prof. Dr. Henrique Rozenfeld e o Mestre Rafael Laurenti, opinaram sobre a existência dos relacionamentos entre os problemas, e, a partir de suas opiniões, alguns problemas foram eliminados, outros foram inseridos, e ainda outros foram considerados como fatos. Os problemas eliminados são mostrados na Tabela 18, os inseridos são os que estão com cor laranja e os fatos são as elipses.

Os problemas inseridos pelos especialistas são problemas mais gerais, isto é, mais abrangentes, e não foram apresentados em nenhum dos artigos provenientes da RBS, que, em geral, apresentaram problemas mais específicos da aplicação do FMEA.

Tabela 18 - Problemas eliminados da rede de causa-efeito

ID	Problemas eliminados
1.9	O tamanho do lote não é considerado na determinação da probabilidade de ocorrência da causa da falha
7.3	Dificuldades em se definir modos de falhas de sistemas críticos de segurança em tempo real
7.1	Não considera (previne) falhas originadas em diferentes departamentos da organização
1.6	Presenças de lacunas na escala de 1 a 1000 do RPN (números primos)
1.8	Pequenas mudanças nos valores dos índices levam a grandes alterações do RPN
6.10	Falta de agrupamento de modos de falhas (mecânica, elétrica, etc.)
1.4	Critérios qualitativos são usados como quantitativos

A árvore de causa-efeito é apresentada na página seguinte pela Figura 13. As cores simbolizam as classes que os problemas pertencem.

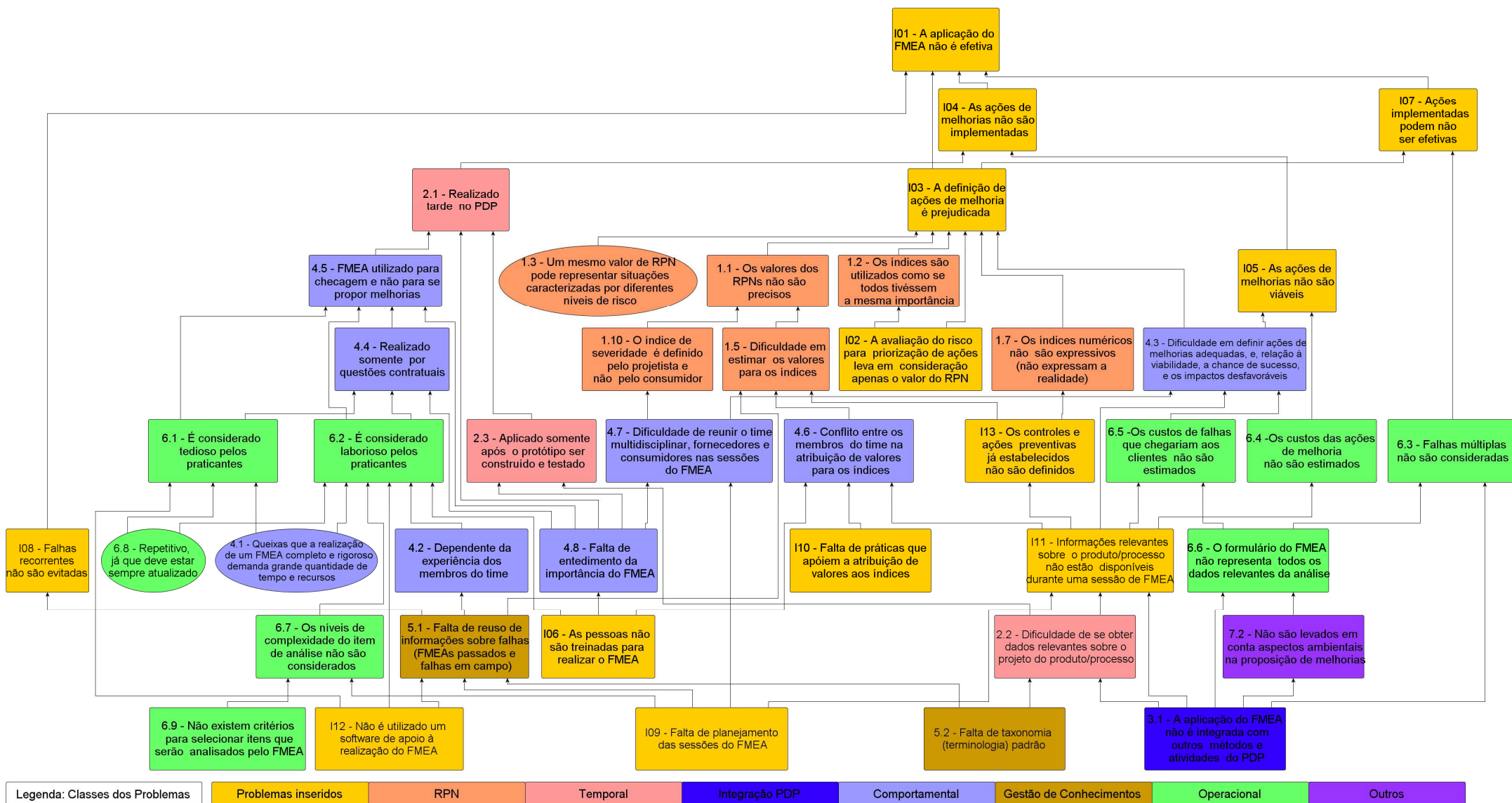


Figura 13 - Árvore de causa e efeito dos problemas e deficiências do FMEA

A separação dos problemas em classes, assim como, a construção da árvore de causa e efeito, proporciona o alcance de mais um objetivo específico deste trabalho, que é a sistematização, ou seja, a organização dos problemas apresentados pelo FMEA.

5. MAPA NAVEGÁVEL

Sendo um dos objetivos específicos deste Trabalho de Conclusão de Curso, um mapa navegável foi proposto e inserido no site do portal de conhecimentos, que é um site que foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa Engenharia Integrada e Engenharia de Integração, parte do Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), podendo ser acessado livremente por meio do link www.portaldeconhecimentos.org.br.

O mapa navegável é formado pela árvore de causa-efeito dos problemas do FMEA, apresentada na seção 4.3.4. pela Figura 13, além de apresentar a frequência de aparecimento dos problemas nos artigos provenientes da RBS, como pode ser observado na mesma seção 4.3.4. pela Tabela 10. Dessa maneira, o usuário do mapa navegável pode escolher em observar tanto os problemas que mais são freqüentes, como os problemas considerados raiz pela árvore de causa-efeito durante a aplicação do FMEA.

O *printscreen* da página do portal do conhecimento que apresenta o mapa navegável é apresentado pela Figura 14, sendo acessado por meio do endereço eletrônico www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/11436.



Figura 14 - Printscreen da página da web que apresenta o mapa navegável

A Figura 15 apresenta o *printscreen* do trecho do mapa navegável, onde é apresentada a árvore de causa-efeito. Vale ressaltar que ao clicar sobre a árvore que se encontra no mapa navegável, ela se expande facilitando a visualização de cada problema, assim como suas relações de causalidade com os outros problemas do FMEA.



Figura 15 - Printscreen da árvore de causa e efeito apresentada no portal de conhecimentos

Com relação às práticas e às diretrizes para melhorar a aplicação do FMEA, foram separadas de acordo com sua classificação, como apresentado na seção 4.3.3. e dispostas em tópicos. Como pode ser observado abaixo pela Figura 16, que apresenta o *printscreen* de uma parte das 161 práticas (2 abordagens, 1 ferramenta, 7 frameworks, 71 métodos, 25 sistemas e 55 diretrizes) que estão expostos no mapa navegável.

Melhorias propostas para o FMEA

A RBS proporcionou a extração subjetiva de 161 práticas por meio da análise dos 106 artigos selecionados, sendo que tais práticas foram classificadas em abordagens, ferramentas, frameworks, métodos, sistemas ou diretrizes. Ressaltando que, estas práticas têm como intuito melhorar a aplicação do FMEA, e assim, proporcionar um PDP mais isento de falhas.

Cada prática apresentada abaixo possui um link. Este link leva à uma página da web que disponibiliza além de sua descrição, um ícone que possibilita fazer o download do artigo proveniente da RBS, e que apresenta a prática de maneira completa, proporcionando, assim, um conhecimento mais aprofundado sobre cada prática.

Para contribuir com o mapa navegável, uma planilha do excel foi anexada a este artigo, sendo apresentada por ela, o nome do artigo proveniente da RBS, a prática introduzida pelo artigo, o tipo de prática adotada (abordagens, ferramentas, frameworks, métodos ou sistemas) e as diretrizes alcançadas pela prática.

Em seguida, são apresentadas as práticas de acordo com sua classificação.

Abordagens

- [Abordagem chamada ROMDA \(Reliability Optimization Method through Degradation Analysis\) que adota o FMEA para prever a confiabilidade de um produto](#)
- [Abordagem chamada FuRBaR \(Fuzzy Rule-Based Bayesian Reasoning\) para priorizar falhas no FMEA](#)

Ferramentas

- [Ferramenta \(planilha excel\) de apoio a tomada de decisão baseada no QFD e no FMEA, que considera pessoas, tecnologia e organização](#)

Frameworks

- [Framework para capturar e analisar modos de falha devido a interações entre sistemas/componentes](#)
- [Framework para racionalização falhas em sistema em múltiplos níveis de abstração](#)
- [Framework que modela o comportamento de um sistema para análise de risco e confiabilidade](#)
- [Framework que usa fuzzy methodology \(FM\) para prever o comportamento de sistema](#)
- [Framework para prever e atualizar o índice de ocorrência baseado na lógica Fuzzy](#)
- [Framework para reusar conhecimentos do FMEA por meio de modelagem de conhecimentos](#)

Figura 16 - Printscreen das práticas apresentadas no portal de conhecimentos

Cada prática apresentada no mapa navegável contém um link para a descrição da prática e para um ícone, que apresenta o nome do artigo que apresentou a prática, e que ao ser clicado proporciona ao usuário o download do PDF completo do artigo

proveniente da RBS, como ilustrado pela Figura 17. Vale ressaltar que as diretrizes, apesar de serem práticas não possuem link, pois elas são alcançadas por meio das outras práticas.

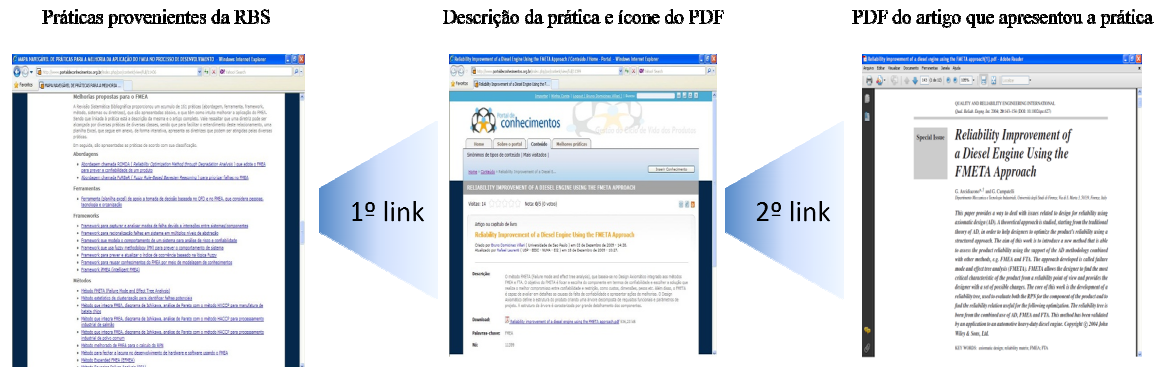


Figura 17 - Ilustração do link da prática para sua descrição e artigo que a apresentou durante a RBS

Pela figura acima, percebe-se que o usuário ao clicar no 1º link inserido na prática que lhe interessa, faz com que uma nova página da web se abra com a descrição da respectiva prática e com o ícone para o download do PDF completo do artigo que apresentou a prática, e que caso lhe interesse, pode clicar neste ícone, que trata-se do 2º link, chegando, então, ao artigo completo, onde as informações sobre determinada prática podem ser obtidas com maiores detalhes.

Em seguida é apresentada a conclusão deste trabalho de conclusão de curso.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal a sistematização e organização dos problemas apresentado pelo FMEA durante sua aplicação no PDP e pelas propostas de melhorias apresentadas na literatura. No entanto, para se chegar a este objetivo, ele foi desdobrado em três objetivos específicos.

O primeiro objetivo específico tratou-se da identificação do estado-da-arte do FMEA, que foi alcançado por meio de uma revisão de literatura, que possibilitou um amplo conhecimento sobre o FMEA e como ele é aplicado no PDP, fornecendo o entendimento necessário da importância do método, de suas necessidades e eficiências.

Além disso, complementando este objetivo específico, dois softwares para aplicação do FMEA foram analisados, sendo eles o Xfmea e o IQ-FMEA, sendo conseguidas licenças educacionais para facilitar suas análises, assim, além de pesquisa documental no material de marketing e nos manuais de aplicação dos dois sistemas, eles puderam ser manipulados e analisados. Após a análise ser concluída, percebeu-se que ambos os softwares devido à grande quantidade de funcionalidades que apresentam, de maneira geral, podem proporcionar um excelente meio para combater algumas deficiências do FMEA, pois eles tornam a aplicação do FMEA mais rápida, pois geram gráficos e relatórios automaticamente, integram outras ferramentas, além de facilitar a reutilização das informações de aplicações do FMEA de projetos anteriores devido ao seu banco de dados.

O segundo objetivo específico trata-se da identificação do maior número possível de problemas e propostas de melhorias do FMEA apresentados na literatura. Sendo que para alcançar mais este objetivo desta pesquisa, uma Revisão Bibliográfica Sistemática foi executada.

Para a execução da RBS um protocolo foi seguido, este protocolo nada mais é do que um procedimento metodológico e foi dividido em três macrofases (Planejamento da revisão, Execução de buscas e Análises das informações extraídas).

Seguindo o procedimento metodológico da RBS, foram identificadas as bases de dados e os strings de pesquisa por meio da determinação inicial dos objetivos e do foco do estudo. Posteriormente, foi realizado o levantamento de estudos nas bases de dados, que somaram um total de 2602 referências, e, de acordo com critérios de exclusão e inclusão estabelecidos, foram selecionados os que eram pertinentes, sobrando um total de 106 referências para serem analisadas.

As 106 pesquisas selecionadas foram cadastradas tanto em uma planilha Excel, quanto em gerenciador de referências bibliográficas chamado JabRef. Sendo que tais cadastros possibilitaram a realização de uma análise quanto à distribuição do ano e local de publicação, quanto à base de dados e quanto à fonte de publicação dos estudos selecionados. Da análise realizada pode-se afirmar que quantidade de publicações que apresentam melhorias para o FMEA tem aumentando com o passar dos anos (vide Figura 11), demonstrando a importância que vêm sendo dada a este tema. Além disso, pode-se perceber que tais trabalhos científicos eram provenientes de renomadas fontes de publicações tais como *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, *International Journal of Quality and Reliability Management*, entre outros, dando assim, maior confiabilidade a esta pesquisa.

Quanto aos problemas do FMEA durante sua aplicação, foram levantados, durante a análise dos trabalhos científicos, um total de 361 problemas, os quais foram sumarizados em 37 problemas e posteriormente ranqueados por ordem de frequência de aparecimento, de maneira a deixar explícito os problemas mais comuns durante a aplicação do FMEA. Sendo que os três problemas com maior relevância, segundo a RBS, são “Os valores dos RPNs não são precisos”, “A realização de um FMEA completo e rigoroso demanda grande quantidade de tempo e recursos” e “A aplicação do FMEA não é integrada com outros métodos e atividades do PDP”.

Em seguida, com o intuito de relacionar os 37 problemas encontrados entre si e definir os problemas que são causas raiz, foi construída uma árvore de causa e efeito. Durante a construção da árvore ocorreram iterações com especialistas, que opinaram sobre a existência dos relacionamentos entre os problemas, e, a partir de suas opiniões, alguns problemas foram eliminados, outros foram inseridos, e ainda outros foram considerados como fatos.

A RBS proporcionou a extração subjetiva de 161 práticas por meio da análise dos 106 artigos selecionados, sendo que tais práticas foram classificadas em abordagens, ferramentas, frameworks, métodos, sistemas ou diretrizes. Ressaltando que, estas práticas têm como intuito melhorar a aplicação do FMEA, e assim, proporcionar um PDP mais isento de falhas. Dessa forma, as práticas foram separadas resultando em 2 abordagens, 1 ferramenta, 7 frameworks, 71 métodos, 25 sistemas e 55 diretrizes, e foram descritas com o intuito de facilitar o seu entendimento.

O terceiro objetivo específico trata-se da estruturação dos problemas e melhorias em um mapa navegável, que se encontra no Portal de Conhecimentos e possui o

seguinte link, www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/11436. Para a organização do mapa navegável foram utilizados os problemas e as práticas selecionadas durante a RBS.

Os problemas foram apresentados de duas maneiras diferentes, a primeira em uma tabela em ordem de frequência de aparecimento nos trabalhos provenientes da RBS, a segunda, em uma árvore de causa-efeito, assim, o usuário do mapa navegável pode escolher para combater os problemas que mais são frequentes ou utilizar a árvore de causa-efeito.

Quanto às práticas para proporcionar melhoria à aplicação do FMEA foram apresentadas o tipo de metodologia que sua aplicação utiliza, as descrições e o artigo completo que apresentou a prática, assim, quando o usuário definir o tipo de problema, pode, por meio do mapa navegável, definir a prática que melhor se adéqua para combater tal problema.

Finalizando-se os três objetivos específicos, citados acima, então, o objetivo central deste trabalho científico é alcançado. Assim, tendo-se todos os problemas e melhorias do FMEA organizados e sistematizados, então, projetistas que se utilizarem deste trabalho em conjunto com o mapa navegável, podem encontrar maneiras de superar suas dificuldades durante a aplicação do FMEA durante o PDP, podendo proporcionar um projeto mais isento de falhas e, consequentemente, um PDP mais eficiente e com um nível de qualidade dos produtos mais alto. No entanto, vale ressaltar que, a utilização do mapa navegável não garante que o problema será solucionado, porém devido ao grande número de acessos que o mapa já recebeu (mais de 5.500 acessos) no Portal de Conhecimentos, pode ser um indicativo de sua funcionalidade.

6.1. Trabalhos Futuros

Após a RBS, os problemas foram sistematizados entre si, assim como, as melhorias foram sistematizadas, também, entre si. Não existindo nenhum relacionando pré-definido entre problema e prática.

Sabendo-se que o relacionamento entre ambos traria maior agilidade e praticidade para o mapa navegável, então, há uma lacuna a ser preenchida. Portanto, como trabalhos futuros, há perguntas a serem respondidas, entre elas, “qual prática e/ou melhoria combate qual problema do FMEA?”. À partir da resposta à essa pergunta, então, o mapa navegável pode ser complementado, tornando-o uma ferramenta mais ágil na busca de um FMEA mais eficiente e eficaz durante o PDP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIAG.Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - Reference Manual, Fourth Edition 2008.

AJAYI, M.; SMART, P. Innovation and learning: exploring feedback from service to design. **Journal of Engineering Manufacture**, v.222 Part B, p.1195-1199. 2008.

BARBER, B.M.; DARROUGH, M.N. Product Reliability and Firm Value: The Experience of American and Japanese Automakers, 1973-1992. **Journal of Political Economy**, v.104, n.5, p.1084-1099. 1996.

BARCZAK, G.; GRIFFIN, A.; KAHN, K.B. PERSPECTIVE: Trends and Drivers of Success in NPD Practices: Results of the 2003 PDMA Best Practices Study. **Journal of Product Innovation Management**, v.26, n.1, p.3-23. 2009.

BATES, H.; HOLWEG, M.; LEWIS, M.; OLIVER, N. Motor vehicle recalls: Trends, patterns and emerging issues. **Omega**, v.35, n.2, p.202-210. 2007.

BAXTER, M. Practical methods for the systematic development of newproducts.**Product Design**, London: Chapman & Hall 1995. (pp. 290-297).

BELL, D.; COX, L.; JACKSON, S.; SCHAEFER, P. Using causal reasoning for automated failure modes and effects analysis (FMEA). In: Reliability and Maintainability Symposium, 1992, Las Vegas, NV, USA. **Anais**.Las Vegas, NV, USA:IEEE Xplore, 21-23 Jan. 1992, 1992, p.343-353.

BERTSCHE, B. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability**. Berlin: Springer. 2008.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic Review in Software Engineering**. Rio de Janeiro, 2005.

BOOKER, J.D.; RAINES, M.; SWIFT, K.G. **Designing Capable and Reliable Products**: Elsevier. 2001.

BOWLES, J. B. An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis.ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2003.

BRAUN, P.; PHILIPPS, J.; SCHÄTZ, B.; WAGNER, S. Model-Based Safety-Cases for Software-Intensive Systems. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science**, v.238, n.4, p.71-77. 2009.

CHAO, L.P.; ISHII, K. Design Process Error Proofing: Failure Modes and Effects Analysis of the Design Process. **Journal of Mechanical Design**, v.129, n.5, p.491 - 551. 2007.

CHIOZZA, M.L.; PONZETTI, C. FMEA: A model for reducing medical errors. **Clinica Chimica Acta**, v.404, n.1, p.75-78. 2009.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR CORPORATION, GENERAL MOTORS CORPORATION. (1995). Potential Failure Mode and Effects Analysis-Reference Manual.p. 61.

CLARKE, C. **Automotive Production Systems and Standardisation: From Ford to the Case of Mercedes-Benz**: Physica-Verlag Heidelberg. 2005.

CLARKSON, P.J.; SIMONS, C.; ECKERT, C. Predicting Change Propagation in Complex Design.**Journal of Mechanical Design**, v.126, n.5, p.788-797. 2004.

DAVIDSON, W.N., III; WORRELL, D.L. Research Notes and Communications: The Effect of Product Recall Announcements on Shareholder Wealth. **Strategic Management Journal**, v.13, n.6, p.467-473. 1992.

DUWE, B.; FUCHS, B.D.; HANSEN-FLASCHEN, J. Failure mode and effects analysis application to critical care medicine.**Critical Care Clinics**, v.21, n.1, p.21-30. 2005.

ECKERT, C.; CLARKSON, P.J.; ZANKER, W. Change and customisation in complex engineering domains.**Research in Engineering Design**, v.15, n.1, p.1-21. 2004.

FORD, E.C.; GAUDETTE, R.; MYERS, L.; VANDERVER, B.; ENGINEER, L.; ZELLARS, R.; SONG, D.Y.; WONG, J.; DEWEESE, T.L. Evaluation of Safety in a Radiation Oncology Setting Using Failure Mode and Effects Analysis. **International Journal of Radiation Oncology*Biography*Physics**, v.74, n.3, p.852-858. 2009.

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.

GERST, M.; ECKERT, C.; CLARKSON, P.J.; LINDEMANN, U. Innovation in the Tension of Change and Reuse. In: International Conference on Engineering Design, ICED 01, 2001, Glasgow, UK. Anais.Glasgow, UK: Professional Engineering Publishing, 2001, p.371-378.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GÖNCZY, L.; MAJZIK, I.; HORVÁTH, A.; VARRÓ, D.; BALOGH, A.; MICSKEI, Z.; PATARICZA, A. Tool Support for Engineering Certifiable Software. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science**, v.238, n.4, p.79-85. 2009.

GRANTHAM LOUGH, K.A.; STONE, R.B.; TUMER, I.Y. Failure Prevention in Design Through Effective Catalogue Utilization of Historical Failure Events. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v.8(5), p.469-481 2008.

GUIMARÃES, A.C.F.; LAPA, C.M.F. Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system. **Progress in Nuclear Energy**, v.44, n.3, p.191-213. 2004.

HAUNSCHILD, P.R.; RHEE, M. The Role of Volition in Organizational Learning: The Case of Automotive Product Recalls. **Management Science**, v.50, n.11, p.1545-1560. 2004.

HAWKINS, P.G.; WOOLLONS, D.J. Failure modes and effects analysis of complex engineering systems using functional models. **Artificial Intelligence in Engineering**, v.12, p.375-397. 1998.

HUNT, J.E.; PUGH, D.R.; PRICE, C.J. Failure Mode Effects Analysis: A Practical Application of Functional Modeling. **Applied Artificial Intelligence**, v.9, n.1, p.33-44. 1995.

JOHNSON, K.G.; KHAN, M.K. A study into the use of the process failure mode and effects analysis (PFMEA) in the automotive industry in the UK. **Journal of Materials Processing Technology**, v.139, n.1-3, p.348-356. 2003.

JOHNSON, S.K. Combining QFD and FMEA to optimize performance. In: ANNUAL QUALITY CONGRESS PROCEEDINGS, 1998.

KARA-ZAITRI, C. et al. An improved FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991, Orlando, FL. **Anais...** Orlando: IEEE press, 1991. p.248-252.

KMENTA, S.; ISHII, K. Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost. **Journal of Mechanical Design**, v.126, n.6, p.1027-1035. 2004.

KMENTA, S.; ISHII, K.; CHELDELIN, B. Assembly FMEA: A Simplified Method for Identifying Assembly Errors. In: ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2003, Washington. **Anais.** Washington: ASME, November 16-21, 2003, p.

KOH, K.Y.; SEONG, P.H. SMV model-based safety analysis of software requirements. **Reliability Engineering & System Safety**, v.94, n.2, p.320-331. 2009.

KRSICH, M. Can failure modes and effects analysis assure a reliable product?. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2007, Orlando, p.277 - 281.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Fundamentos da metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAUGLAUG, A.S. Technical-market research: Get customers to collaborate in developing products. **Long Range Planning**, v.26, n.2, p.78-82. 1993.

LAURENTI, R.; ROZENFELD, H. An Improved Method of Failure Mode Analysis for Design Changes. In: 19th CIRP Design Conference – Competitive Design. 30-31 March, 2009, Cranfield, UK. **Anais.** Cranfield, UK: Cranfield University, 2009, p.436-442.

LEE, B. Using Bayes belief networks in industrial FMEA modeling and analysis. In: Reliability and Maintainability Symposium, 2001, Philadelphia. **Anais.** Philadelphia: IEEE press, 22-25 Jan. 2001, 2001, p.7-15.

LEVIN, M.; KALAL, T.T. **Improving Product Reliability: Strategies and Implementation.** West Sussex, England: Wiley. 2003.

McDERMOTT, R.E., MIKULAK, R.J.; BEAUREGARD, M.R. The basics of FMEA.: **Quality Resources**, New York, 1996.

MCDERMOTT, R.E.; MIKULAK, R.J.; BEAUREGARD, M.R. **The Basics of FMEA, 2nd Edition**. New York,: Productivity Press. 2009.

MCKINNEY, B.T. FMECA, the right way. In: Reliability and Maintainability Symposium, 1991. 1991, p.253-259.

MILAZZO, M.F.; ANCIONE, G.; LISI, R.; VIANELLO, C.; MASCHIO, G. Risk management of terrorist attacks in the transport of hazardous materials using dynamic goeevents. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v.22, n.5, p.625-633. 2009.

MONTGOMERY, T.A.; MARKO, K.A. Quantitative FMEA automation. In: Reliability and Maintainability Symposium, 1997, Philadelphia, PA, USA. **Anais**. Philadelphia, PA, USA, 1997, p.226-228.

MONTI, S.; JEFFERSON, J.; MERMEL, L.; PARENTEAU, S.; KENYON, S.; CIFELLI, B. Use of failure mode and effect analysis (FMEA) to improve active surveillance for methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) at a university-affiliated medical center. **American Journal of Infection Control**, v.33, n.5, p.e158-e158. 2005.

NEPAL, P.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**, 2008.

OTTO, K.; WOOD, K. Techniques in Reverse Engineering and New Product Development. **Product Design**, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 2001. (pp. 564-571)

PENTTI, H.; ATTE, H. **Failure Mode and Effects Analysis of Software –Based Automation Systems**. VTT Industrial Systems. 2002.

PORTAL DE CONHECIMENTOS. São Carlos: Grupo de Engenharia Integrada e Integração. XFMEA-Software para Análise de FMEA e FMECA. Disponível em: <www.portaldeconhecimentos.org.br>. Acessado em: 22 jan. 2009.

PRICE, C.J.; PUGH, D.R.; WILSON, M.S.; SNOOKE, N. The Flame system: automating electrical failure mode and effects analysis (FMEA). In: Reliability and Maintainability Symposium, 1995. 1995, p.90-95.

PRICE, C.J.; TAYLOR, N.S. Automated multiple failure FMEA. **Reliability Engineering & System Safety**, v.76, n.1, p.1-10. 2002.

PUENTE, J; PINO, R.; PRIORE, P.; DE LA FUENTE, D. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2002.

RELIASOFT CORPORATION. ReliaSoft's Xfmea 4. (2003).

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo.** Editora Atlas. 2006.

RHEE, M.; HAUNSCHILD, P.R. The Liability of Good Reputation: A Study of Product Recalls in the U.S. Automobile Industry. **Organization Science**, v.17, n.1, p.101-117. 2006.

RHEE, S.; ISHII, K. Predicting Cost of Poor Quality and Reliability for Systems Using Failure Modes and Effects Analysis. In: IMECE Design Engineering Technical Conferences, 2004, Anaheim. **Anais.** Anaheim: ASME, November 13-19, 2004, 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.

RIZZOTTO, R.A. **Recall - 4 milhões de carros com defeito de fábrica.** Rio de Janeiro: RDE Empreendimentos Publicitários Ltda. 2003.

ROMANO, L.N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo.** Editora Atlas. 2006.

SCHMITT, R.; KRIPPNER, D.; HENSE, K.; SCHULZ, T. Keine Angst vor Änderungen! Robustes Design für innovative Produkte. **Qualität und Zuverlässigkeit**, v.52, n.03, p.24 - 26. 2007.

SCIPIONI, A.; SACCAROLA, G.; CENTAZZO, A.; ARENA, F. FMEA methodology design, implementation and integration with HACCP system in a food company. **Food Control**, v.13, n.8, p.495-501. 2002.

SCOTT, B.S.; WILCOCK, A.E.; KANETKAR, V. A survey of structured continuous improvement programs in the Canadian food sector. **Food Control**, v.20, n.3, p.209-217. 2009.

SEGISMUNDO, A.; MIGUEL, P.A.C. 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.

SHAHIN, A. Integration of FMEA and the Kano Model: An Exploratory Examination. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.21, n.7, p.731 - 746. 2004.

SILVA, E.L. MENEZES, E.M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** - 4. ed. rev. atual. - Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <<http://www.posarq.ufsc.br/download/metPesq.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 08.

SOBEK, D.K.; WARD, A.C.; LIKER, J.K. Toyota's principles of set-based concurrent engineering. **Sloan Management Review**, v.40, n.2, p.67-83. 1999.

SOUZA, M.C.F. **Análise da utilização da manufatura virtual no processo de desenvolvimento de produtos.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Departamento do Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SPATH, P.L. Using failure mode and effects analysis to improve patient safety.**AORN**, v.78, n.1, p.15-37. 2003.

STAMATIS, D.H. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. **ASQC Quality Press**. 1995.

STONE, R.; TUMER, I.; STOCK, M. Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design.**Research in Engineering Design**, v.16, n.1, p.96-108. 2005.

TEOH, P.; CASE, K. An evaluation of failure modes and effects analysis generation method for conceptual design.**International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 2005.

THIVEL, P.X.; BULTEL, Y.; DELPECH, F. Risk analysis of a biomass combustion process using MOSAR and FMEA methods.**Journal of Hazardous Materials**, v.151, n.1, p.221-231. 2008.

TSAROUHAS, P.H.; ARVANITTOYANNIS, I.S.; AMPATZIS, Z.D. A case study of investigating reliability and maintainability in a Greek juice bottling medium size enterprise (MSE).**Journal of Food Engineering**, v.95, n.3, p.479-488. 2009.

TSAROUHAS, P.H.; ARVANITTOYANNIS, I.S.; VARZAKAS, T.H. Reliability and maintainability analysis of cheese (feta) production line in a Greek medium-size company: A case study. **Journal of Food Engineering**, v.94, n.3-4, p.233-240. 2009.

TUMER, I.Y.; STONE, R.; BELL, D. Requirements for a failure mode taxonomy for use in conceptual design. In: International Conference on Engineering Design, 2003, Stockholm. **Anais**. Stockholm, 2003, p.

VAN WIE, M; BARRIENTOS, F; TUMER, I; GRANTHAM, K; STONE, R. An Analysis of Risk and Function Information in Early Stage Design. Proceedings of the ASME 2005, **International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference**. Long Beach, California, 2005.

VEZZOLI, C.; MANZINI, E. **Design for Environmental Sustainability**: Springer. 2008.

WIKIPÉDIA, a encyclopedia livre. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org/>>. Acesso em 05/12/2011.

WIRTH, R.; BERTHOLD, B.; KRÄMER, 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.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A Máquina que Mudou o Mundo**. São Paulo: Editora Campus. 1992.

WOODHOUSE, S. Use of Failure Mode and Effect Analysis in the Laboratory.
Engineering for Safety , 2005.

Apêndice A – Teoria sobre Revisão Bibliográfica Sistemática

A revisão sistemática consiste em uma metodologia específica científica que vai mais a fundo que uma simples visão geral sobre determinado assunto ou tema. Ela objetiva integrar e ordenar uma pesquisa empírica para criar generalizações. Esta iniciativa de integração envolve objetivos específicos, os quais permitem que o pesquisador analise criticamente os dados coletados, resolva conflitos detectados nos materiais provenientes da literatura e identifique questões para planejar futuras investigações (BIOLCHINI et al., 2005).

Com o intuito de atingir os objetivos da Revisão Bibliográfica Sistemática, Biolchini et al (2005) apresenta um protocolo baseado em cinco fases principais.

Na primeira fase é relatada a formulação do problema, cuja questão central refere-se ao tipo de evidência que deverá ser incluída na revisão. Dessa forma, ela consiste em construir definições que permitam ao pesquisador estabelecer uma distinção entre os estudos que são relevantes e os que são irrelevantes para um específico propósito de investigação (BIOLCHINI et al., 2005).

Na segunda fase é relatada a coleta de dados, a qual tem como foco principal a definição de quais procedimentos o pesquisador deve usar para encontrar, de forma ordenada, as relevantes evidências definidas na fase anterior. Em vista disso, está incluso a definição de bases de dados ou fontes de informações que potencializem estudos relevantes para serem incluídos na revisão, considerando preferencialmente canais múltiplos para acessar estudos primários e a forma pela qual tais canais podem se complementar nos seus respectivos materiais. Neste ponto, Biolchini et al (2005) faz uma ressalva quanto a possibilidade de invalidação da revisão caso estudos acessados correspondam a uma natureza qualitativamente diferente quando comparados à população alvo de estudos como definido no protocolo.

Na terceira fase é relatada a avaliação dos dados, cujo principal objetivo refere-se a qual evidência deve ser recuperada e incluída na revisão. Dessa forma, deve-se aplicar critérios qualitativos para separar estudos que podem ser considerados válidos daqueles que são considerados inválidos. Essa fase também consiste em determinar *guidelines* para o tipo de informação que deve ser extraído dos relatórios de pesquisas primárias (BIOLCHINI et al., 2005).

Na quarta fase é relatada a extração e interpretação de informações, cujo foco é a determinação de quais procedimentos o pesquisador deve utilizar para fazer inferências sobre os dados como um todo. Como ponto relevante, inclui a realização da síntese dos

estudos válidos de forma que generalizações sobre a questão possam ser possíveis de serem realizadas (BIOLCHINI et al., 2005).

Por fim, na quinta fase é realizado o processo de conclusão, cujo objetivo principal refere-se a quais informações deverão ser incluídas no relatório da revisão. Neste ponto omitir a visão geral dos procedimentos pode representar uma fonte potencial de invalidação na conclusão da revisão sistemática, desde que isto leve a irreprodutibilidade da pesquisa e de suas conclusões (BIOLCHINI et al., 2005).

Apêndice B– O Modelo de PDP estudado nesse trabalho

Em empresas onde os processos praticados são informais, é comum a coexistência de diferentes entendimentos sobre como o processo de desenvolvimento ocorre, dificultando a adoção de novas práticas (ROMANO, 2003).

Para superar essa dificuldade, muitas empresas adotam modelos para definir qual o padrão de trabalho que elas desejam adotar para o desenvolvimento de produtos. Modelos de referência descrevem o processo de desenvolvimento de produtos e servem para que empresas e seus profissionais possam desenvolver produtos segundo um ponto de vista comum (ROZENFELD et al., 2006). O compartilhamento único do processo entre as pessoas envolvidas no desenvolvimento facilita a implantação e integração de métodos, ferramentas e sistemas de suporte ao PDP (SOUZA, 2005).

Nesse trabalho, o Modelo de Referência que será estudado foi desenvolvido por pesquisadores advindos de três instituições distintas no Brasil:

- Grupo de Engenharia Integrada/Núcleo de Manufatura Avançada - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo;
- Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina;
- Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade – Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos.

Esses pesquisadores iniciaram um esforço de cooperação na área de PDP, criando uma comunidade (www.pdp.org.br) de pesquisadores e profissionais de empresas que se preocupam com a gestão do PDP e desenvolveram um modelo de referência (ROZENFELD et al., 2006). A Figura 18 apresenta o framework do Modelo Unificado.

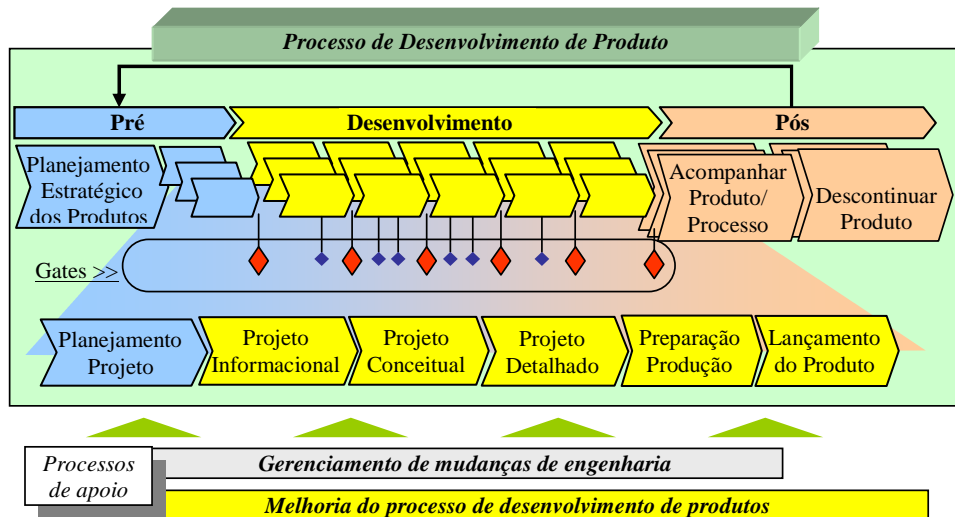


Figura 18 - Visão geral do Modelo Referência (ROZENFELD et al., 2006)

Neste modelo, o PDP é dividido em macrofases, subdivididas em fases, que por sua vez, agrupam as atividades, as quais, em alguns casos, ainda são detalhadas em tarefas. As macrofases são: Pré-Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento.

Para os autores o processo de desenvolvimento de produtos deve refletir a missão e o direcionamento estratégico da empresa, ou seja, a estratégia de produtos deve estar alinhada com a estratégia da unidade de negócio, que por sua vez deve estar alinhada com a estratégia corporativa. Isso é fundamental para garantir que sejam atendidas e superadas as expectativas dos clientes, mas também que se atinjam os clientes de interesse da empresa.

No modelo o que caracteriza uma fase é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), que, juntos, determinam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento. A avaliação dos resultados da fase serve também como marco importante de reflexão sobre o andamento do projeto, antecipando problemas e gerando aprendizagem para a empresa. Este processo de revisão ampla é dado o nome pelos autores de *gate*.

Apesar das fases estarem apresentadas em uma forma seqüencial existe a sobreposição entre atividades de diferentes fases do modelo.

Rosenfeld et al. (2006) ressaltam que este é um modelo genérico, com objetivos didáticos de apresentar o desenvolvimento de produtos, este modelo também pode ser utilizado para criação de modelos de referência específicos para empresas.

Os autores também comentam que o Modelo Unificado do PDP é voltado principalmente para empresas de manufatura de bens de consumo duráveis e de capital.

As macrofases pré- e pós-desenvolvimento são mais genéricas e podem ser utilizadas em outros tipos de empresas com pequenas alterações. A macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção. Portanto tais atividades dependem da tecnologia envolvida.

Nas subseções seguintes será apresentada uma visão geral sobre as macrofases do modelo.

Pré-Desenvolvimento

O *Planejamento Estratégico da Corporação* e o *Planejamento Estratégico do Negócio* compõem o Processo de Planejamento Estratégico. A macrofase **Pré-Desenvolvimento** se inicia com o *Planejamento Estratégico de Produtos*. Nesta fase são selecionados os produtos e projetos que realmente são interessantes para a empresa e farão parte do seu portfólio. Para tanto, é utilizado o modelo do funil. A segunda e última fase da macrofase pré-desenvolvimento chama-se *Planejamento de Projeto*. Ela é composta pelas atividades de determinação do escopo e planejamento do macro do projeto.

Desenvolvimento

Concluída a macrofase pré-desenvolvimento, inicia-se o **Desenvolvimento** com o *Projeto Informacional*, e as fases seguintes são *Projeto Conceitual*, *Projeto Detalhado*, *Preparação Produção*, e finalmente *Lançamento do Produto*. Rozenfeld et al. (2006) destacam a importância da engenharia simultânea na macrofase desenvolvimento. Um dos objetivos da engenharia simultânea é fazer com que as modificações de projeto ocorram no início do desenvolvimento, pois o custo das alterações aumenta exponencialmente em função do tempo.

No *Projeto Informacional* as atividades realizadas são principalmente a aquisição de informações sobre o tema de projeto em questão e sua interpretação. As necessidades e desejos dos clientes são identificados, analisados e transformados em especificações técnicas a serem seguidas pelo projeto.

Na fase de *Projeto Conceitual*, o conceito a ser adotado pelo produto é proposto, tendo como base as informações obtidas na fase anterior. Relaciona-se com atividades de busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto levantado na fase anterior. É então definido o layout do produto e das interfaces, o refinamento do estilo em termos de cor, aparência, e acabamento, dimensionamento e na seleção de materiais formas, componentes, processos de fabricação e montagem. E,

após ser realizada uma síntese da estrutura de funções do produto e da proposição de alternativas de concepções, aplica-se a **FMEA** de sistema para identificar problemas potenciais a serem solucionados na definição da concepção do produto. Aí então são selecionadas as alternativas mais adequadas às necessidades dos consumidores. Além da definição de aspectos ergométricos e estéticos, a fase Projeto Conceitual aborda ainda, definição de parcerias de co-desenvolvimento.

No *Projeto Detalhado*, a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias dos componentes são concluídas e avaliadas, os desenhos de produção são gerados, os processos de fabricação são detalhadamente projetados, o fim de vida do produto é planejado, o produto é testado e homologado, e finalmente é enviada a documentação do produto aos parceiros. Está é a fase mais complexa e para garantir o paralelismo entre suas atividades, Rozenfeld et al. (2006) introduzem o *Projeto Detalhado* como ciclos (ciclo de detalhamento, ciclo de aquisição e ciclo de otimização) os quais são realizados simultaneamente com as atividades de planejamento do processo de fabricação e montagem, e de criação do material suporte do produto e embalagens.

Embora todas as atividades sejam importantes, a atividade principal da fase é a **criação e detalhamento dos SSCs**, pois nela acontece no ciclo de detalhamento, e é a partir dela que são acionadas as atividades do ciclo de aquisição e do ciclo de otimização. Dentre as tarefas dessa atividade procura-se reutilizar os SSCs da própria empresa ou do mercado. A Figura 19 são mostrados os três ciclos e suas atividades.

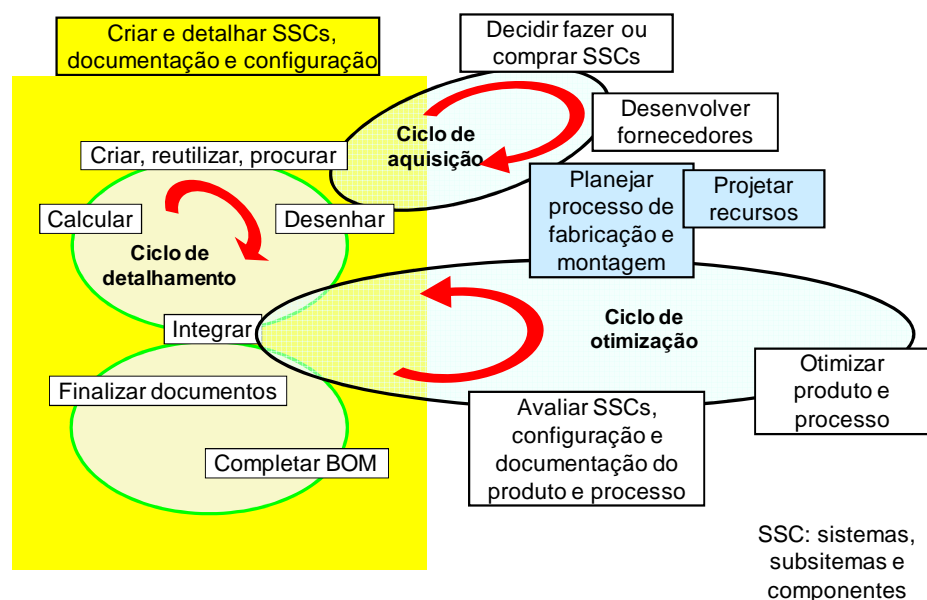


Figura 19 - Tipos de ciclos da fase de projeto detalhado (ROZENFELD, 2006, p.296)

Caso o SSC seja encontrado aciona-se o ciclo de aquisição. A empresa então tem que tomar a decisão entre fazer ou comprar esse item. Neste ciclo também é previsto o

desenvolvimento de fornecedores, e é aqui que entra os tipos de parcerias com os fornecedores (parceria de risco, tecnológica, estratégica, etc.). A decisão de fabricar ou comprar o item vai depender se ele é estratégico ou não para a empresa, mas sobre tudo dos resultados das avaliações financeiras.

O ciclo de detalhamento detalha os Sistemas, Subsistemas e Componentes (SSCs) que foram definidos no Projeto Conceitual para o produto e os integra. No Projeto Conceitual a abordagem para definir os SSC é *top-down* e a integração na Projeto Detalhado é feita de maneira *botton-up*. A Figura 20 ilustra esse conceito.

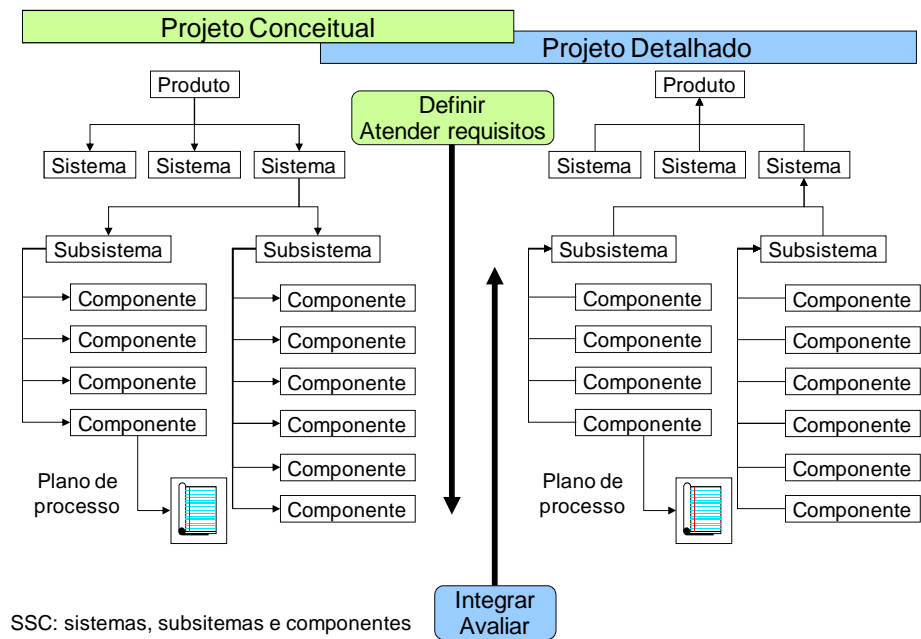


Figura 20 - Desdobramento dos SSC e sua integração ao projeto conceitual e detalhado (ROZENFELD, 2006, p.295)

É no ciclo de otimização que acontece avaliações dos detalhamentos. Em última análise, verifica-se se os requisitos dos clientes são atendidos. Neste ciclo acontece as atividades de analisar falhas, avaliar tolerâncias analiticamente, planejar testes (produto e processo), desenvolver modelos para testes, executar os testes, avaliar os resultados e planejar ações. Vários métodos para avaliação dos SSCs podem ser aplicados e avaliação pode ocorrer de forma qualitativa, analítica ou experimental. Na Figura 21 são mostradas as possíveis combinações entre os métodos e abordagens.

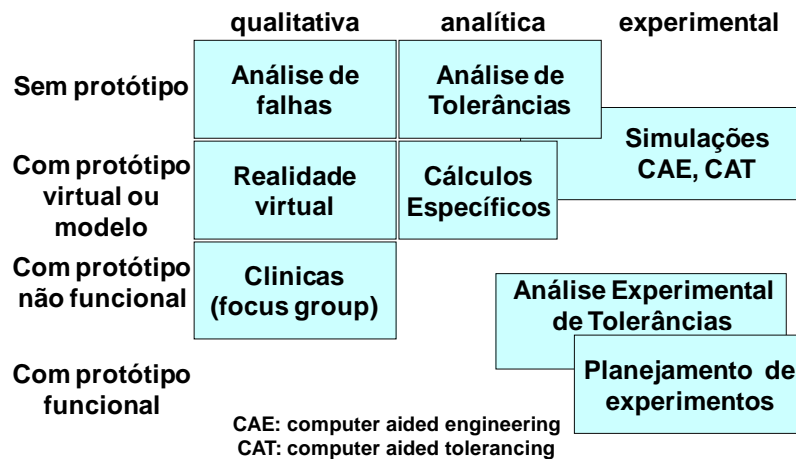


Figura 21 - Visão geral dos métodos de avaliação dos SSC (ROZENFELD, 2006, p.364)

A análise de falhas é uma atividade qualitativa sem protótipo e tem o objetivo de prever falhas e proporcionar o ganho de reduzir a quantidade de testes necessários (virtuais e reais). Para realizar esta atividade existem vários métodos e ferramentas, porém o mais utilizado é a FMEA.

Aplica-se a FMEA para os sistemas, subsistemas e componentes inovadores e o DRBFM, que é uma revisão de projeto baseada nos modos de falhas, para aqueles que são variações dos existentes. No segundo caso, toda e qualquer mudança deve ser avaliada, não importando o risco da falha potencial.

A *Preparação da Produção* consiste em planejar e organizar a fábrica para a produção do primeiro lote piloto do produto. Dessa forma, os recursos devem ser recebidos e instalados no local adequado, o lote é produzido e avaliado, ações corretivas são implementadas e a produção é liberada. Com todos os recursos em mãos, o *Lançamento do Produto* é realizado.

Pós-Desenvolvimento

A macrofase **Pós-Desenvolvimento** desdobra-se em duas fases: (1) *Acompanhar Produto/Processo*; (2) *Descontinuar Produto*. Nesta macrofase, além do planejamento do acompanhamento do produto no mercado, são realizadas atividades de avaliação da satisfação dos clientes, monitoramento do desempenho do produto, auditorias, registro de lições aprendidas, e também atividades de planejamento de como o produto será retirado do mercado.

É conveniente registrar as falhas ocorridas durante a fase de uso e as relativas condições ou parâmetros que o produto foi submetido para falhar. São informações que podem ser úteis em análises de falhas de projetos variantes ou incrementais e também em projetos que compartilhem SSC do produto que falhou.

Apêndice C – Bases de Dados pesquisadas durante a Revisão Sistemática

Abaixo segue as bases de dados que foram utilizadas durante a revisão bibliográfica sistemática, com seu respectivo endereço na Web e com uma breve descrição.

- Compendex (<http://www.engineeringvillage2.org/>): Compendex é a mais abrangente base de dados bibliográficos científicos e técnicos de engenharia de investigação disponíveis, abrangendo todas as disciplinas de engenharia. Ela inclui milhões de citações bibliográficas e resumos de milhares de engenharia revistas e conferências.
- Web of Science (http://thomsonreuters.com/products_services/scientific/Web_of_Science): Web of Science está disponível através do ISI Web of Knowledge e proporciona acesso a informações multidisciplinares de aproximadamente 8700 das revistas de maior impacto do mundo.
- Emerald (<http://hermia.emeraldinsight.com>): proporciona acesso a textos completos de mais de 160 revistas e revisões de várias áreas do conhecimento;
- Science Direct (<http://www.sciencedirect.com>): proporciona acesso a mais de 2000 revistas conceituadas e a centenas de livros, handbooks e trabalhos para referência;
- Scopus (<http://www.scopus.com>): proporciona mais de 16.500 títulos de mais de 4.000 editoras internacionais.
- IEEE Explore (<http://ieeexplore.ieee.org>): proporciona acesso integral à literatura mundial de mais alta qualidade técnica;

Apêndice D - Lista de publicações selecionadas na revisão bibliográfica sistemática

- [1] ALMANNAL, B.; GREENOUGH, R.; KAY, J. A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 24, n. 4, p.501 - 507, 2008.
- [2] ARCIDIACONO, G.; CAMPATELLI, G. Reliability Improvement of a Diesel Engine Using the FMETA Approach. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 20, n. 2, p.143 - 154, 2004.
- [3] ARUNAJADAI, S. et al. Failure mode identification through clustering analysis. **Quality and Reliability Engineering International**, v.20, n.5, p.511--526, 2004.
- [4] ARVANITTOYANNIS, I.; VARZAKAS, T. Application of failure mode and effect analysis (FMEA) and cause and effect analysis for industrial processing of common octopus (*Octopus vulgaris*) - Part II. **International Journal Food Science and Technology**, v.44, n.1, p.79--92, 2009.
- [5] ARVANITTOYANNIS, I. S.; VARZAKAS, T. H. Application of ISO 22000 and failure mode and effect analysis (FMEA) for industrial processing of salmon: A case study. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, v.48, n.5, p.411--429, 2008.
- [6] ARVANITTOYANNIS, I. S.; VARZAKAS, T. H. Application of failure mode and effect analysis (FMEA), cause and effect analysis and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a potato chips manufacturing plant. **International Journal Of Food Science And Technology**, v.42, n.12, p.1424--1442, 2007.
- [7] BELL, D. et al. Using causal reasoning for automated failure modes and effects analysis (FMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1992. **Anais...** Denver, 1992. p.343 - 353.
- [8] 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.
- [9] BIDOKHTI, N. How to close the gap between hardware and software using FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2007,. **Anais...** EUA, 2007.p.167-172.
- [10] BLIVBAND, Z.; GRABOV, P.; NAKAR, O. Expanded FMEA (EFMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2004. **Anais...** Israel, 2004. p.31--36.
- [11] BLUVBAND, Z.; POLAK, R.; GRABOV, P. Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005. **Anais...** Israel, 2005. p.463 - 467.
- [12] BOWLES, J. An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2003. **Anais...** EUA, 2003. p.380--386.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] CARMIGNANI, Gionata An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority cost FMECA. **Reliability Engineering & System Safety**,

- 2008.
- [16] 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.
 - [17] 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.
 - [18] 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.
 - [19] CHEN, J. K. Utility priority number evaluation for FMEA. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 7, n. 5, p.321 - 328, 2007.
 - [20] 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.
 - [21] 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. **Anais...** China, 2004. p.72--76.
 - [22] CHILDS, J. A.; MOSLEH, A. Modified FMEA tool for use in identifying and addressing common cause failure risks in industry. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1999. **Anais...** EUA, 1999. p.19--24.
 - [23] 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.
 - [24] CHIN, Kwai-Sang et al. Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach. **Computers & Operations Research**, v.36, n.6, p.1768 - 1779, 2009.
 - [25] COLVIN, R.; GRUNSKIE, L.; WINTER, K. Timed Behavior Trees for Failure Mode and Effects Analysis of time-critical systems. **Journal of Systems and Software**, v. 81, n. 12, p.2163 - 2182, 2008.
 - [26] DE VISSER, I. M.; VAN DEN BOGAARD, J. A. The risks of applying qualitative reliability prediction methods: A case study. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2006. **Anais...** Holanda, 2006. p.532 - 538.
 - [27] DEVADASAN, S. et al. Design of total failure mode and effects analysis programme. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.20, n.5, p.551 - 568, 2003.
 - [28] 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.
 - [29] 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. **Anais...** Suécia, 2008 p.921 - 927.
 - [30] ESMAEILIAN, G. et al. Particular model for improving failure mode and effect analysis (FMEA) by using of overall equipment efficiency (OEE). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION TECHNOLOGY, 2008. **Anais...** Malásia, 2008.
 - [31] FARQUHARSON, J. et al. FMEA of marine systems: Moving from perspective to risk-based design and classification. In: ANNUAL RELIABILITY AND

- MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2002. **Anais...** EUA, 2002. p.165 - 172.
- [32] FERNANDES, J.; REBELATO, M. Proposal of a method to integrate QFD and FMEA. **Gestão & Produção.**, v.13, n.2, p.245--259, 2006.
- [33] 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.
- [34] GANDHI, O. P.; AGRAWAL, V. P. FMEA--A diagraph and matrix approach. **Reliability Engineering & System Safety**, v.35, n.2, p.147 - 158, 1992.
- [35] GINN, D.; JONES, D.; RAHNEJAT, M. The "QFD/FMEA interface". **European Journal of Innovation Management**, v.1, n.1, p.7 - 20, 1998.
- [36] GOBLE, W. M.; BROMBACHER, A. C. Using a failure modes, effects and diagnostic analysis (FMEDA) to measure diagnostic coverage in programmable electronic systems. **Reliability Engineering & System Safety**, v.66, n.2, p.145 - 148, 1999.
- [37] GOEL, A.; GRAVES, R. Using failure mode effect analysis to increase electronic systems reliability. In: INTERNATIONAL SPRING SEMINAR ON ELECTRONICS TECHNOLOGY 2007: EMERGING TECHNOLOGIES FOR ELECTRONICS PACKAGING, 2007. **Anais...** EUA, 2007. p.128--133.
- [38] GOFUKU, A.; KOIDE, S.; SHIMADA, N. Fault tree analysis and failure mode effects analysis based on multi-level flow modeling and causality estimation. In: SICE-ICASE INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE, 2006. **Anais...** Japão, 2006. p.497 - 500.
- [39] GRUNSKÉ, L.; COLVIN, R.; WINTER, K. Probabilistic Model-Checking Support for FMEA. In: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE QUANTITATIVE EVALUATION OF SYSTEMS, 2007. **Anais...** Austrália, 2007. p.119--128.
- [40] 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.
- [41] HASSAN, A. et al. Cost-based FMEA and ABC concepts for manufacturing process plan evaluation. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON CYBERNETICS AND INTELLIGENT SYSTEMS, 2008. **Anais...** Síria, 2008.
- [42] HASSAN, A.; GOSEVA-POPSTOJANOVA, K.; AMMAR, H. UML based severity analysis methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005. **Anais...** EUA, 2005. p.158 - 164.
- [43] 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.
- [44] HSU, C.; HU, A.; WU, W. Using FMEA and FAHP to risk evaluation of green components. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ELECTRONICS AND THE ENVIRONMENT, 2008. **Anais...** China, 2008. p.1--6.
- [45] HU, Allen H. et al. Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP. **Expert Systems with Applications**, 2008.
- [46] 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.
- [47] HUANG, G.; SHI, J.; MAK, K. Failure mode and effect analysis (FMEA) over the WWW. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 16, n. 8, p.603 - 608, 2000.
- [48] 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.
- [49] KARA-ZAITRI, C. et al. An improved FMEA methodology. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991. **Anais...** Reino Unido, 1991. p.248 - 252.
- [50] KARA-ZAITRI, C.; KELLER, A. Z.; FLEMING, P. V. A smart failure mode and effect analysis package. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1992. **Anais...** EUA, 1992. p.414 - 421.
- [51] 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.
- [52] KRASICH, M. Use of fault tree analysis for evaluation of system-reliability improvements in design phase. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2000. **Anais...** EUA, 2000. p.1--7.
- [53] KRAUSE, F.-L.; ULBRICH, A.; WOLL, R. Methods for Quality-Driven Product Development. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v.42, n.1, p.151 - 154, 1993.
- [54] KUKKAL, P.; BOWLES, J. B.; BONNELL, R. D. Database design for failure modes and effects analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1993. **Anais...** EUA, 1993. p.231 - 239.
- [55] LEE, B. Using Bayes belief networks in industrial FMEA modeling and analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2001. **Anais...** EUA, 2001. p.7 - 15.
- [56] LEHTELÄ, M. Computer-aided failure mode and effect analysis of electronic circuits. **Microelectronics Reliability**, v.30, n.4, p.761 - 773, 1990.
- [57] LI, G.; GAO, J.; CHEN, F. Formal Support for Failure Knowledge Modeling and Diagnostic Reasoning Using Polychromatic sets. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS, 2007 p.645--650.
- [58] 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.
- [59] MONTGOMERY, T. A.; MARKO, K. A. Quantitative FMEA automation. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1997. **Anais...** EUA, 1997. p.226 - 228.
- [60] MONTGOMERY, T. A. et al. FMEA automation for the complete design process. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996. **Anais...** Reino Unido, 1996. p.30 - 36.
- [61] NEPAL, B. et al. 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.
- [62] PALUMBO, D. Automating failure modes and effects analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1994. **Anais...** EUA, 1994. p.304--309.
- [63] PALUMBO, D. Using failure modes and effects simulation as a means of reliability analysis. In: IEEE/AIAA DIGITAL AVIONICS SYSTEMS CONFERENCE, 1992. **Anais...** EUA, 1992. p.102--107.
- [64] PELAEZ, C. E.; BOWLES, J. B. Applying fuzzy cognitive-maps knowledge-representation to failure modes effects analysis. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1995. **Anais...** EUA, 1995. p.450 - 455.
- [65] PELÉZ, C. Enrique; BOWLES, John B. Using fuzzy cognitive maps as a system

- model for failure modes and effects analysis. **Information Sciences**, v.88, n.1-4, p.177 - 199, 1996.
- [66] PICKARD, K.; DIETER, A. Integrative Qualitative Quality Assurance and Reliability Prediction over the Complete Product Design Cycle. **Quality And Reliability Engineering International**, v.24, n.8, p.903--910, 2008.
- [67] PICKARD, K.; MULLER, P.; BERTSCHE, B. Multiple failure mode and effects analysis - An approach to risk assessment of multiple failures with FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005. **Anais...** Alemanha, 2005. p.457 - 462.
- [68] 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.
- [69] PRICE, C. Effortless incremental design FMEA. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1996. **Anais...** Reino Unido, 1996. p.43 - 47.
- [70] 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.
- [71] PRICE, C. et al. Combining functional and structural reasoning for safety analysis of electrical designs. **Knowledge Engineering Review**, v. 12, n. 3, p.271 - 287, 1997.
- [72] PRICE, C.; TAYLOR, N. Automated multiple failure FMEA. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 76, n. 1, p.1 - 10, 2002.
- [73] PRICE, C.; TAYLOR, N. FMEA for multiple failures. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1998. **Anais...** Reino Unido, 1998. p.43--47.
- [74] PRICE, C. J. et al. Flame system: automating electrical failure mode & effects analysis (FMEA). In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1995. **Anais...** Reino Unido, 1995. p.90 - 95.
- [75] PUENTE, J. et al. 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.
- [76] 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.
- [77] 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.
- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] SEXTON, R. D. An alternative method for preparing FMECA's. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 1991. **Anais...** Reino Unido, 1991. p.222 - 225.
- [81] 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.
- [82] SHAHIN, A. Integration of FMEA and the Kano model: An exploratory examination. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.21, p.731 - 746, 2004.
- [83] 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.
- [84] 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.
- [85] 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.
- [86] SNEOR, A. Rectifying FMEA - The inter-crossing method. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2003. **Anais...** Israel, 2003. p.371 - 373.
- [87] STONE, R. B.; TUMER, I. Y.; STOCK, M. E. Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design. **Research in Engineering Design**, v. 16, n. 1-2, p.96 - 108, 2005.
- [88] 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.
- [89] 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 COMMUNICATION ENGINEERING 2008: GLOBAL LINKS FOR HUMAN DEVELOPMENT, 2008. **Anais...** Malásia, 2008. p.796 - 800.
- [90] TENG, S. et al. Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.23, n.2, p.179 - 196, 2006.
- [91] TEOH, P.; CASE, K. An evaluation of failure modes and effects analysis generation method for conceptual design. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, v. 18, n. 4, p.279 - 293, 2005.
- [92] 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.
- [93] 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.
- [94] THROOP, D.; MALIN, J.; FLEMING, L. Automated incremental design FMEA. In: IEEE PROCEEDINGS AEROSPACE CONFERENCE, 2001. **Anais...** EUA, 2001. p.7--3458 vol.7.
- [95] TINGDI, Z. et al. Intelligent FMEA based on model FIORN. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2004. **Anais...** China, 2004. p.386--390.
- [96] 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. **Anais...** EUA, 1999. p.15 - 18,.
- [97] TROUBITSYNA, E. Elicitation and specification of safety requirements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, 2008. **Anais...** Finlândia,

2008. p.202--207.
- [98] VINTR, Z.; VINTR, M. FMEA used in assessing warranty costs. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2005. **Anais... EUA**, 2005. p.331 - 336.
- [99] VON AHSEN, A. Cost-oriented failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.25, n.5, p.466 - 476, 2008.
- [100] WANG, Ying-Ming et al. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. **Expert Systems with Applications**, v.36, n.2, Part 1, p.1195 - 1207, 2009.
- [101] WIRTH, R. et al. 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.
- [102] XU, K. et al. Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 75, n. 1, p.17 - 29, 2002.
- [103] 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.
- [104] 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.
- [105] 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. **Anais... China**, 2005. p.678 - 683.
- [106] ZAMPINO, E. J.; BUROW, D. The application of RODON to the FMEA of a microgravity facility subsystem. In: ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM, 2002. **Anais... EUA**, 2002. p.361 - 366.

Apêndice E - Cadastro dos Estudos obtidos na Revisão Sistemática

O cadastro dos estudos obtidos na revisão sistemática foi realizado no formato de planilhas do Microsoft Excel. A planilha com os estudos cadastrados em ordem alfabética em relação aos autores pode ser observada na Tabela 19.

Tabela 19 - Cadastro dos estudos obtidos na revisão sistemática

Informações provenientes das publicações selecionadas							
ID	Título da publicação	Autores	Tipo	Fonte	Ano	País	Base de Dados
[1]	A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies	Almannai, B. and Greenough, R. and Kay, J.	Periódico	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	2008	Reino Unido	Compendex
[2]	Reliability Improvement of a Diesel Engine Using the FMETA Approach	Arcidiacono, Gabriele and Campatelli, Gianni	Periódico	Quality and Reliability Engineering International	2004	Itália	Compendex
[3]	Failure mode identification through clustering analysis	Arunajadai, S.G. and Uder, S.J. and Stone, R.B. and Tumer, I.Y.	Periódico	Qual Reliab Eng Int	2004	Estados Unidos	Scopus
[4]	Application of failure mode and effect analysis (FMEA), cause and effect analysis and Pareto diagram in conjunction with HACCP to a potato chips manufacturing plant	Arvanitoyannis, I. S. and Varzakas, T. H.	Periódico	International Journal Of Food Science And Technology	2007	Grécia	Web of Science
[5]	Application of ISO 22000 and failure mode and effect analysis (FMEA) for industrial processing of salmon: A case study	Arvanitoyannis, I. S. and Varzakas, T. H.	Periódico	Critical Reviews In Food Science And Nutrition	2008	Grécia	Web of Science
[6]	Application of failure mode and effect analysis (FMEA) and cause and effect analysis for industrial processing of common octopus (<i>Octopus vulgaris</i>) - Part II	Arvanitoyannis, I.S. and Varzakas, T.H.	Periódico	Int. J. Food Sci. Technol.	2009	Grécia	Scopus

[7]	Using causal reasoning for automated failure modes and effects analysis (FMEA)	Bell, Daniel and Cox, Lisa and Jackson, Steve and Schaefer, Phil	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1992	Estados Unidos	Compendex
[8]	A revised failure mode and effects analysis model	Ben-Daya,M. and Raouf, A.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	1996	Arábia Saudita	Emerald
[9]	How to close the gap between hardware and software using FMEA	Bidokhti, N.	Conferência	Proceedings - Annual Reliability and Maintainability Symposium	2007	Estados Unidos	Scopus
[10]	Expanded FMEA (EFMEA)	Blivband, Z. and Grabov, P. and Nakar, O.	Conferência	Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium - RAMS	2004	Israel	IEEE xplore
[11]	Bouncing Failure Analysis (BFA): The unified FTA-FMEA methodology	Bluvband, Zigmund and Polak, Rafi and Grabov, Pavel	Conferência	Annual Reliability and Maintainability Symposium	2005	Israel	Compendex
[12]	An assessment of RPN prioritization in a failure modes effects and criticality analysis	Bowles, J.B.	Conferência	Reliability and Maintainability Symposium, 2003. Annual	2003	Estados Unidos	IEEE xplore
[13]	Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis	Bowles, John B. and Peláez, C. Enrique	Periódico	Reliability Engineering \& System Safety	1995	Estados Unidos	Science Direct
[14]	Fuzzy criticality assessment model for failure modes and effects analysis	Braglia,M. and Frosolini,M. and Montanari, R.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2003	Itália	Emerald
[15]	An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority cost FMECA	Carmignani, Gionata	Periódico	Reliability Engineering \& System Safety	2008	Itália	Science Direct
[16]	Failure mode and effects analysis using grey theory	Chang, C.L. and Liu,P.H. and Wei,C.C.	Periódico	Integrated Manufacturing Systems	2001	China	Emerald

[17]	Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory	Chang, C.-L. and Wei, C.-C. and Lee, Y.-H.	Periódico	Kybernetes	1999	China	Scopus
[18]	Design process error proofing: Failure modes and effects analysis of the design process	Chao, L.P. and Ishii, K.	Periódico	J Mech Des, Trans ASME	2007	Estados Unidos	Scopus
[19]	Utility priority number evaluation for FMEA	Chen, Jih Kuang	Periódico	Journal of Failure Analysis and Prevention	2007	China	Compendex
[20]	Fuzzy linear programming models for new product design using QFD with FMEA	Chen, Liang-Hsuan and Ko, Wen-Chang	Periódico	Applied Mathematical Modelling	2009	China	Science Direct
[21]	Implementation of an enhanced FMEA system for the PCBA design testing a practical case study	Chen, T.T. and Chen, Y.-S. and Chung, Y.-K.	Conferência	Proceedings of 2004 International Conference on the Business of Electronic Product Reliability	2004	China	Scopus
[22]	Modified FMEA tool for use in identifying and addressing common cause failure risks in industry	Childs, Joseph A. and Mosleh, Ali	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1999	Estados Unidos	Scopus
[23]	Development of a fuzzy FMEA based product design system	Chin, K. and Chan, Allen and Yang, Jian-Bo	Periódico	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2008	Reino Unido	Compendex
[24]	Failure mode and effects analysis using a group-based evidential reasoning approach	Chin, Kwai-Sang and Wang, Ying-Ming and Poon, Gary Ka Kwai and Yang, Jian-Bo	Periódico	Computers & Operations Research	2009	China	Science Direct
[25]	Timed Behavior Trees for Failure Mode and Effects Analysis of time-critical systems	Colvin, Robert and Grunske, Lars and Winter, Kirsten	Periódico	Journal of Systems and Software	2008	Austália	Compendex
[26]	The risks of applying qualitative reliability prediction methods: A case study	De Visser, Ilse M. and Van Den Bogaard, Johannes A.	Conferência	Annual Reliability and Maintainability Symposium	2006	Holanda	Compendex

[27]	Design of total failure mode and effects analysis programme	Devadasan,S. R. and Muthu,S. and Neil Samson,R. and Sankaran,R.A	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2003	Índia	Emerald
[28]	Failure mode and effects analysis based on fuzzy utility cost estimation	Dong, C.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2007	Austália	Emerald
[29]	Tool support for incremental Failure Mode and Effects Analysis of component-based systems	Elmqvist, Jonas and Nadjm-Tehrani, Simin	Conferência	Design, Automation and Test in Europe	2008	Suécia	Compendex
[30]	Particular model for improving failure mode and effect analysis (FMEA) by using of overall equipment efficiency (OEE)	Esmaeilian, G.R. and MegatAhmad , M.M.H. and Ismail, N. and Sulaiman, S. and Hamed, M.	Conferência	International Symposium on Information Technology 2008	2008	Malásia	Scopus
[31]	FMEA of marine systems: Moving from perspective to risk-based design and classification	Farquharson, John and McDuffee, Joel and Matsumoto, Takeshi and Seah, A.K.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	2002	Estados Unidos	Compendex
[32]	Proposal of a method to integrate QFD and FMEA	Fernandes, J.M.R. and Rebelato, M.G.	Periódico	Gestao Prod.	2006	Brasil	Scopus
[33]	A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA	Franceschini, Fiorenzo and Galetto, Maurizio	Periódico	International Journal of Production Research	2001	Itália	Compendex
[34]	FMEA--A diagraph and matrix approach	Gandhi, O. P. and Agrawal, V. P.	Periódico	Reliability Engineering \& System Safety	1992	Índia	Science Direct
[35]	The QFD/FMEA interface	Ginn,D.M. and Jones,D.V. and Rahnejat,H. and Zairi,M.	Periódico	European Journal of Innovation Management	1998	Reino Unido	Emerald
[36]	Using a failure modes, effects and diagnostic analysis (FMEDA) to measure diagnostic coverage in programmable electronic systems	Goble, W. M. and Brombacher, A. C.	Periódico	Reliability Engineering \& System Safety	1999	Estados Unidos	Science Direct

[37]	Using failure mode effect analysis to increase electronic systems reliability	Goel, A. and Graves, R.J.	Conferência	30th International Spring Seminar on Electronics Technology 2007; Conference Proceedings: Emerging Technologies for Electronics Packaging	2007	Estados Unidos	Scopus
[38]	Fault tree analysis and failure mode effects analysis based on multi-level flow modeling and causality estimation	Gofuku, Akio and Koide, Seiji and Shimada, Norikazu	Conferência	2006 SICE-ICASE International Joint Conference	2006	Japão	Compendex
[39]	Probabilistic Model-Checking Support for FMEA	Grunske, L. and Colvin, R. and Winter, K.	Conferência	Fourth International Conference on the Quantitative Evaluation of Systems, 2007. QEST 2007.	2007	Austália	IEEE xplore
[40]	Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning	Guimaraes, Antonio C.F. and Lapa, Celso Marcelo Franklin	Periódico	Annals of Nuclear Energy	2004	Brasil	Compendex
[41]	Cost-based FMEA and ABC concepts for manufacturing process plan evaluation	Hassan, A. and Dayarian, I. and Siadat, A. and Dantan, J.-Y.	Conferência	IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems	2008	Síria	Scopus
[42]	UML based severity analysis methodology	Hassan, A. and Goseva-Popstojanova, K. and Ammar, H.	Conferência	Annual Reliability and Maintainability Symposium	2005	Estados Unidos	Compendex
[43]	The Virtual Maintenance System: A Computer-Based Support Tool for Robust Design, Product Monitoring, Fault Diagnosis and Maintenance Planning	Houten, F.J.A.M. and Kimura, F.	Periódico	CIRP Annals - Manufacturing Technology	2000	Japão	Science Direct
[44]	Using FMEA and FAHP to risk evaluation of green components	Hsu, Chia-Wei and Hu, A.H. and Wu, Wei-Cheng	Conferência	IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2008	2008	China	IEEE xplore

[45]	Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP	Hu, A. H. and Hsu, Chia-Wei and Kuo, Tsai-Chi and Wu, Wei-Cheng	Periódico	Expert Systems with Applications	2008	China	Science Direct
[46]	Web-based failure mode and effect analysis (FMEA)	Huang, G.Q. and Nie, M. and Mak, K.L.	Periódico	Computers and Industrial Engineering	1999	China	Compendex
[47]	Failure mode and effect analysis (FMEA) over the WWW	Huang, G.Q. and Shi, J. and Mak, K.L.	Periódico	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2000	Reino Unido	Compendex
[48]	Group-based failure effects analysis	Jenab, K. and Dhillon, B.S.	Periódico	International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering	2005	Canadá	Compendex
[49]	An improved FMEA methodology	Kara-Zaitri, Chakib and Keller, Alfred Z. and Barody, Imre and Fleming, Paulo V.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1991	Reino Unido	Compendex
[50]	A smart failure mode and effect analysis package	Kara-Zaitri, Chakib and Keller, Alfred Z. and Fleming, Paulo V.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1992	Estados Unidos	Compendex
[51]	Scenario-based failure modes and effects analysis using expected cost	Kmenta, Steven and Ishii, Koshuke	Periódico	Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME	2004	Estados Unidos	Compendex
[52]	Use of fault tree analysis for evaluation of system-reliability improvements in design phase	Krasich, M.	Conferência	Reliability and Maintainability Symposium, 2000. Proceedings. Annual	2000	Estados Unidos	IEEE xplore
[53]	Methods for Quality-Driven Product Development	Krause, F.-L. and Ulbrich, A. and Woll, R.	Periódico	CIRP Annals - Manufacturing Technology	1993	Reino Unido	Science Direct
[54]	Database design for failure modes and effects analysis	Kukkal, Puneet and Bowles, John B. and Bonnell, Ronald D.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1993	Estados Unidos	Compendex

[55]	Using Bayes belief networks in industrial FMEA modeling and analysis	Lee, B.H.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	2001	Estados Unidos	Compendex
[56]	Computer-aided failure mode and effect analysis of electronic circuits	Lehtelä, M.	Periódico	Microelectronics Reliability	1990	Finlândia	Science Direct
[57]	Formal Support for Failure Knowledge Modeling and Diagnostic Reasoning Using Polychromatic sets	Li, Guo and Gao, Jianmin and Chen, Fumin	Conferência	Industrial Informatics, 2007 5th IEEE International Conference on	2007	Áustria	IEEE xplora
[58]	Inductive analysis of failure modes of thermohydraulic systems by numerical simulation	Limnios, N. and Guyonnet, J. F.	Periódico	Reliability Engineering	1987	França	Science Direct
[59]	Quantitative FMEA automation	Montgomery, Thomas A. and Marko, Kenneth A.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1997	Estados Unidos	Compendex
[60]	FMEA automation for the complete design process	Montgomery, Thomas A. and Pugh, David Richard and Leedham, Steve T. and Twitchett, Steve R.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1996	Reino Unido	Compendex
[61]	A framework for capturing and analyzing the failures due to system/component interactions	Nepal, B.P. and Yadav, O.P. and Monplaisir, L. and Murat, A.	Periódico	Qual Reliab Eng Int	2008	Estados Unidos	Scopus
[62]	Automating failure modes and effects analysis	Palumbo, D.	Conferência	Reliability and Maintainability Symposium, 1994. Proceedings., Annual	1994	Estados Unidos	IEEE xplora
[63]	Using failure modes and effects simulation as a means of reliability analysis	Palumbo, D.L.	Conferência	Digital Avionics Systems Conference, 1992. Proceedings., IEEE/AIAA 11th	1992	Estados Unidos	IEEE xplora
[64]	Applying fuzzy cognitive-maps knowledge-representation to failure modes effects analysis	Pelaez, C. Enrique and Bowles, John B.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1995	Estados Unidos	Compendex

[65]	Using fuzzy cognitive maps as a system model for failure modes and effects analysis	Peláez, C. Enrique and Bowles, John B.	Periódico	Information Sciences	1996	Estados Unidos	Science Direct
[66]	Integrative Qualitative Quality Assurance and Reliability Prediction over the Complete Product Design Cycle	Pickard, K. and Dieter, A.	Periódico	Quality And Reliability Engineering International	2008	Alemanha	Web of Science
[67]	Multiple failure mode and effects analysis - An approach to risk assessment of multiple failures with FMEA	Pickard, Karsten and Muller, Peter and Bertsche, Bernd	Conferência	The International Symposium on Product Quality and Integrity	2005	Alemanha	Compendex
[68]	Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning	Pillay, Anand and Wang, Jin	Periódico	Reliability Engineering and System Safety	2003	Reino Unido	Compendex
[69]	Effortless incremental design FMEA	Price, C.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1996	Reino Unido	Compendex
[70]	A layered approach to automated electrical safety analysis in automotive environments	PRICE, C.J.; SNOOKE, N.A.; LEWIS, S.D	Periódico	Computers in Industry	2006	Reino Unido	Science Direct
[71]	Combining functional and structural reasoning for safety analysis of electrical designs	PRICE, C. et al.	Periódico	Knowledge Engineering Review	1997	Reino Unido	Compendex
[72]	Automated multiple failure FMEA	PRICE, C.; TAYLOR, N.	Periódico	Reliability Engineering and System Safety	2002	Reino Unido	Compendex
[73]	FMEA for multiple failures	PRICE, C.; TAYLOR, N.	Conferência	Reliability and Maintainability Symposium, 1998. Proceedings., Annual	1998	Reino Unido	IEEE xplore
[74]	Flame system: automating electrical failure mode & effects analysis (FMEA)	PRICE, C. J. et al.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1995	Reino Unido	Compendex
[75]	A decision support system for applying failure mode and effects analysis	Puente,J. and Pino,R. and Priore,P. and de la Fuente,D.	Conferência	International Journal of Quality & Reliability Management	2002	Espanha	Emerald

[76]	Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability	Rhee, Seung J. and Ishii, Kosuke	Periódico	Advanced Engineering Informatics	2003	Estados Unidos	Compendex
[77]	A function-centered framework for reasoning about system failure at multiple levels of abstraction	Russomanno, D. J.	Periódico	Expert Systems	1999	Estados Unidos	Web of Science
[78]	Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis	Sankar,N.R. and Prabhu,B.S.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2001	Índia	Emerald
[79]	Failure mode and effects analysis (FMEA) in the context of risk management in new product development: A case study in an automotive company	Segismundo, A. and Miguel, P.A.C.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2008	Brasil	Emerald
[80]	An alternative method for preparing FMECA's	Sexton, Ronald D.	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	1991	Reino Unido	Compendex
[81]	Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique	Seyed-Hosseini, S.M. and Safaei, N. and Asgharpour, M.J.	Periódico	Reliability Engineering and System Safety	2006	Iran	Compendex
[82]	Integration of FMEA and the Kano model: An exploratory examination	Shahin, A	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2004	Iran	Emerald
[83]	Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling	Sharma,R.K. and Kumar,D. and Kumar, P.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2005	Índia	Emerald
[84]	Fuzzy modeling of system behavior for risk and reliability analysis	Sharma, Rajiv Kumar and Kumar, Dinesh and Kumar, Pradeep	Periódico	International Journal of Systems Science	2008	Índia	Compendex
[85]	Predicting uncertain behavior of industrial system using FM-A practical case	Sharma, Rajiv Kumar and Kumar, Dinesh and Kumar, Pradeep	Periódico	Applied Soft Computing Journal	2008	Índia	Compendex

[86]	Rectifying FMEA - The inter-crossing method	Sneor, Alon	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	2003	Israel	Compendex
[87]	Linking product functionality to historic failures to improve failure analysis in design	Stone, Robert B. and Tumer, Irem Y. and Stock, Michael E.	Periódico	Research in Engineering Design	2005	Estados Unidos	Compendex
[88]	Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures	Tay, K.M.; Lim,P.C.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2006	Malásia	Emerald
[89]	Development of a fuzzy-logic-based occurrence updating model for process FMEA	Tay, K. M.; Teh, Chee Sing; Bong, David	Conferência	Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering	2008	Malásia	Compendex
[90]	Implementing FMEA in a collaborative supply chain environment	Teng,S.G. and Ho,S. M. and Shumar, D. and Liu,C.P.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2006	Estados Unidos	Emerald
[91]	An evaluation of failure modes and effects analysis generation method for conceptual design	Teoh, P.C. and Case, Keith	Periódico	International Journal of Computer Integrated Manufacturing	2005	Reino Unido	Compendex
[92]	Failure modes and effects analysis through knowledge modelling	Teoh, P.C. and Case, Keith	Periódico	Journal of Materials Processing Technology	2004	Reino Unido	Compendex
[93]	Modelling and reasoning for failure modes and effects analysis generation	Teoh, P.C. and Case, K.	Conferência	Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture	2004	Reino Unido	Compendex
[94]	Automated incremental design FMEA	Throop, D.R. and Malin, J.T. and Fleming, L.D.	Conferência	Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings.	2001	Estados Unidos	IEEE xplore
[95]	Intelligent FMEA based on model FIORN	Tingdi, Zhao and Tiejun, Su and Xiao, He. and Linling,Sun.	Conferência	Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium	2004	China	IEEE xplore
[96]	Using an inverted FMEA to manage change and reduce risk in a FAB	Trahan, Robert and Pollock, Anthony	Conferência	IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference, Proceedings	1999	Estados Unidos	Compendex

[97]	Elicitation and specification of safety requirements	Troubitsyna, Elena	Conferência	3rd International Conference on Systems, ICONS 2008	2008	Finlândia	Compendex
[98]	FMEA used in assessing warranty costs	Vintr, Zdenek and Vintr, Michal	Conferência	The International Symposium on Product Quality and Integrity	2005	Estados Unidos	Compendex
[99]	Cost-oriented failure mode and effects analysis	Von Ahsen, A.	Periódico	International Journal of Quality & Reliability Management	2008	Alemanha	Emerald
[100]	Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean	Wang, Ying-Ming and Chin, Kwai-Sang and Poon, Gary Ka Kwai and Yang, Jian-Bo	Periódico	Expert Systems with Applications	2009	China	Science Direct
[101]	Knowledge-based support of system analysis for the analysis of failure modes and effects	Wirth, Rudiger and Berthold, Bernd and Kramer, Anita and Peter, Gerhard	Periódico	Engineering Applications of Artificial Intelligence	1996	Alemanha	Compendex
[102]	Fuzzy assessment of FMEA for engine systems	Xu, K. and Tang, L.C. and Xie, M. and Ho, S.L. and Zhu, M.L.	Periódico	Reliability Engineering and System Safety	2002	China	Compendex
[103]	Fuzzy rule-based Bayesian reasoning approach for prioritization of failures in FMEA	Yang, Zaili and Bonsall, Steve and Wang, Jin	Periódico	IEEE Transactions on Reliability	2008	Reino Unido	Compendex
[104]	Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant	Yeh, R.H. and Hsieh, M.-H.	Periódico	J. Chin. Inst. Ind. Eng.	2007	China	Scopus
[105]	An eco-innovative tool by integrating FMEA and TRIZ methods	Yen, Sheng-Bou and Chen, Jahau Lewis	Conferência	Fourth International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing	2005	China	Compendex
[106]	The application of RODON to the FMEA of a microgravity facility subsystem	Zampino, Edward J. and Burow, Dirk	Conferência	Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium	2002	Estados Unidos	Compendex

Apêndice F – Fontes de Publicações dos estudos científicos

Os 106 trabalhos científicos selecionados apresentaram um universo de 62 fontes de publicações, um número considerado alto, transmitindo a idéia de quão aplicado o método é em diferentes setores, o que aumenta ainda mais a sua importância.

As fontes que tiveram uma maior representatividade foram apresentadas pela Tabela 3 da seção 4.3.1, sendo apresentada por este apêndice a lista das fontes de publicações da legenda “Outros” da mesma tabela. Segue a lista abaixo:

- 2006 SICE-ICASE International Joint Conference
- 30th International Spring Seminar on Electronics Technology 2007
- 3rd International Conference on Systems, ICONS 2008
- Advanced Engineering Informatics
- Aerospace Conference, 2001, IEEE Proceedings.
- Annals of Nuclear Energy
- Applied Mathematical Modelling
- Applied Soft Computing Journal
- Computers & Operations Research
- Computers and Industrial Engineering
- Computers in Industry
- Critical Reviews In Food Science And Nutrition
- Design, Automation and Test in Europe
- Digital Avionics Systems Conference, 1992. Proceedings., IEEE/AIAA
11th
- Engineering Applications of Artificial Intelligence
- European Journal of Innovation Management
- International Symposium on Environmentally Conscious Design and
Inverse Manufacturing
- Gestão Produção
- IEEE International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems

- IEEE International Symposium on Semiconductor Manufacturing Conference, Proceedings
- IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2008
- IEEE Transactions on Reliability
- 5th IEEE International Conference on Industrial Informatics, 2007
- Information Sciences
- Integrated Manufacturing Systems
- International Journal of Computer Integrated Manufacturing
- International Journal of Production Research
- International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering
- International Journal of Systems Science
- International Symposium on Information Technology 2008
- Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineering
- Journal of Failure Analysis and Prevention
- Journal of Materials Processing Technology
- Journal of Systems and Software
- Knowledge Engineering Review
- Kybernetes
- Microelectronics Reliability
- Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers
- Proceedings of 2004 International Conference on the Business of Electronic Product Reliability and Liability
- Proceedings of the International Conference on Computer and Communication Engineering
- Fourth International Conference on the Quantitative Evaluation of Systems, 2007. QEST 2007
- Reliability Engineering

- Research in Engineering Design
- Robotics and Computer-Integrated Manufacturing

Apêndice G –Descrições das práticas apresentadas pelos trabalhos científicos provenientes da RBS

ID	Classes das práticas	Descrição das práticas
[1]	Ferramenta	A ferramenta de tomada de decisão integra os métodos QFD e FMEA, para ser usada durante o processo de automação da manufatura. O QFD é usado para identificar a alternativa mais adequada para a automação da manufatura considerando as dimensões tecnologia, organização e pessoas. Em seguida o FMEA (<i>failure mode and effects analysis</i>) é aplicado para identificar os riscos associados com a alternativa escolhida pelo QFD nas fases de projeto do sistema da manufatura e de implementação.
[2]	Método	O método FMETA (Failure mode and effect tree analysis), que baseia-se no Design Axiomático integrado aos métodos FMEA e FTA. O objetivo do FMETA é focar a escolha do componente em termos de confiabilidade e escolher a solução que realiza o melhor compromisso entre confiabilidade e restrição, como custos, dimensões, pesos etc. Além disso, o FMETA é capaz de avaliar em detalhes as causas da falta de confiabilidade e apresentar ações de melhorias. O Design Axiomático define a estrutura do produto criando uma árvore decomposta de requisitos funcionais e parâmetros de projeto. A estrutura da árvore é caracterizada por grande detalhamento dos componentes.
[3]	Método	Método estatístico de clusterização para identificar falhas potenciais, que propõe a construção de uma matriz relacional entre modos de falhas e funções de componentes. Após a elaboração da matriz, é feita uma análise de cluster para agrupar modos de falhas. A matriz é usada como uma base de conhecimento para identificar e analisar falhas em potencial, facilitando a escolha de ações de melhoria.
[4]	Método	Método baseado na aplicação do FMEA para analisar pontos críticos de controle (<i>Critical Control Points - CCPs</i>) identificados pela aplicação do método HACCP (<i>Hazard Analysis and Critical Control Points - Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle</i>). Uma análise preliminar de perigo é realizada para prever a ocorrência de modos de falhas. É aplicado então o diagrama de Ishikawa (espinha de peixe) e o FMEA no CCPs identificados. Finalmente é criado um diagrama de Pareto para otimizar o FMEA.
[5]	Método	Método baseado na aplicação do FMEA para analisar pontos críticos de controle (<i>Critical Control Points - CCPs</i>) identificados pela aplicação do método HACCP (<i>Hazard Analysis and Critical Control Points - Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle</i>). Uma análise preliminar de perigo é realizada para prever a ocorrência de modos de falhas. É aplicado então o diagrama de Ishikawa (espinha de peixe) e o FMEA no CCPs identificados. Finalmente é criado um diagrama de Pareto para otimizar o FMEA.
[6]	Método	Método baseado na aplicação do FMEA para analisar pontos críticos de controle (<i>Critical Control Points - CCPs</i>) identificados pela aplicação do método HACCP (<i>Hazard Analysis and Critical Control Points - Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle</i>). Uma análise preliminar de perigo é realizada para prever a ocorrência de modos de falhas. É aplicado então o diagrama de Ishikawa (espinha de peixe) e o FMEA no CCPs identificados. Finalmente é criado um diagrama de Pareto para otimizar o FMEA.
[7]	Sistema	Sistema 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.

[8]	Método	Método FMEA melhorado, com uma nova forma de calcular o RPN, a 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.
[9]	Método	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.
[10]	Método	Apresenta o método Extend 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.
[11]	Método	O método BFA (<i>Bouncing failure analysis</i>) 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.
[12]	Método	Método que modifica o cálculo do RPN 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, relacionado-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 ultrapassarem os valores pré-estipulados devem ser combatidos; (3) calcular a expectativa de custo para ajudar na avaliação do efeito da mudança no projeto, multiplicando a probabilidade de ocorrência da falha e o custo do efeito da falha.
[13]	Método	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 RPN 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 onde informações são pouco detalhadas pelo fato da prioridade ser calculada por meio de ranques linguísticos.
[14]	Sistema	Sistema 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> .
[15]	Método	Método chamado <i>Priority-Cost FMECA</i> (PC-FMECA). Os modos de falhas a serem combatidos são classificados por cálculo modificado do RPN. O cálculo prioriza a severidade e utiliza a ferramenta AHP (<i>Analytic Hierarchy Process</i>) e estima a rentabilidade de cada falha corrigida. A rentabilidade considera as vantagens obtidas com a melhora do projeto menos os custos que essas melhorias causariam. A lucratividade financeira de se evitar cada falha é dada pela expressão $P = TLc - TLwm - CoA$, onde: TLc = perda financeira caso a falha venha a ocorrer; TLwm = 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.
[16]	Método	Aplica a teoria <i>Grey</i> para calcular o RPN e ajudar em decisões que as informações são incompletas e o comportamento do sistema é explorado usando análise relacional e modelos

		de construção.
[17]	Método	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 RPN atribuindo pesos relativos aos coeficientes sem a utilidade de qualquer função.
[18]	Método	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 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.
[19]	Método	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>).
[20]	Método	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.
[21]	Sistema	Apresenta o sistema <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 "If-Then" para analisar os efeitos, avaliar o "estrago" (<i>damage</i>) e alcançar soluções para solucionar o problema.
[22]	Método	O artigo apresenta causa e fator de ligação taxonômicos que são refinados para se ajustar a metodologia FMEA. Esse refinamento permite o FMEA considerar os riscos de falha que tem uma única causa e também falhas originadas pela mesma causa (CCFs - <i>Common Cause Failures</i>), para a proposição de ações de melhoria.
[23]	Sistema	Sistema baseado em conhecimento que usa a lógica <i>fuzzy</i> para eliminar as incertezas dos índices do FMEA. O sistema auxilia colaboradores inexperientes a realizarem a análise do FMEA na fase de projeto conceitual para melhoria da qualidade e confiabilidade, avaliação de alternativas de design, seleção de materiais, e avaliação do custo.
[24]	Método	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 RPN.
[25]	Método	O <i>Timed</i> FMEA é um método para identificar relações de causa-efeito entre as falhas dos componentes e riscos de segurança em tempo real de sistemas críticos. O método utiliza uma árvore de comportamentos baseado no tempo (<i>timed Behavior Tree</i>), que permite ao usuário modelar as restrições de tempo para o comportamento dos componentes.
[26]	Abordagem	Abordagem que consiste em dois caminhos que são realizados em paralelo. No primeiro o FMEA é executado normalmente; no outro, falhas de campo de um produto semelhante ou o mesmo produto são apresentados em um gráfico de Pareto para indicar as causas principais de falhas. Para os mecanismos de falha dominantes uma árvore de análise de falhas (FTA) é realizada, sendo que os resultados finais são as principais causas de falhas do produto dependentes do tempo (falhas por degradação, desgastes, etc.). Os resultados de ambos os caminhos são comparados e combinados para se obter as causas de falhas.

[27]	Método	TFMEA (<i>Total Failure Mode and Effects Analysis</i>). O novo método, além da análise tradicional feita no projeto 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.
[28]	Método	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 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.
[29]	Sistema	Sistema 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 encontra-se todas as falhas possíveis do sistema e as interfaces que podem falhar. O sistema 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.
[30]	Método	Método para reduzir o RPN, melhorando a eficiência global de equipamentos (<i>overall equipment efficiency - OEE</i>) por meio de um modelo matemático heurístico baseado em um índice de manutenção do total de produtividade. Nesse método são considerados três fatores: probabilidade de falha, severidade e distinção.
[31]	Método	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 ocorrência. Nesta matriz são visualizados os riscos não aceitáveis e são definidos os modos de falhas a serem priorizados.
[32]	Método	Método para a integração do QFD ao FMEA, de forma que as saídas do QFD sejam entradas para o FMEA. O objetivo da integração é atingir um nível esperado de qualidade para o produto. O QFD enfoca a satisfação e o desempenho do produto em relação ao cliente, e o FMEA enfoca a análise dos riscos atuais e potenciais de falha de cada função do produto.
[33]	Método	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, 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 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.
[34]	Método	FMEA baseado em digrafos e matrizes. O método leva em consideração a complexidade de interações estruturais e funcionais de componentes de um sistema. Um digrafo de modos e efeitos de falhas, derivado da estrutura do sistema, modela os efeitos dos modos de falhas do sistema. As matrizes são definidas para representar o digrafo e para realizar análise computacional.
[35]	Método	Método para promover interações entre os métodos QFD e FMEA, com o objetivo de enfatizar as características comuns dos dois métodos. No método proposto o QFD e o FMEA são mais do que ferramentas técnicas, em prática, são ferramentas de comunicação, que agem como catalisadores para o trabalho cross-funcional.

[36]	Método	O método FMEDA (Failure Mode Effect and Diagnostic Analysis), é uma extensão do FMEA que combina o FMEA tradicional com extensões para identificar técnicas de diagnóstico online de quais modos de falhas de componentes são detectados pelo diagnóstico. O FMEDA recomendada gerar taxa de falhas para cada importante categoria (segurança, detectada, segurança, não detectada, perigo, detectado, perigo não detectado) em modelos de segurança. Essas taxas de falhas são usadas para calcular o fator de cobertura da segurança e o fator de perigo.
[37]	Método	Método FMEA aplicado para melhorar a confiabilidade de sistemas eletrônicos. O principal conceito apresentado é o CMF (<i>Common Mode Failure</i>). O CMF aparece quando uma única falha causa a falha simultânea de vários componentes de um sistema, fato que ocorre sempre que modos de falhas de dois ou mais componentes são dependentes. Para se evitar que CMF cheguem ao cliente, deve-se usar redundâncias, isto é, componentes que têm a mesma função mas com diferentes princípios de funcionamento.
[38]	Sistema	Sistema para gerar automaticamente árvores de falhas (FTA) e tabelas de FMEA a partir de relações causais entre funções e sub-metas de um sistema. As relações causais são modeladas na em um modelo chamado <i>Multi-level Flow Modeling</i> (MFM). O MFM é uma técnica de modelagem funcional, a qual modela diagramaticamente um sistema sob o ponto de vista da dimensão meios-finalidade.
[39]	Método	Método <i>probabilistic</i> FMEA (pFMEA) incorpora modelagem probabilística de falhas e modelo de checagem, para o cálculo da taxa de ocorrência de modos de falhas. Por meio de análise probabilística, permite que a taxa de ocorrência de um perigo seja formalmente calculada. Para utilizar esse modelo probabilístico com o FMEA, um modelo do sistema em análise, incluindo a sua interação com o meio ambiente, deve ser descrito probabilisticamente. Na descrição é empregado a cadeia de Markov e processos de decisões Markov.
[40]	Método	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 RPN baseado em um <i>fuzzymodel</i> , chamado de <i>fuzzy</i> RPN. O modelo transforma os valores subjetivos em quantitativos de forma lógica.
[41]	Método	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.
[42]	Método	Método baseado em UML (<i>Unified Modified Language</i>) para análise da severidade de falhas em fases iniciais do processo de desenvolvimento de softwares. O método combina a probabilidade de falha do software com a severidade da falha, para estimar um fator de risco dos elementos arquiteturais do software. Ele integra as técnicas de análises de perigos: FFA (<i>Functional Failures Analysis</i>), FMEA e FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>). O objetivo é avaliar as severidades de falhas se cenários de sistemas e a severidade das falhas de cada elemento (componentes/conectores) da arquitetura. O FFA é utilizado como abordagem <i>top-down</i> , baseado nos cenários dos sistemas, para identificar o nível de falhas do sistema. O FMEA é utilizado como abordagem <i>botton-up</i> baseado na visão detalhada do sistema, para identificar as possíveis causas das falhas dos componentes/conectores. Finalmente, o FTA correlaciona os resultados do FFA e do FMEA.
[43]	Sistema	Sistema de manutenção virtual utilizado para apoiar o FMEA. O sistema 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.

[44]	Método	Baseado no HSM (<i>Hazardous Substance Management</i>) praticado para componentes verdes, os métodos FMEA e FAHP (<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>) são aplicados na análise de riscos de componentes para atender as diretivas da norma europeia RoHS (<i>Restriction of Hazardous Substances</i>). O FMEA é integrado com o FAHP (<i>Fuzzy analytic hierarchy process</i>), usado para determinar os índices: ocorrência, detecção, severidade e frequência de componentes verdes usados no produto. Então, para cada componente, é calculado o GC-RPN (<i>green componente risk priority number</i>), para identificar e gerenciar os riscos que podem ser derivados dos componentes. O GC-RPN ranqueia os componentes "não verdes" que devem passar por ações de melhorias.
[45]	Método	Baseado no HSM (<i>Hazardous Substance Management</i>) praticado para componentes verdes, os métodos FMEA e FAHP (<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>) são aplicados na análise de riscos de componentes para atender as diretivas da norma europeia RoHS (<i>Restriction of Hazardous Substances</i>). O FMEA é integrado com o FAHP (<i>Fuzzy analytic hierarchy process</i>), usado para determinar os índices: ocorrência, detecção, severidade e frequência de componentes verdes usados no produto. Então, para cada componente, é calculado o GC-RPN (<i>green componente risk priority number</i>), para identificar e gerenciar os riscos que podem ser derivados dos componentes. O GC-RPN ranqueia os componentes "não verdes" que devem passar por ações de melhorias.
[46]	Sistema	O sistema <i>Web-based FMEA</i> 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 sistema e entra com as informações necessários sobre as páginas da web. Os dados introduzidos são analisados localmente pelas máquinas do cliente ou enviados de volta para o servidor para processamento relevantes. Tanto os dados digitados como os dados derivados são armazenados no banco de dados FMEA. Cópias físicas dos documentos podem ser impressas sempre que o cliente o solicitar.
[47]	Sistema	O sistema <i>Web-based FMEA</i> 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 sistema e entra com as informações necessários sobre as páginas da web. Os dados introduzidos são analisados localmente pelas máquinas do cliente ou enviados de volta para o servidor para processamento relevantes. Tanto os dados digitados como os dados derivados são armazenados no banco de dados FMEA. Cópias físicas dos documentos podem ser impressas sempre que o cliente o solicitar.
[48]	Método	O método <i>Group-Based Failure Effects Analysis (GFEA)</i> usa o <i>Risk Priority Category (RPC)</i> , 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.
[49]	Método	Método FMEA baseado na teoria da probabilidade desenvolvida para calcular o RPN 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 probabilísticas comum. O método apresentado também apresenta o <i>Ordered Matrix FMEA</i> , 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.

[50]	Método	Método que combina dos benefícios do <i>matrix</i> FMEA e a abordagem probabilística para o cálculo do RPN. O <i>matrix</i> FMEA proporciona análise organizada dos modos de falhas de todos os níveis do sistema e dos efeitos das falhas de todo o sistema. A abordagem probabilística é usada para calcular os Índices de Prioridade Local e Global, os quais refletem a importância de um evento (causa, severidade e efeito) em relação aos níveis de consideração e ao sistema inteiro.
[51]	Método	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 negativas com alguma probabilidade. A cadeia de causa-efeito pode ser aumentada quando novos efeitos e novas causas são identificadas. A expectativa de custo é calculada por um modelo matemático que leva em consideração a probabilidade do cenário e uma medida de consequência.
[52]	Método	Método organizado para modos de falhas usando o FTA. O método modela um sistema em relação ao seu modo de falha em potencial associado com hardware, software ou suas interações. É possível avaliar de maneira profunda cada causa de um modo de falha de componentes de softwares e hardwares, suas funções, estresses, operacionabilidade e interações.
[53]	Método	Método para a integração do QFD e com o FMEA, e para prover <i>feedback</i> de informações para os softwares de desenvolvimento de produto auxiliado por computador. O QFD é responsável pelos requisitos técnicos e os desejos dos clientes; o FMEA é responsável por evitar ou reduzir os riscos durante o projeto; e o <i>feedback</i> é responsável por capturar as informações sobre todo o ciclo de vida do produto e suas avaliações e uso para as correções e verificações sobre todo nível preliminar do processo de manufatura, de forma a objetivar a otimização do projeto e os resultados do planejamento.
[54]	Sistema	Projeto de uma base de dados relacional para armazenar as informações necessárias e provenientes da aplicação do FMEA. O objetivo de se usar uma base de dados é que com o passar do tempo haverá um montante de informações relevantes armazenado, para ser reusado e apoiar aplicações futuras do FMEA. O projeto da base de dados foi feito usando o modelo Entidade-Relacionamento. Ela consiste em um modelo estático ou estruturado e em um modelo dinâmico ou comportamental. O modelo estático captura dados como sistema de módulos, modos de falhas e efeitos das falhas, relacionamento entre elas, e atributos associados a elas. O modelo dinâmico captura aqueles aspectos do sistema de base de dados que lidam com a forma como os dados estáticos são acessados e manipulados ao longo do tempo.
[55]	Método	O método <i>Bayes Networking</i> FMEA (BN-FMEA) emprega a teoria <i>Bayesian Belief Network</i> para construir modelos probabilísticos de grafos acíclicos direcionados (<i>Directed Acyclic Graph</i> - DAG), que representam dependências causais e estatísticas entre estados de sistemas interno e externo (consumidores e o mundo) e variáveis de eventos de sistemas físicos. BN-FMEA fornece uma linguagem para o time de projeto articular com maior precisão e consistência e menos ambiguidade, as relações de causas e efeitos de falhas de sistemas físicos, bem como a incerteza sobre o seu impacto sobre os clientes e o mundo.
[56]	Sistema	Sistema computacional para a aplicação do FMEA em circuitos eletrônicos. O sistema 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 sistema.

[57]	Método	<p>O objetivo do método apresentado é contribuir para o reuso de conhecimentos presente no FMEA por meio de uma abordagem de modelagem de conhecimento. Na modelagem são empregados teoria <i>Polychromatic sets</i> e matrizes Booleanas para construir um modelo de representação de conhecimentos sobre falhas. O modelo é um framework que organiza os modos de falhas, as causas e efeitos de maneira completa e sistemática. Os modos de falhas são definidos como propriedades inerentes de componentes em diferentes níveis hierárquicos. Eles são organizados em termos de seus inter-relacionamentos e relacionamentos com o sistema físico, oferecendo vantagens de precisão e completividade na análise de sistemas complexos. Usando o modelo e as matrizes, é possível automatizar, em um processo iterativo de busca, um diagnóstico de racionalização de causas e/ou efeitos de falhas.</p>
[58]	Sistema	<p>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.</p>
[59]	Sistema	<p>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 entender modos de falha.</p>
[60]	Sistema	<p>Sistema 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>
[61]	Framework	<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 matrix</i>). São calculados índices de severidade, ocorrência, detecção e o RPN para cada modo de falha identificado utilizando <i>fuzzy logic</i>. Além do índice de prioridade de risco (RPN), 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>
[62]	Sistema	<p>O software apresentado modela o comportamento de falhas de um sistema por meio da definição modular. A definição do módulo contém uma parte declarada (entradas, saídas e variáveis do módulo) e uma parte comportamental (modelo lógico). O sistema é definido como um diagrama de bloco dos componentes do módulo e suas interconexões. O FMEA é produzido por meio da simulação do processo de propagação das falhas.</p>

[63]	Sistema	O sistema <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 sistema à falha em componentes. Análise de confiabilidade usa o FMEA combinado com taxas de falhas em componentes e taxas de recuperação do sistema 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 (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.
[64]	Método	O método apresenta como <i>Fuzzy Cognitive Maps</i> (FCM) podem ser usados para descrever um sistema, sua missão, modos de falha, causas e efeitos. Os mapas substituem a utilização de valores numéricos dos índices do FMEA (S, O, D e RPN) por expressões como: sempre, pouco, fraco, forte, etc. Essas expressões contribuem para que os especialistas cheguem mais facilmente ao consenso sobre os índices. Os mapas podem ser avaliados usando métodos numéricos e métodos gráficos para determinar os efeitos de uma falha e a consistência de decisões sobre a priorização de modos de falha para ações de melhoria.
[65]	Método	O método aplica <i>Fuzzy Cognitive Maps</i> (FCM) para modelar o comportamento de um sistema e usá-lo na análise do FMEA. O FCM utiliza grafos para apresentar relações de causa-efeito entre conceitos. Dessa forma, os grafos conseguem representar as relações causais necessária para aplicação do FMEA e proporcionar uma nova estratégia para prever efeitos de falhas em sistemas complexos.
[66]	Método	Método de integração da qualidade assegurada e da predição da confiabilidade auxilia a comparar e selecionar conceitos, de maneira qualitativa, durante todo o ciclo de desenvolvimento do produto. As informações sobre os conceitos vão sendo transferidas ao FMEA. Então baseada nas adaptações e atualizações que o FMEA sobre durante o ciclo de desenvolvimento do produto, é estimado, por uma distribuição do tempo de vida (por exemplo, distribuição Weibull), a o tempo de vida do produto.
[67]	Método	Pela integração dos procedimentos dos métodos FMEA e FTA em um procedimento combinado, o mFMEA (<i>multiple Failure Mode and Effects Analysis</i>), torna-se possível realizar a análise de confiabilidade de sistemas mecatrônicos complexos. As vantagens dos dois tradicionais métodos são trazidas para o novo método. OFMEA contribui com a análise de riscos, avaliação de riscos e medidas de controle, aplicado apenas para falhas singulares (não múltiplas). O FTA expande o novo método por meio de uma análise de falhas a o auxílio da opção combinada para redes de falhas de acordo com a lógica Booleana. Informações quantitativas relacionadas com a disponibilidade do sistema podem ser derivadas, por meio do uso de redes de falhas. Essas são informações importantes para serem usadas com os resultados do FMEA.
[68]	Método	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 RPN 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 RPN tradicional. Isto é alcançado usando informações advindas de especialistas e integrando-as em uma maneira formal para expressar um método subjetivo de ranquear riscos.
[69]	Sistema	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. Ele também é capaz de determinar valores do RPN para cada efeito de falha, usando valores determinados para falhas similares em modelos similares.

[70]	Sistema	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 consequências das mudanças para o projeto, de modo que a repercussão de qualquer mudança na concepção possa ser entendida.
[71]	Sistema	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.
[72]	Sistema	Software para automatizar o trabalho de produzir um relatório de um FMEA, para projetos de circuitos elétricos, que contenha a análise dos efeitos de múltiplas falhas significativas e também falhas singulares. O software utiliza simulações qualitativas de versões do projeto do circuito. As simulações qualitativas permitem que o FMEA seja executado cedo no ciclo de desenvolvimento, assim que um circuito que represente o sistema possa ser desenhado, com significativa redução do esforço necessário.
[73]	Sistema	O software AutoSteve é a re-implementação em linguagem C++ do sistema FLAME para falhas múltiplas. O AutoSteve simula o comportamento de um sistema sob a presença de falhas em componentes, e, comparando com a simulação do sistema sem falhas, indica qual função irá falhar. O software usa simulações para gerar taxas aproximadas de falha de componentes para selecionar as combinações mais prováveis, e tira o que não é necessário do relatório do FMEA em uma extensão que torna prático para um engenheiro estudar e agir em cima dos resultados.
[74]	Sistema	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.
[75]	Método	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.
[76]	Método	O método <i>Life Cost-Based FMEA</i> é um método para comparar e selecionar alternativas de projeto (design) 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 FMEA</i> 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.

[77]	Framework	O framework organiza o conhecimento para uma simulação de subsistemas que é um componente de um sistema <i>expert</i> 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 comportamento do sistema. O resultado é uma fonte de conhecimento de simulação do sistema expert que pode ser usado para racionalizar os efeitos de falhas do sistema baseado no projeto conceitual.
[78]	Método	O método para priorizar falhas para a proposição de ações de melhoria expande a priorização de risco além do convencional RPN do FMEA. Foi definido uma nova escala de 1 à 1000 chamada <i>Risk Priority Ranks</i> (RPRs), usada para representar o aumento do risco de 1000 maneiras possíveis para severidade-ocorrência-deteccção. A atribuição de valores para o risco é baseada na regras " <i>If-Then</i> ".
[79]	Método	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 RPN do projeto principal. Essa maneira leva em conta o RPN de cada projeto, seus fatores de riscos e a influência da qualidade.
[80]	Método	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 os estudo do FMEA, à medida que o projeto evolui. O método aplica uma abordagem bottom-up para relacionar os modos de falhas dos componentes e as funções afetadas por eles nas montagens do sistema.
[81]	Método	Método de apoio à tomada de decisão sobre ações corretivas baseadas na re-priorização de modos de falhas do FMEA. O método é chamado DEMATEL (<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>). 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 RPN pode ser uma abordagem pouco eficiente.
[82]	Método	O método aumenta as capacidades do FMEA por meio de sua integração ao modelo de Kano, tornando-o um método orientado ao consumidor (<i>customer oriented</i>). A integração envolve a abordagem tradicional para a determinação da severidade e do RPN, classificando as severidades dos modos de falha de acordo com as percepções do consumidor. A integração apóia a relação não linear entre frequência e severidade de falha, característica do modelo de Kano, que caracteriza atributos de um produto ou serviço, baseada em quão bem os atributos são capazes de satisfazer as necessidades do consumidor. Além disso, é proposto um novo índice denominado " <i>correction ratio</i> " (Cr) para facilitar a determinação falhas críticas para ações de melhoria, baseado no critério meta de ocorrência.
[83]	Método	O artigo apresenta um método para calcular o RPN 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 RPN.

[84]	Framework	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 fuzzy de dados de falhas e reparos. Vários parâmetros do sistema de 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 “defuzzificado” (<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 RPN, é proposta uma abordagem de ranqueamento de risco que usa teoria <i>Fuzzy</i> e análise <i>Grey relational</i> para priorizar modos de falhas.
[85]	Framework	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.
[86]	Método	O método <i>Inter-Crossing</i> diminui a chance de falha de notar causas de falha. O método usa <i>checklists</i> para prevenir que causas elusivas não sejam notadas. O <i>checklist</i> é estendido para uma tabela de checagem para escanear todo o sistema para gerar todas as causas de falhas potenciais. A tabela é composta de: uma lista dos componentes do sistema em diferentes estágios do ciclo de vida do produto (matéria prima, manufatura, teste/inspeção/calibração, transporte e uso); e uma lista de parâmetros, agrupados em famílias (condições de uso, líquidos, radiação, desvio dimensional, reação química, envelhecimento, resíduos, carregamento perigoso, etc.) que podem afetar o sistema.
[87]	Método	O <i>Function-Failure Design Method</i> (FFDM) é um método que permite ao projetista realizar o FMEA no projeto conceitual. O método oferece melhoramentos substanciais para o processo de desenvolvimento já que ele melhora a análise de falhas e permitir que sejam reduzidos o número de <i>redesigns</i> (retrabalho), e, conseqüentemente, diminuindo o tempo global do ciclo do desenvolvimento. Isto é alcançado por meio de um banco de dados do histórico de falhas em componente em campo e a taxa de ocorrência dessas falhas para guiar os novos projetos de desenvolvimento. O banco de dados relaciona os conhecimentos nele armazenados em representações funcionais de componentes que falharam, sendo o relacionamento feito de maneira matricial. Para garantir o reuso efetivo das informações armazenadas no banco de dados, são usadas uma representação funcional formal (modelagem funcional e um grupo padronizado para terminologia relacionada com a função dos componentes) e uma taxonomia para dar nomes a modos de falhas.
[88]	Método	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> RPN. 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 constroem o modelo <i>Fuzzy</i> do RPN.
[89]	Framework	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 de ocorrência quanto à redefinição do índice após a melhoria para o projeto ser proposta, sem subjetividade.
[90]	Método	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 Microsoft Excel, 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 projeto irá necessitar.

[91]	Método	<p>O artigo apresenta um método para a geração do FMEA chamado FMAG. O FMAG é baseado na abordagem “fragmento de conhecimento” (<i>knowledge fragment</i>). Relatórios de falhas anteriores são fragmentos de conhecimentos que refletem a deliberação, racionalização (<i>reasoning</i>) e experiência de especialistas. Cada “fragmento de conhecimento” por si mesmo não contribui muito com o processo de racionalização. No entanto, eles podem ser organizados para fornecer ao processo conhecimento com significado, e altamente reutilizáveis. A vantagem desta abordagem é que a racionalização pode ser conduzida baseada em uma quantidade relativamente pequena de informações. Os modelos necessários para a racionalização são menos complexos comparados com a abordagem baseada em modelos (<i>model-based</i>). Os modelos são guiados por informações estabelecidas de ontologias ao invés de princípios básicos, e podem ser facilmente arranjados baseados em simples regras heurísticas de racionalização de conhecimentos não detalhados. Daí, o FMAG é um método apropriado para racionalização no projeto conceitual.</p>
[92]	Framework	<p>O framework apresentado tem o objetivo de gerar automaticamente um FMEA, reusando conhecimentos presente em FMEAs 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.</p>
[93]	Método	<p>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 (modelagem estrutural e funcional). O processo de racionalização é baseado na abordagem “fragmento de conhecimento” (<i>knowledge fragment</i>).</p>
[94]	Sistema	<p>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 resumam 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.</p>
[95]	Framework	<p>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 - Redes de relações de entrada e saída de falhas</i>) são analisados os modos de falhas e seus efeitos e criado o relatório do FMEA.</p>
[96]	Método	<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>

[97]	Método	O artigo apresenta um método que integra FMEA e FTA para especificar requisitos de software. O método incorpora naturalmente requisitos advindos de análise de segurança no processo de desenvolvimento de software. Na análise de segurança são usados gráficos de estado (<i>statecharts</i>) para facilitar a construção de um sistema de controle. O <i>Statechart</i> é um formalismo visual o qual pode ser visto como generalização do convencional <i>finite state automata</i> . Ele forma uma parte da técnica popular de modelagem orientada a objeto <i>Unified Modeling Language</i> (UML). O formalismo apóia características como hierarquia, simultaneidade, e comunicação ampla entre componentes de sistema. <i>Statecharts</i> descrevem o comportamento do sistema como uma evolução de um estado para outro sob a chegada de um evento. No método proposto, os gráficos de estado servem como base para estruturar e integrar os resultados dos métodos FMEA e FTA. O uso de gráficos de estado como meio de comunicação entre segurança e engenheiros de software assiste o processo de descoberta de requisitos.
[98]	Método	Método que aplica o FMEA na avaliação de custo de garantia de produtos reparáveis. O método proposto é especialmente adequado para novos projetos de produtos quando não estão disponíveis informações confiáveis coletadas pelo monitoramento de produtos em uso e especialmente do período de garantia. São adicionadas as seguintes colunas no formulário do FMEA: tipo de reparo, número de falhas, consumo de mão de obra de reparo, peças sobresselentes e material, outros custos, custo total.
[99]	Método	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 RPN baseado nos custos das falhas internas e externas à empresa.
[100]	Método	É apresentada avaliação de risco no FMEA usando média geométrica ponderada <i>fuzzy</i> . Neste método os índices do FMEA tradicional (severidade, ocorrência, e detecção) são tratados como variáveis <i>fuzzy</i> e são avaliados usando termos linguísticos <i>fuzzy</i> e escalas <i>fuzzy</i> . Como resultado, são propostos <i>Fuzzy Risk Priority Numbers</i> (FRPN) para a priorização de modos de falha. Os FRPNs são definidos como médias geométricas ponderadas <i>fuzzy</i> dos índices <i>fuzzy</i> para severidade, ocorrência e detecção, e podem ser computados usando grupos de nível-alfa e programação linear de modelos. Para o propósito de classificação, os FRPNs são “defuzificados” (<i>defuzzified</i>) usando o método <i>centroid defuzzification</i> , o qual é derivado uma nova fórmula <i>centroid defuzzification</i> baseada nos grupos de nível-alfa.
[101]	Sistema	O sistema 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 sistema 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 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.
[102]	Método	Método para a aplicação do FMEA baseado na lógica <i>Fuzzy</i> , tendo em vista que a interdependência entre os modos de falhas com informações imprecisas e incertas são muito difíceis de serem incorporadas à análise de falhas do FMEA. Sendo assim, aplica-se tal método, que é um sistema baseado em conhecimentos, e que é construído a partir de conhecimentos e experiências em forma de regras <i>fuzzy</i> ‘ <i>If-then</i> ’. Para apoiar a aplicação do método proposto, é apresentado um modelo estrutural de avaliação do sistema baseado na lógica <i>Fuzzy</i> no MatLab.
[103]	Abordagem	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.

[104]	Método	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.
[105]	Método	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-RPN. 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, 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 sobuções viáveis. Além do TRIZ, também é utilizado um <i>checklist</i> chamado <i>eco-failure</i> (eco-falha). O <i>eco-failure</i> guia 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> .
[106]	Sistema	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 inter-conectividade dos componentes do sistema. O sistema pode ser simulado para capturar modos de falhas.