PREVENÇÃO DE FALHAS EM PROJETOS NASCENTES – UMA APLICAÇÃO DO FMEA

Itamar Antônio de Souza

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

_____
Prof. Dr. Marcos Martins Borges

_____
Prof. Jorge Menelau de Jesus

_____
Prof. Flávio Bilha

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
FEVEREIRO DE 2006

PREVENÇÃO DE FALHAS EM PROJETOS NASCENTES – UMA APLICAÇÃO DO FMEA

Itamar Antônio de Souza

MONOGRAFIA SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DE CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Dr. Marcos Martins Borges

Prof. Jorge Menelau de Jesus

Prof. Flávio Bilha

JUIZ DE FORA, MG - BRASIL
FEVEREIRO DE 2006

SOUZA, ITAMAR ANTÔNIO DE

Prevenção de Falhas em Projetos Nascentes – Uma Aplicação do FMEA [MINAS GERAIS] 2006

VII, 43 p. 29,7 cm (UFJF, Graduação, Engenharia de Produção, 2006)

Monografia - Universidade Federal de Juiz De Fora, Faculdade de Engenharia

1. Processo de Prevenção de Falhas

Resumo da monografia apresentada à Coordenação de Curso de Engenharia de Produção como parte dos requisitos necessários para a graduação em Engenharia Produção.

PREVENÇÃO DE FALHAS EM PROJETOS NASCENTES – UMA APLICAÇÃO DO FMEA

Itamar Antônio de Souza

Fevereiro/2006

Orientadores: Marcos Martins Borges
Flávio Bilha

Curso: Engenharia de Produção

A elevação da competitividade das empresas, seja por meio da inovação, do aperfeiçoamento ou da garantia das funcionalidades dos produtos fornecidos, vem se tornando o desafio a ser vencido em função do crescente rigor dos clientes em relação aos produtos demandados. Sobre as necessidades dos clientes, a principal diferença entre a abordagem do início do século XX e a atual é que a qualidade agora está relacionada às necessidades e aos anseios dos clientes. Seja qual for o porte da empresa, observam-se programas de qualidade e de melhoria de processos na maioria dos setores econômicos. Não importa fazer o melhor produto com os melhores processos, se o que se faz não vai ao encontro do consumidor, o líder de todos os processos organizacionais. Com essa visão, os processos de melhoria contínua da DaimlerChrysler são definidos e estruturados de modo a constituir meios de produção que resultem em produtos que traduzam os requisitos dos clientes em funcionalidade e confiabilidade.

Palavras-chave: FMEA, prevenção de falhas, projeto nascente

Abstract of Monograph presented to the Coordination of the Course of Engineering of Production as a partial fulfillment of the requirements for the graduation in Engineering of Production.

FAILURE PREVENTION IN NEW BORN PROJECTS – A FMEA APPLICATION

Itamar Antônio de Souza

February/2006

Advisors: Marcos Martins Borges
Flávio Bilha

Departament: Production Engineering

The rise of the competitiveness of the companies, either by means of the innovation, of the perfectioning or the guarantee of the functionalities of the supplied products, is the new challenge to be overcome nowadays by the increasing severity of the customers about the demanded products. The main difference between the Quality concepts about the customers' desires on the past and on the modern days is the link with their real necessities. Whichever the size of the company, programs of quality and improvement of processes are adopted in the majority of the economic sectors. It does not matter to make the best product with the best processes, if the products doesn't fit to the consumer needs, the leader of all the organizational processes. With these concepts in mind, the processes of continuous improvement in the DaimlerChrysler are built and defined to create means of production that result in products that translate the requirements of the customers in functionality and trustworthiness.

Key-Words: FMEA, fail prevention, new born project

SUMÁRIO

CAPÍTULO I **8**

INTRODUÇÃO 8

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS OU APRESENTAÇÃO *8*
1.2 OBJETIVOS *8*
1.3 JUSTIFICATIVAS *9*
1.4 METODOLOGIA *9*
1.4.1 Revisão Bibliográfica *10*
1.4.2 Coleta de Dados na Empresa *10*
1.4.3 Descrição e Análise das Atividades na Empresa *10*
1.4.4 Reuniões Semanais com o Co-Orientador *10*
1.4.5 Elaboração e revisão do TCC *10*
1.4.6 Elaboração da Apresentação do TCC *11*
1.4.7 Pré-Apresentação do TCC *11*
1.4.8 Correções e Melhoria do TCC *11*
1.4.9 Cronograma de Elaboração do TCC *12*
1.5 ESCOPO DO TRABALHO OU CONDIÇÕES DE CONTORNO *12*

CAPÍTULO II **14**

FMEA NA DAIMLERCHRYSLER 14

2.1 ORIGEM *14*
2.2 CONCEITO *14*
2.3 ESTADO DA ARTE *15*
2.4 ELEMENTO DE SISTEMA E ESTRUTURA DE SISTEMA *17*
2.5 FUNÇÕES E ESTRUTURAS FUNCIONAIS *17*
2.6 ANÁLISE DE FALHAS *18*
2.7 AVALIAÇÃO DE RISCO *19*
2.8 OTIMIZAÇÃO *19*
2.9 APLICAÇÃO ORGANIZACIONAL DO SISTEMA FMEA *20*
2.9.1 Elaboração do Sistema FMEA em Equipe *20*
2.9.2 Colaboração na Execução *21*
2.10 APRESENTAÇÃO DO CASO *22*
2.11 DAIMLERCHRYSLER DO BRASIL – JUIZ DE FORA *23*
2.12 MONTAGEM BRUTA *24*
2.12.1 Processo de montagem de Carrocerias *24*
2.12.2 Processo Classe A *25*
2.12.3 Processo Classe C *26*
2.13 Ferramentas de Apoio à Qualidade na DCBR *27*
2.13.1 O Processo de Soldagem na Montagem Bruta: *29*

CAPÍTULO III **31**

FMEA DE SOLDAGEM 31

3.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO *31*
3.2 OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS *31*
3.3 EQUIPES PARTICIPANTES *32*
3.4 COLETA DE INFORMAÇÕES *33*
3.5 TABELAS DE REGISTRO *34*
3.6 PRIORIZAÇÃO, OTIMIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO *38*
3.7 RESULTADOS E FALHAS POTENCIAIS *39*

CONSIDERAÇÕES FINAIS **40**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **42**

ANEXOS **43**

ANEXO 1 – Diagrama de Blocos *43*

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – CICLO PDCA 16
FIGURA 2 – SISTEMA E ESTRUTURA DE SISTEMA 17
FIGURA 3 – ESTRUTURA DE FUNÇÃO FALHA, PARA A FUNÇÃO FALHA 1 18
FIGURA 4 – ESQUEMA ELÉTRICO DA SOLDA A PONTO 30
FIGURA 5 - SÍNTESE DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO NA DAIMLERCHRYSLER 31

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CRONOGRAMA DE TRABALHO 12
TABELA 2 – FORMULÁRIO FMEA (VDA 96) 35
TABELA 3 – ÍNDICE DE SEVERIDADE DO EFEITO 36
TABELA 4 – PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA FALHA 37
TABELA 5 – AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO 38

Capítulo I
INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS OU APRESENTAÇÃO

Em busca da concepção de produtos alinhados a parâmetros que os tornem cada vez mais competitivos, assegurando a máxima satisfação dos clientes e elevada aceitação nos mercados onde competem, sistemáticas de análise e prevenção de falhas vêm se constituindo como práticas “obrigatórias” nas etapas de desenvolvimento das soluções oferecidas ao público.

Ambientado à unidade produtiva da DaimlerChrysler do Brasil em Juiz de Fora – DCBR – JdF o presente Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – se configura como uma excelente oportunidade para catalogar práticas adotadas por grandes corporações mundiais quanto ao desenvolvimento de novos produtos.

Na atualidade, projetos de grande porte são resultados da convergência de esforços dos vários parceiros envolvidos nas iniciativas empresariais. Para uma montadora de automóveis, em projetos nascentes deve existir a colaboração dos diversos agentes que serão envolvidos na produção, em ações que serão tomadas para solucionar as questões presentes em dois principais níveis: o estratégico e o tático.

O foco deste trabalho será a análise da importância da metodologia FMEA para a “construção” de novos processos produtivos para a produção de carrocerias na área de Produção Bruta da empresa.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo apresentar à comunidade acadêmica uma metodologia científica para análise de falhas em projetos e em processos produtivos.

De maneira complementar, esse estudo será contextualizado às práticas adotadas na fábrica de automóveis da DaimlerChrysler do Brasil, de modo a agregar vivacidade aos exemplos selecionados para caracterizar o estudo.

Serão apresentadas, nesse trabalho, algumas atividades constantes do processo de melhoria contínua implementado na montadora de Juiz de Fora para o início de produção do modelo Classe C.

Contudo, essa análise será feita sob a ótica do método de análise e prevenção de falhas conhecido por Failure Mode and Effect Analysis – FMEA, utilizado em todas

as etapas de criação e transição do Projeto Classe A para o Projeto Classe C, que ressurge no cenário produtivo em Juiz de Fora.

1.3 JUSTIFICATIVAS

O tema “Prevenção de Falhas em Projetos Nascentes – Uma Aplicação do FMEA” foi selecionado para a dissertação no presente Estudo de Caso em função da integração a esse assunto nas atividades relacionadas ao estágio na empresa. Além disso, aborda o principal processo produtivo da Área de Produção Bruta – APB, onde são produzidas as carrocerias dos veículos da Unidade, o Processo de Soldagem.

No momento em que as atividades constantes no presente trabalho foram executadas, a montadora de Juiz de Fora se encontrava na fase final do Projeto Classe A. Nesse período, foram produzidos os últimos lotes de veículos e de peças de reposição para as concessionárias.

Em paralelo, havia os grupos de trabalho destinados ao estudo do novo processo produtivo e das adaptações necessárias à linha de produção para que se pudesse produzir os novos veículos da linha Classe C.

Assim, as equipes que eram responsáveis pelo término da produção do Classe A incorporaram as atividades de melhoria do processo produtivo para o advento do novo veículo.

Dessa maneira, foram constituídos os grupos que seriam responsáveis pela implementação das atividades previstas para os trabalhos de aperfeiçoamento do processo produtivo com base na metodologia FMEA.

As atividades desenvolvidas para o estágio na Montagem Bruta foram desempenhadas nas equipes descritas anteriormente, permitindo fácil acesso às informações necessárias para a elaboração do presente trabalho.

1.4 METODOLOGIA

O TCC foi realizado em paralelo às atividades do FMEA de Soldagem, com a vantagem de haver grande volume de informações sendo elaborados por equipes multidisciplinares e com elevada qualificação da DCBR – JdF.

A metodologia de desenvolvimento da TCC será dividida nas seguintes etapas:

1.4.1 Revisão Bibliográfica

É nesse momento que será formado o aporte teórico que servirá de subsídio para a elaboração do TCC.

O confronto das diversas variantes da metodologia FMEA servirá para esclarecer e apontar as tendências de aplicação da metodologia mundialmente utilizadas.

1.4.2 Coleta de Dados na Empresa

A coleta de dados é fase presente em todas as etapas da Elaboração do TCC, todavia, é vital que se tenha um aporte inicial para contornar de forma mais precisa a realidade a que se pretende delinear no presente Estudo de Caso.

1.4.3 Descrição e Análise das Atividades na Empresa

Etapa relacionada ao registro das atividades do Estágio Curricular as quais comporão o TCC. Refere-se especificamente ao que será realizado dentro do âmbito da DaimlerChrysler.

1.4.4 Reuniões Semanais com o Co-Orientador

As reuniões com o co-orientador deverão acontecer com maior freqüência a partir da metade do cronograma para a conclusão do TCC.

Tal fato reside no fato de existirem informações concretas a partir desse momento, resultantes do desenvolver das atividades executadas na empresa.

1.4.5 Elaboração e revisão do TCC

Essa atividade é constante e vai até o momento de entrega do Trabalho.

As revisões devem ser constantes e acontecerão durante todo o processo de elaboração. Os encontros ou reuniões concluídos demandam revisão imediata do conteúdo do trabalho, sobretudo em função de duas características básicas de toda a atividade FMEA: a discussão de definições dos processos como tônica dos trabalhos e a reavaliação constante do escopo e abrangência dos Elementos do Sistema pertencentes à estrutura FMEA.

1.4.6 Elaboração da Apresentação do TCC

Para essa etapa será reservado tempo hábil para a elaboração da apresentação à Banca de Examinadora, incluindo-se apresentação multimídia e formatação do arquivo de texto em conformidade aos padrões estabelecidos pela Banca.

1.4.7 Pré-Apresentação do TCC

O TCC será apresentado com, no mínimo, 15 dias de antecedência ao prazo estipulado pela Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Juiz de Fora ao Orientador e ao Co-orientador do Trabalho.

1.4.8 Correções e Melhoria do TCC

Refere-se às últimas correções ao Trabalho, preparando-o para a entrega final à Banca Examinadora.

1.4.9 Cronograma de Elaboração do TCC

	set/05				out/05				nov/05			
Atividades	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s
Revisão Bibliográfica												
Coleta de Dados na Empresa												
Descrição e Análise das Atividades na Empresa												
Reuniões Semanais com o Co-orientador												
Análise dos Dados												
Elaboração e revisão do TCC												
Elaboração da Apresentação do TCC												
Pré-Apresentação do TCC												
Correções e Melhoria do TCC												

	dez/06				jan/06				fev/06			
Atividades	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s	1ª s	2ª s	3ª s	4ª s
Revisão Bibliográfica												
Coleta de Dados na Empresa												
Descrição e Análise das Atividades na Empresa												
Reuniões Semanais com o Co-orientador												
Análise dos Dados												
Elaboração e revisão do TCC												
Elaboração da Apresentação do TCC												
Pré-Apresentação do TCC												
Correções e Melhoria do TCC												

Tabela 1 - Cronograma de Trabalho

1.5 ESCOPO DO TRABALHO OU CONDIÇÕES DE CONTORNO

A DCBR – JdF passa atualmente pela fase de transição dos dois projetos mencionados anteriormente, em que as equipes de cada área encontram-se divididas em torno de objetivos específicos.

Na APB existem duas equipes: uma responsável pelo término das atividades e produção do Classe A e uma outra responsável pelas questões relacionadas às modificações necessárias para a adaptação da linha de produção para a produção do Classe C.

Uma característica a ser considerada para a realidade do novo projeto será o reaproveitamento da maior quantidade de recursos utilizados para o Classe A no novo projeto, minimizando os gastos com a compra de ativos.

Na nova realidade, a empresa será ainda mais exigida no quesito qualidade, uma vez que os carros produzidos serão destinados a um mercado muito mais exigente que o nacional: o mercado norte americano.

A veloz resposta às variações detectadas por meio dos estudos de mercado, prevenindo eventuais incompatibilidades de projeto e gastos além dos previstos nas fases preliminares são condições igualmente relevantes no desenvolver das atividades do FMEA de Soldagem que serão apresentadas no TCC.

A DaimlerChrysler, em sua severa política de redução de falhas, recomenda uma série de práticas para as unidades do grupo. Dessa maneira, há a confiabilidade de que os padrões produtivos esperados pelos parceiros e clientes da companhia sejam sempre garantidos.

Dessa forma, as atividades relacionadas à metodologia FMEA surgem como uma exigência desses agentes nessa fase de modificação de produto na montadora de Juiz de Fora.

Destaca-se aqui o fato de a ferramenta em questão ser a única recomendada para seu objetivo fim pelas normas qualitativas adotadas pelas indústrias do setor automobilístico, a citar a VDA 96, uma das principais diretrizes normativas adotadas pela DaimlerChrysler (ver Revisão Bibliográfica).

Capítulo II
FMEA NA DAIMLERCHRYSLER

Essa monografia se enquadra nos moldes de um Estudo de Teórico, em que a montadora da DaimlerChrysler do Brasil – Unidade de Juiz de Fora pretende se antecipar às possíveis falhas no Processo de Soldagem da Área de Montagem Bruta para o ressurgimento do Classe C no âmbito da fábrica.

Uma tônica presente nesses trabalhos da Montagem Bruta será a análise das modificações relativas ao layout, aos novos dispositivos e equipamentos implementados no novo processo, ao aumento da complexidade dos processos em função do aumento/redução do número de robôs e pontos de solda na carroceria do novo veículo, entre outros fatores que deverão ser considerados para que a fase de transição do Projeto Classe A para o Classe C tenha sucesso.

2.1 ORIGEM

A Análise de Modo e Efeitos de Falhas foi desenvolvida em meados dos anos 60, nos Estados Unidos pela NASA para o Projeto Apolo. Após a aplicação deste método na aviação e viagem espacial, como também na tecnologia nuclear, a FMEA foi aplicada em seguida na indústria automobilística. A FMEA vem sendo usada, desde então, em larga escala no mundo inteiro. Ela representa hoje, nas empresas fabricantes de automóveis e de seus fornecedores, um componente metódico de sistemas de gerenciamento de qualidade.

2.2 CONCEITO

O Sistema FMEA, como evolução do FMEA de Projeto e do FMEA de Processo, consiste de uma análise de risco integrada às áreas específicas, acompanhando o desenvolvimento e o planejamento. O Sistema FMEA representa um instrumento metódico importante para reconhecer e evitar eventuais falhas com a maior antecedência possível.

O Sistema FMEA oferece suporte ao trabalho de equipe e de projeto, principalmente pela estruturação conseqüente das possibilidades de falhas do sistema.

Com o Sistema FMEA, a qualidade do desenvolvimento e do planejamento é questionada e avaliada, exaustivamente, durante a fase de desenvolvimento e planejamento. Ele representa, dessa forma, um possível “monitor do grau de

amadurecimento” e um importante instrumento de gerenciamento, que apóia a cooperação interdisciplinar. O Sistema FMEA indica em todos os pontos críticos da evolução do projeto, como o risco já foi reduzido ou se ainda deverá ser reduzido, através de experiência, cálculo, ensaios e verificação.

2.3 ESTADO DA ARTE

A indústria automobilística vem sendo a algum tempo, impulsionadora de grandes inovações tecnológicas, sobretudo em função do elevado investimento em Pesquisa e Desenvolvimento, sempre com o intuito de agregar funcionalidades, conforto e segurança aos veículos automotivos.

Alinhados à tendência mundial de preservação ambiental, os investimentos para a utilização de fontes de energia alternativa, por exemplo, representadas pelas células conversoras dos veículos bi-combustíveis ou tri-combustíveis e que utilizam o Gás Liquefeito de Petróleo e o Álcool como alternativa à gasolina, têm se elevado gradativamente.

A conquista dos novos clientes e a fidelização dos atuais vêm sendo o principal propulsor de inúmeras modificações nas linhas produtivas das montadoras, uma vez que itens antes tidos como “opcionais” nos automóveis vêm sendo incorporados como itens de série, seja para produção de conforto ou ampliação da segurança do veículo.

Essas e outras modificações implementadas aos novos veículos demandam fases intensivas de testes e exaustivos trabalhos no sentido de antever as falhas e melhorar os processos produtivos. Uma das alternativas adotadas por grandes representantes mundiais do setor automotivo é a adoção do FMEA como diretriz para a execução dessas mudanças.

Segundo a Associação da Indústria Automobilística da Alemanha (Verband der Automobiliindustrie - VDA), o FMEA é um método preventivo de falhas, usualmente aplicado num estágio inicial do processo de criação do produto, examinando o estado de desenvolvimento e planejamento em vigor neste momento com referência a eventuais falhas, para que as medidas preventivas possam ser introduzidas para evitá-las.

O dinamismo e a flexibilidade nos processos produtivos são características desejáveis e amplamente buscadas pelas indústrias do referido setor. Surge então a necessidade de se atuar e modificar as tradicionais formas de desenvolvimento dos novos projetos, alocando melhor os recursos, com a busca incansável da redução de custos e otimização das fases de criação e geração de novos produtos.

De acordo com CASAROTTO FILHO (1999), as redes de empresas passaram a adotar o Gerenciamento de Projetos via Engenharia Simultânea para lançar novos produtos mais rapidamente. Um exemplo é o das grandes montadoras de veículos automotivos. O desenvolvimento de um novo veículo é feito simultaneamente pela empresa-mãe e por sua rede de fornecedores.

Além dos conceitos de Engenharia Simultânea, as grandes corporações mundiais adotam o Ciclo PDCA de melhoria contínua como ferramenta da qualidade para apoiar a correta execução das fases do projeto ou o DMAIC.

Para MARSHALL JÚNIOR (2003), o Ciclo PDCA é um método gerencial para a promoção da melhoria contínua e reflete, em suas quatro fases, a base da filosofia de melhoramento contínuo. Praticando-as de forma cíclica e ininterrupta, acaba-se por promover a melhoria contínua e sistemática na organização, consolidando a padronização de práticas consistentes com tal propósito (Figura 01).

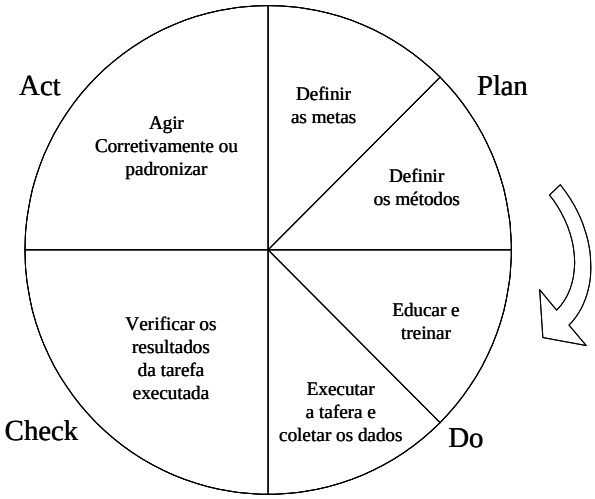


Figura 1 – Ciclo PDCA

FONTE: MARSHALL JÚNIOR (2003)

O DMAIC, que é o "modelo para melhorias" utilizado por um grande número de empresas que estão adotando o Programa Seis Sigma nos Estados Unidos, é um ciclo constituído por cinco fases básicas: Define (Definir); Measure (Medir); Analyze (Analisar); Improve (Melhorar); Control (Controlar). Como outros "modelos para melhorias", o DMAIC é baseado no Ciclo PDCA. Portanto, o DMAIC, assim como o Ciclo PDCA, é um método de solução de problemas ao qual é integrado, de forma lógica, um conjunto de ferramentas para coleta, processamento e disposição das informações necessárias para a execução de cada fase do método.

2.4 ELEMENTO DE SISTEMA E ESTRUTURA DE SISTEMA

É nessa fase que será definida a Estrutura de Sistema, com seus respectivos Elementos de Sistema.

O sistema consiste de elementos individuais de sistema (SE) que são agrupados hierarquicamente para a descrição das interligações estruturais no sistema total, em uma estrutura de sistema (por exemplo, conceito de Hardware, estrutura de organização). Na elaboração da estrutura de sistema não está fixada, em princípio, a quantidade de níveis hierárquicos.

As interfaces surgem a partir da estruturação das conexões físicas existentes no sistema, ou seja, a interligação de todos os relacionamentos dos SE's.

Serão realizados encontros semanais para discussão do tema, contando sempre com a participação do Especialista em métodos do Sistema FMEA. Todo o resultado dessa etapa será catalogado no sistema IQ-FMEA, de propriedade da própria DaimlerChrysler.

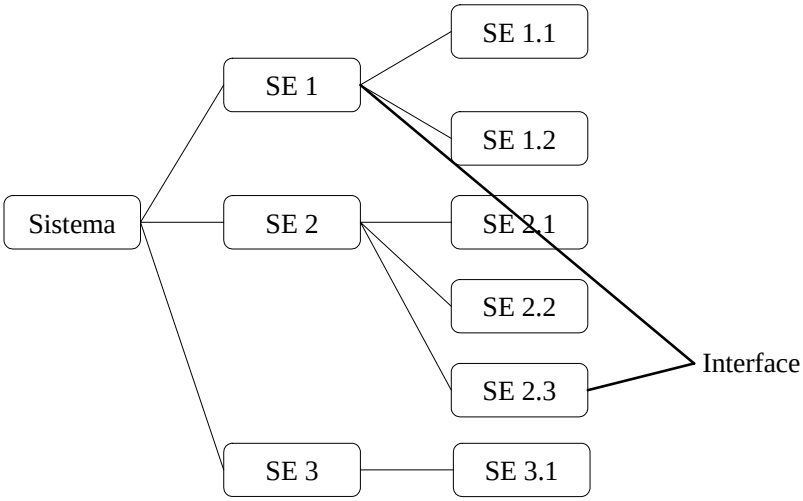


Figura 2 – Sistema e Estrutura de Sistema

FONTE: Instituto da Qualidade Automotiva (1996)

2.5 FUNÇÕES E ESTRUTURAS FUNCIONAIS

Momento em que os Elementos de Sistema serão analisados quanto às suas funções e falhas, provenientes da simples operação dos elementos ou mesmo da interface com outros elementos da Estrutura de Sistema.

Para isto, são necessários conhecimentos abrangentes sobre o sistema e as condições ambientais, por exemplo, calor, frio, poeira, respingos d'água, sal, formação de gelo, vibrações, falhas elétricas, entre outras.

2.6 ANÁLISE DE FALHAS

Para cada SE observado na descrição do sistema, poderá ser efetuada uma análise de falha.

- Possíveis falhas (F) do SE estudado são suas falhas derivadas e descritas a partir das funções conhecidas, por exemplo, o não cumprimento da função ou a própria função restrita.
- As possíveis causas da falha (FU) são as falhas concebíveis dos SE inferiores e do SE agregado através de pontos de interseção (Figura 03).
- Os possíveis efeitos da falha (FF) são as falhas resultantes dos SE superiores e do SE correspondente através de interfaces.

Nessa fase, as falhas serão deduzidas e suas estruturas (árvores de falhas) serão elaboradas com base das funções e estruturas funcionais conhecidas (Figura 03).

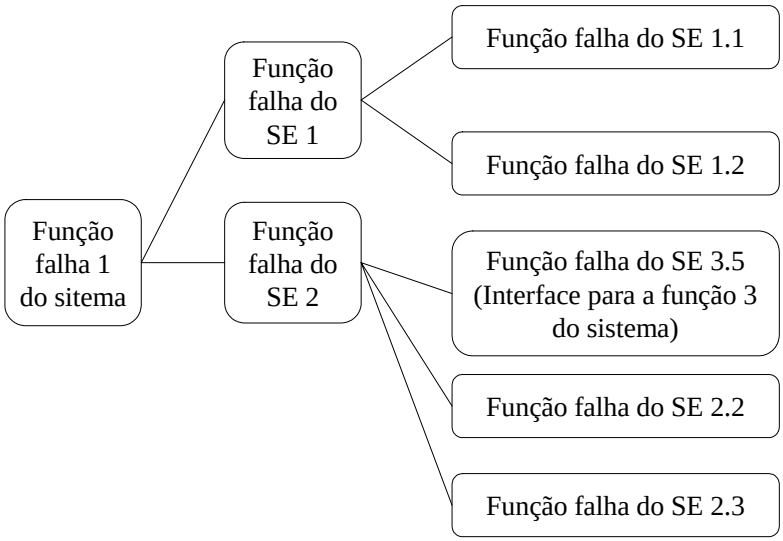


Figura 3 – Estrutura de Função Falha, para a Função Falha 1

FONTE: Instituto da Qualidade Automotiva (1996)

A árvore de falhas descrita acima será analisada nessa fase quanto a sua alocação nos três critérios mencionados anteriormente (F, FU e FF), gerando a estrutura FMEA que será a base do Formulário Sistema – FMEA.

Para o TCC em questão, o Formulário Sistema – FMEA utilizado será o recomendado pela VDA 96, norma utilizada pela DaimlerChrysler como padrão para grande parte de suas operações e atividades.

2.7 AVALIAÇÃO DE RISCO

Para a avaliação do risco de um dado sistema, recorre-se a medidas de prevenção e de detecção já existentes no estágio de desenvolvimento e planejamento. O critério para a avaliação é o índice de prioridade de risco (RPN) que é composto por três fatores individuais:

S – Para a importância da conseqüência de falha

O – Para a probabilidade de ocorrência da causa de falha

D – para a probabilidade de detecção da ocorrência da causa de falha, da falha ou, respectivamente, da conseqüência da falha.

Os índices de avaliação de cada um dos itens acima são pontuados de 10 a 1, em que o produto S x O x D será o valor correspondente do índice RPN.

Dessa etapa resultará a preparação do Formulário Sistema – FMEA para que sejam definidas as ações corretivas ou medidas de contenção.

O formulário será o mecanismo de controle e de sínteses das informações relativas à execução dessas ações corretivas ou medidas de contenção.

2.8 OTIMIZAÇÃO

Partindo-se da análise de Pareto para os riscos definidos nas etapas anteriores, representados pelo RPN, serão traçadas ações corretivas ou de contenção, estipulando-se ainda os responsáveis pelo cumprimento dessas medidas e o prazo para que estejam totalmente implementadas no processo.

A análise de Pareto será importante para que sejam priorizados os riscos com maior gravidade, uma vez que algumas falhas podem não implicar em perdas para o processo ou para o produto, afetando apenas o desempenho isolado em determinadas atividades.

A questão da priorização será importante também para a racionalização dos recursos envolvidos nas atividades de melhoria do processo, uma vez que os recursos da empresa não são infinitos e devem ser criteriosamente alocados no processo.

A fase de Otimização obedece aos preceitos de melhoria contínua, em que são respeitadas as fases do ciclo PDCA de Melhoria.

Os gestores da DaimlerChrysler esperam que resultem dos trabalhos relacionados ao tema a antevisão pontos de risco no processo, a delimitação de ações de contenção para eventuais disfunções e a formulação de propostas de melhoria para os novos processos produtivos que serão utilizados para a produção do novo pacote de veículos na DCBR - JdF.

As diretrizes gerais para a aplicação da metodologia são organizadas de modo a assegurar ainda que sejam alcançados os seguintes resultados:

- Redução dos custos da não qualidade;
- Elevação da confiabilidade dos processos;
- Promover maior adaptação do projeto ao ambiente que encontrará na DCJF (condições ambientais, legislações específicas, normas internas, colaboradores, qualificação da equipe, etc.);
- Atendimento aos requisitos de qualidade do mercado a ser atendido (EUA).

2.9 APLICAÇÃO ORGANIZACIONAL DO SISTEMA FMEA

2.9.1 Elaboração do Sistema FMEA em Equipe

O Sistema FMEA deve ser elaborado por equipes de trabalhos multidisciplinares, compostas por especialistas em sistemas das áreas funcionais responsáveis e pelos especialistas em métodos, pois:

- O conhecimento e a experiência de diversos funcionários poderão ser aproveitados;
- Aumentará a aceitação do Sistema FMEA elaborado;
- A comunicação e a colaboração, interligando diversas áreas, serão incentivas;
- A tramitação sistemática e eficiente será garantida pela participação de especialistas em métodos.

2.9.2 Colaboração na Execução

Sistema FMEA de Produto / Sistema FMEA de Processo

Partindo dos níveis superiores do sistema, são definidas as interfaces para níveis inferiores do sistema. Desta maneira, é definida uma distribuição nítida de tarefas, entre vários parceiros, no Sistema FMEA.

Especialistas em sistemas e métodos, de ambos níveis do sistema, elaboram o Sistema FMEA no ponto da interface, através dos elementos do sistema, devem ser considerados em níveis inferiores.

Sistemas FMEAs não são entregues, em princípio, pelo fornecedor ao cliente, além das áreas de interfaces. Quando solicitado, serão apresentados os resultados essenciais. Em casos especiais, Sistemas FMEAs poderão ser entregues ao comprador, se isto estiver previamente acordado em contrato.

FMEA - Projeto / FMEA - Processo

Por razões de proteção do *know-how*, as FMEA - Projeto e FMEA – Processo elaboradas pelo fornecedor não são entregues em hipótese alguma ao cliente. Caso no caderno de encargos estejam indicadas premissas detalhadas específicas do cliente e o procedimento tenha sido previamente determinado no contrato, extratos da atividade FMEA poderão ser entregues excepcionalmente ao comprador.

O cliente poderá verificar por ocasião das inspeções que as FMEAs relevantes para ele foram elaboradas. Deve-se proceder aqui de forma semelhante às documentações arquivadas da segurança da qualidade.

Reutilização do Sistema FMEA

Os sistemas FMEAs existentes para produtos e processos conhecidos são aproveitados para novas análises. Dessa forma, há uma redução de custos. A abrangência das partes assumidas deve ser verificada criticamente quanto ao respectivo caso de aplicação, particularmente as avaliações.

Emprego do Processamento Eletrônico de Dados na Elaboração do Sistema FMEA

O sistema FMEA poderá ser executado com maior eficiência através da utilização do processamento eletrônico de dados:

- O trabalho sistemático recebe suporte;
- Possibilidade de direcionamento do usuário e emprego auxiliar;
- Facilita-se a execução de trabalhos preparativos e análises;
- Suporte na elaboração, por exemplo, com as funções inserir, apagar, copiar, etc.;
- Possibilidade de acesso às FMEAs já elaborados, através da conexão em rede dos respectivos postos de trabalho, com proteção sistemática do acesso;
- Administrar bancos de dados com Sistemas FMEAs já elaborados.

Implementação do Sistema FMEA na Empresa

Os participantes das reuniões do Sistema FMEA devem estar informados a respeito dos fundamentos do método e do desenvolvimento da implementação da metodologia.

Na DaimlerChrysler o Responsável pelo Sistema FMEA é responsável por ministrar um curso de nivelamento a todos os participantes dos grupos, de modo a permitir que todos possuam uma compreensão sistêmica dos passos que envolvem o desenrolar da atividade.

Isso significa, conforme a experiência, um investimento de uma a duas horas no primeiro encontro da equipe do Sistema FMEA. O especialista em métodos apresenta uma visão geral do Método FMEA e assegura, como coordenador, o modo do procedimento metodicamente correto, durante a implementação do Sistema FMEA. Na aplicação, em larga escala do Sistema FMEA na empresa, é conveniente formar outros funcionários nos respectivos locais de atuação como especialistas em Métodos FMEAs.

2.10 APRESENTAÇÃO DO CASO

Em 1997 é instalada na cidade de Juiz de Fora, a primeira fábrica de automóveis de passeio da Mercedes-Benz construída fora da Alemanha. A empresa traz conceitos inovadores de produto e de processo para o mercado brasileiro.

O conceito de “veículo monovolume” não é a única novidade que a fábrica apresentara à região. A planta fora desenhada ainda de modo a integrar os processos fabris da Mercedes às unidades das empresas fornecedoras, instaladas dentro da empresa. Era o chamado “Parque de Fornecedores Internos”.

Entende-se por monovolume a categoria de veículos que em um só corpo integram-se o vão do motor, o *cockpit* e o bagageiro.

Em 1999 acontece a fusão entre as empresas Daimler-Benz e Chrysler, dando origem a DaimlerChrysler. Esse momento foi marcado por um cenário econômico turbulento, o dólar atingiu patamares nunca tão elevados. Toda essa instabilidade, aliada a uma possível falha da empresa na projeção de vendas, fez com que o volume de produção fosse reduzido a 10% da sua capacidade total de produção em 2002.

Mesmo atuando em cenário desfavorável, a DaimlerChrysler - Juiz de Fora buscou ser *Benchmarking* no grupo e no setor através de sua forte atuação em qualidade, logística e manutenção.

Nesse cenário, a metodologia FMEA correspondeu ao aporte teórico para uma implementação estruturada que fosse efetiva na detecção e correção de falhas potenciais, interrompendo seu curso e perfazendo a imagem de credibilidade que os veículos da marca possuem.

2.11 DAIMLERCHRYSLER DO BRASIL – JUIZ DE FORA

Uma convergência de fatores corroborou para a instalação da fábrica de automóveis da DaimlerChrysler do Brasil em Juiz de Fora, a citar: infra-estrutura municipal, mão-de-obra qualificada, proximidade aos mercados consumidores, disponibilidade imediata de área para início da obras e os incentivos fiscais concedidos.

A unidade destaca-se ainda por modernas técnicas de produção, como a tinta a base de água, primeira da América Latina, que se compõe de esmaltes hidrossolúveis, diminuindo drasticamente a agressão ao meio ambiente.

A fábrica de Juiz de Fora adota os principais preceitos produtivos alardeados pelo globo. A filosofia Just in Time e suas melhores práticas são facilmente detectadas no cotidiano produtivo, a exemplo do Programa de Qualidade Total e Processos de Melhoria Contínua Kaizen.

Sobre a instalação do “Parque de Fornecedores” nos arredores da planta, verifica-se a utilização de conceitos de otimização de layout de fábrica, reduzindo a necessidade de geração de estoques intermediários, uma vez que o tempo de reposição dos componentes se torna muito menor. Além disso, essa ação assegura

uma maior sincronia e integração do processo produtivo da montadora, se enquadrando do sistema de produção puxada (*pull production*).

Sistema de Produção Puxada é definida como a produção dos artigos somente como exigida ou consumida pelo cliente e pela retirada do inventário conforme utilização na operação.

2.12 MONTAGEM BRUTA

2.12.1 Processo de montagem de Carrocerias

A montagem de carroceria possui alguns processos vitais, dos quais podem ser destacados:

- Abastecimento de linha;
- Verificação de componentes – Autocontrole;
- Montagem nos dispositivos;
- Processo de união de componentes – Soldagem e Colagem;

O abastecimento de linha é feito sob a ótica Kanban e conforme o seqüenciamento Fifo. As peças ficam armazenadas em um lote ideal nas células de produção e o reabastecimento é realizado quando o número mínimo de componentes necessários ao processo produtivo é atingido.

Posterior ao abastecimento, o operador de produção passa a ser o responsável pelas peças. Deve proceder a verificação dos lotes durante a produção, a fim de se evitar e eliminar que possíveis falhas passam vir a surgir no veículo em função de peças defeituosas presentes em sua estrutura. Trata-se do Autocontrole.

Realizada a verificação das peças a serem montadas, há o acomodamento desses itens nos dispositivos de montagem. Esses dispositivos são responsáveis por garantir que as medidas dimensionais da carroceria serão mantidas durante o processo de soldagem, reduzindo as chances de serem danificadas durante o manuseio ou mesmo amassadas pelas pinças de solda.

A próxima etapa consiste em mais dois processos principais: o de soldagem e o de colagem. Esses processos visam garantir a afixação estrutural das peças. As peças são montadas segundo a seqüência de produção dos processos de soldagem e colagem, seguindo a ordem abaixo:

- Assoalho principal
- Laterais da carroceria
- Montagem das portas
- Capô

- Tampa traseira

Em paralelo, existe a mobilização das áreas de apoio para garantir que os equipamentos mantenham a disponibilidade adequada, de modo a não acontecerem perdas de produção por uma eventual parada de funcionamento dos dispositivos de soldagem e colagem.

São realizados ainda testes com o intuito de garantir a qualidade da solda, um dos pontos analisados nos trabalhos do FMEA de soldagem realizado na empresa.

Após o termino da soldagem e colagem, a carroceria é direcionada para área de funilaria, responsável por fazer os ajustes finais e encaminhá-la para a próxima etapa de produção: a pintura.

Na área Montagem Bruta é realizada, basicamente, a montagem de subconjuntos que serão agregados à estrutura principal da carroceria, compondo a carroceria bruta do veículo.

Para o modelo de produção adaptado para o Classe C, a Daimler, em função do sistema CKD de produção, importa da Alemanha os componentes para o veículo e a fábrica de Juiz de Fora se encarrega apenas da montagem desses componentes.

O sistema de produção CKD é baseado na importação de kits de peças e subconjuntos que serão manufaturados longe de sua origem, normalmente em filiais espalhadas ao redor do globo.

É uma prática comum entre fabricantes de automóveis a venda de jogos do CKD a suas filiais estrangeiras a fim evitar impostos de importação elevados e/ou receber benefícios fiscais pela utilização da mão-de-obra local.

2.12.2 Processo Classe A

A Montagem Bruta em Juiz de Fora foi concebida de modo a permitir maior cadência ao fluxo produtivo, adotando o modelo de *layout* conhecido por “Espinha de Peixe”. Nele, os subconjuntos são montados em paralelo à linha de produção principal, estabelecendo assim a cadência adequada para se perfazer a produção planejada.

A Montagem Bruta é dividida basicamente em três partes principais:

- **Unterbau** – Linha de Montagem da Estrutura Inferior – linha onde é produzida a maior parte dos subconjuntos. Nesta linha temos o menor grau de automatização do processo, cerca de 8%.
- **Aufbau** – Linha de Montagem da Estrutura Superior – considerado o “coração” da Montagem Bruta devido à importância do processo realizado na mesma. Nessa parte do processo há a definição do dimensional da estrutura superior da carroceria, que é garantido através de duas estações de geometria. Esta

linha conta com apenas quatro subconjuntos e é a linha mais automatizada da Montagem Bruta: cerca de 80% do processo de soldagem é realizado por robôs. Nas estações de geometria são realizadas as uniões das laterais internas e travessas do teto com a estrutura inferior formando a “Armação” da carroceria e a soldagem das laterais externas com o teto. São ao todo 18 robôs que podem trabalhar simultaneamente, garantindo a qualidade do processo de soldagem e o dimensional da carroceria. Entende-se por dimensional da carroceria a manutenção da integridade geométrica do veículo, perfazendo um *design* sem alterações, de modo que seja possível explorar o máximo desempenho aerodinâmico definido em projeto.

- **Finish** – Linha de Montagem Final “Partes Móveis” – É a linha de montagem onde são agregadas à carroceria todas as partes móveis, as portas e o capô. A montagem dessas partes móveis é feita manualmente com o auxílio de dispositivos pneumáticos que facilitam a montagem e garantem os ajustes dimensionais. É nesta linha que é feita a inspeção final da carroceria antes que a mesma siga para o processo de pintura.

Atualmente o modelo Classe A não é mais produzido em juiz de fora, sua produção foi encerrada em meados de junho de 2005, dando inicio ao processo de modificação da linha de montagem, com troca de dispositivos pneumáticos e de solda, reprogramação dos robôs, adequação dos *puffers*, entre outras.

Essas adaptações são ações definidas para atender ao novo modelo a ser produzido em Juiz de Fora: o Classe C.

2.12.3 Processo Classe C

O conceito da linha de Montagem Bruta do Classe C é semelhante a do Classe A, difere-se somente pela não montagem de subconjuntos na planta de Juiz de Fora.

Essa estratégia, conforme mencionado anteriormente, compõe as definições do sistema de produção baseado no CKD. Além disso, o sistema CKD propõe zero grau de automação do processo, fato esse que é parcialmente atendido em Juiz de Fora.

Assim como no Classe A, para o Classe C a linha de produção é dividida em 3 agrupamentos:

- Montagem do Assoalho – É composta de 04 estações de soldagem. Nela são soldados o assoalho traseiro, o assoalho central e o painel frontal.
- Montagem do Fechamento – É composta basicamente por 02 estações de geometria, onde são soldados as laterais internas, externas e a chapa do teto.

Existem ainda nesse ponto do processo 05 estações de complemento de solda, que se encarregam de cerca de 60% dos pontos de solda do veículo. Nessas estações, existem ao todo 08 robôs – fato que descaracterizaria um Sistema CKD de Produção, entretanto, trata-se do reaproveitamento de ativos já presentes na planta quando da produção do Classe A.

- Ajustes e Acabamento Final – São 02 estações de montagens das portas, dobradiças, capô, tampa traseira e furação da lente da lanterna. Existem ainda 03 estações de ajustes de funilaria e ajustes dimensionais.

O presente processo produtivo do Classe C é resultado de uma mescla do modelo implementado para o Classe A ao Sistema CKD de Produção, integralizando uma linha de produção contínua.

2.13 Ferramentas de Apoio à Qualidade na DCBR

Atualmente, todas as ferramentas de apoio à qualidade se fazem presente dentro do Sistema de Produção SPJ através do conjunto de práticas descritos abaixo:

- Auditoria de Sistema (VDA 6.1) – Norma de Qualidade Alemã criada para atendimento as necessidades específicas das indústrias automobilísticas, a exemplo da QS9000. É caracterizada por órgãos certificadores, como BVQI, como um das normas mais completas e rígidas, voltada à Gestão do Sistema da Qualidade. Esta prática já estava presente na fábrica desde meados de 2000 após recomendação da certificação da mesma pelo BVQI.
- Auditoria de Processo (VDA 6.3) – Norma de Qualidade Alemã baseada na VDA 6.1 com foco isolado nos processos produtivos. Trata-se da verificação da adequação dos processos estabelecidos para a produção dos veículos e da eficácia dos processos auxiliares, como abastecimento, círculos de controle da qualidade, entre outras formas de se garantir um produto isento de falhas.
- Portal Falha Zero (PFZ) – Postos de trabalho localizados estrategicamente ao longo das linhas de produção, que têm o propósito de evitar que qualquer falha de um processo passe para outra etapa. Nestes postos, os colaboradores fazem uma inspeção em 100% dos produtos. A cada falha encontrada, deve-se realizar: ação corretiva, identificação da origem da falha para evitar reincidências, registro para controle e análise da falha. É importante destacar que o recurso do PFZ é um aparente contra-senso ao sistema de produção isento de falhas, uma vez que durante as etapas do processo produtivo existem as práticas de autocontrole. Entretanto, trata-se de um recurso

interessante quando o objetivo é a contenção de surtos de falhas não identificadas, ocorrendo, portanto, de maneira sazonal.

- PDCA na Produção – Controles baseado no círculo de Deming instalados em diferentes níveis da produção. O objetivo é promover análises sistemáticas e rápidas das falhas ligadas ao processo.
- Análise de Causa – Método aplicado para diferenciar características e causas de falhas. É recorrente a utilização do Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Espinha de Peixe).
- Poka Yoke – Criação de mecanismos de proteção contra erros visando a produção sem retrabalhos. Os dispositivos Poka Yoke são como “guias”, que orientam o movimento do operador, por exemplo, evitando que haja falha de montagem, ou de posicionamento dos pontos de solda.
- Processo de soluções de problemas – Processo sistemático para identificação e solução de problemas críticos que não foram solucionados através das práticas dos Portais Falha Zero ou do PDCA na Produção.

Cada uma das práticas apresentadas anteriormente é eficaz quando tratam algum tipo de anomalia característico. Entretanto, quando o ambiente tem um grande aparato de mudança, em face da vinda de um novo projeto, por exemplo, ações de maior escala e com maior grau de sistematização devem ser tomadas.

Nesse contexto é que são desenvolvidos e adaptados os conceitos que seguem:

- FMEA de Projeto – FMEA realizado na fase de projeto do produto por uma equipe multidisciplinar, composto normalmente por engenheiros de produto, engenheiros de processo, fornecedores e especialistas da qualidade.
- FMEA de Processo – FMEA realizado também na fase de projeto do processo e possui como principal *input* os resultados do FMEA de Projeto. É realizado por time multidisciplinar composto normalmente por engenheiros de processo, engenheiros de manutenção, engenheiros de produção, fornecedores, especialistas das áreas da qualidade e colaboradores da produção.
- Engenharia Simultânea – Aplicada basicamente na introdução de novos produtos ou modificações do produto em série. Um grupo multidisciplinar formado por representantes dos departamentos de Vendas, Compras, Logística, Produção, Qualidade e Engenharia de Produto é responsável por garantir que todas as fases do projeto de mudança do produto sejam

analisadas, identificando e minimizando o impacto ou risco que cada uma delas possa apresentar para a empresa.

2.13.1 O Processo de Soldagem na Montagem Bruta:

O processo de soldagem a ponto por resistência tornou-se o de maior utilização nos segmentos industriais de fabricação automotiva. Seguramente responde nesse segmento, pela quase totalidade das uniões soldadas. Assim sendo, a seguir serão abordados conceitos básicos que norteiam o processo de soldagem a ponto por resistência e algumas das técnicas de controle utilizadas para a garantia da qualidade de solda.

Atualmente o processo de soldagem é um dos principais processos dentro da montagem bruta, pois é através da solda que podemos avaliar a qualidade das carrocerias.

Solda a ponto é o processo que permite unir duas ou mais peças metálicas através de uma pequena área localizada, por meio da aplicação de calor e pressão. O calor usado é resultante da resistência do metal ao fluxo de uma corrente elétrica, num circuito do qual a própria peça é parte integrada.

O fluxo de corrente, que gera o calor, e a pressão necessária para manter esse contato é possibilitado pelo equipamento de soldagem através de pontas metálicas à base de cobre, denominadas eletrodos. Não existe fonte externa de calor, e não são usados fluxos (materiais que facilitam a deposição), nem metal de adição (material metálico a ser depositado durante o processo de soldagem). A zona termicamente afetada é extremamente reduzida.

Os meios de controle da qualidade são utilizados para garantir que esses pontos de união apresentem características de resistência a esforços conforme padrões estabelecidos pela engenharia de fabricação do produto.

A soldagem a ponto se faz basicamente pela passagem de corrente elétrica através dos materiais a serem soldados e que se encontram posicionados e pressionados entre dois pólos (eletrodos).

A corrente elétrica é, usualmente, fornecida por um transformador de solda que converte a corrente de alta voltagem e baixa amperagem para baixa voltagem e alta amperagem. A alta voltagem é geralmente de 480 Volts no primário do transformador, enquanto que a corrente primária é de 100 a 2000 Ampéres, dependendo do trabalho que está sendo efetuado e do equipamento que está sendo utilizado.

Por exemplo, pequenas peças de chapas finas, poderão precisar de uma baixa voltagem (3 Volts), e uma corrente de até 9000 Ampéres. Por outro lado, uma junção

de chapas grossas poderá exigir uma máquina mais potente (tensão, por exemplo, de 30 Volts) para se obter uma corrente da ordem de 30000 Ampéres ou mais.

A representação elétrica do sistema de soldagem pode ser vista no esquema abaixo:

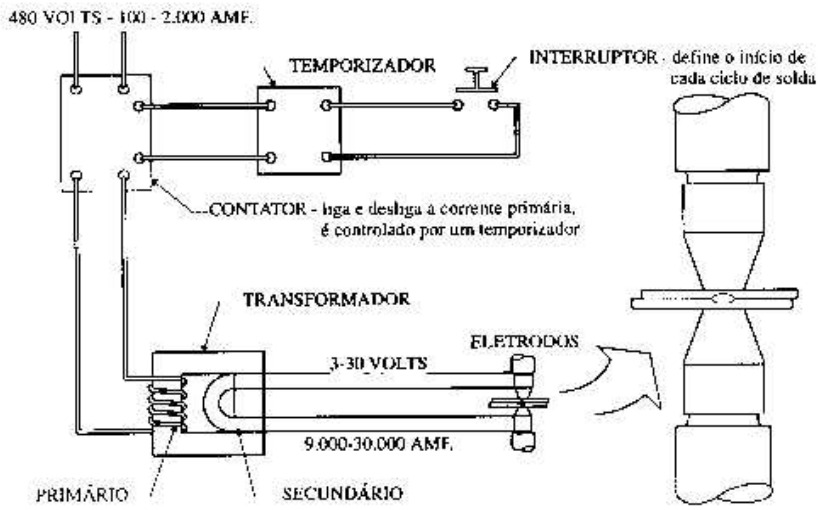


Figura 4 – Esquema elétrico da solda a ponto

FONTE: Apostila de Soldagem por Resistência DaimlerChrysler (2003)

O processo de soldagem na Montagem Bruta é conduzido por especialista que possuem atribuições como: programação de soldagem, manutenção dos equipamentos de soldagem, manutenção preventiva, documentação e controle dos parâmetros de solda.

O presente estudo irá apresentar um Fmea aplicado a área de soldagem por resistência visando antecipar todas as possíveis falhas em equipamentos, variações no processo, a interferência do fator humano, entre outros.

Capítulo III
FMEA DE SOLDAGEM

3.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO

Na DaimlerChrysler, as atividades do Grupo de FMEA de Soldagem foram planejadas com base nos preceitos previamente expostos.

Dessa maneira, os grupos percorreram as cinco etapas descritas nos tópicos de 2.4 a 2.8, com o intuito de perfazer as atividades de melhoria.

O planejamento da atividade FMEA foi baseado no encadeamento proposto pela companhia para o Processo de Desenvolvimento do Produto.

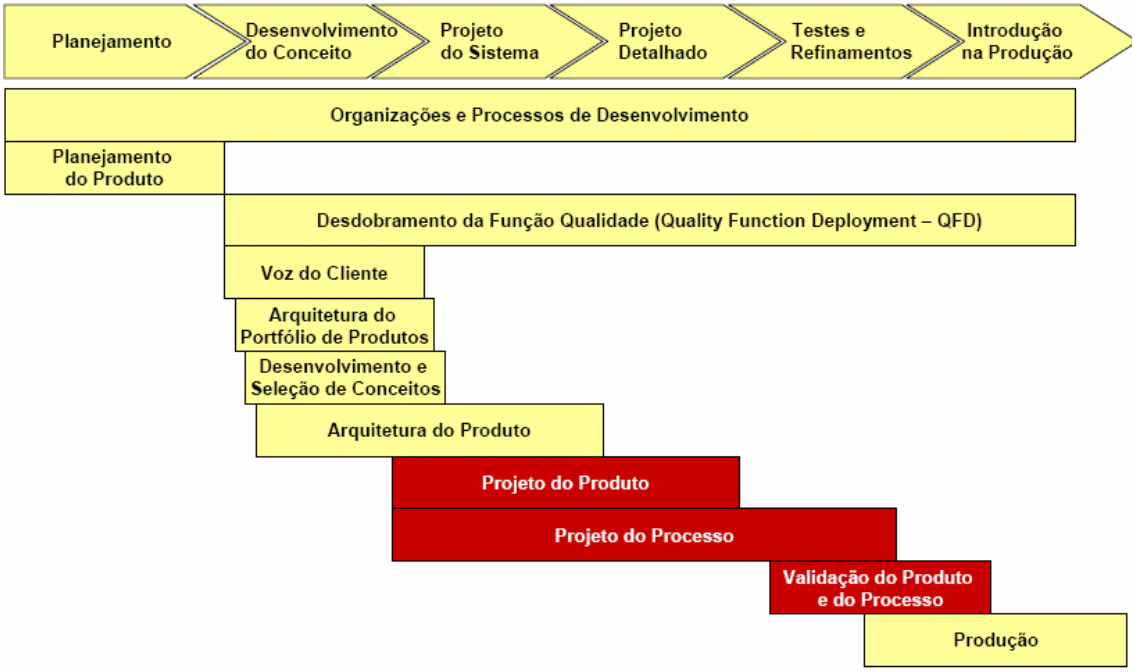


Figura 5 - Síntese do Processo de Desenvolvimento do Produto na DaimlerChrysler

3.2 OBJETIVOS E CARACTERÍSTICAS

Ao se propor a realização do FMEA na empresa, os gestores e os principais parceiros da Daimler possuíam uma lista de necessidades que deveriam ser atendidas. A citar:

- Identificar e classificar as falhas potenciais do novo processo produtivo;
- Identificar as causas das falhas potenciais;
- Delinear ações corretivas para reduzir e eliminar as falhas potenciais;
- Manter o registro técnico das análises.

Algumas características da atividade FMEA colaboram para que haja uma grande intenção por parte dos principais parceiros comerciais do Grupo para a sua execução.

O FMEA não é mecanismo para Solução de Problemas, todavia, indica as principais oportunidades de melhoria do processo e do produto, sobretudo em função de sua exaustiva preocupação com todas as interfaces do processo produtivo.

Sobre essas características que transformam essa metodologia em uma exigência em fase de concepção do Projeto/Produto, cabe destacar:

- Documento objetivo e coletivo de análise
- Assegura que os modos potenciais de falha e seus efeitos sejam suficientemente conhecidos e discutidos;
    - Permite o conhecimento detalhado do produto final, de seus subsistemas e componentes;
    - Permite organizar e resumir as percepções da equipe de projeto e analisar as possíveis fontes de problemas futuros.
- Ferramenta avançada para o planejamento da qualidade
    - Direciona ações: prioriza falhas potenciais de acordo com seus riscos
        - Prioriza informações de confiabilidade do produto;
        - Aumenta o conhecimento sobre a confiabilidade do produto;
        - Estabelece uma ordem para ações de melhoria.
    - Formato aberto
        - Agregação de técnicas para incorporar recomendações e ações de redução de risco.

3.3 EQUIPES PARTICIPANTES

Imbuídos dos preceitos de formação de equipes multidisciplinares para a execução do FMEA de Soldagem, a DaimlerChrysler destacou membros dos seguintes departamentos:

- **Pintura –** etapa subseqüente ao processo de Montagem da Carroceria Bruta e de forte impacto quando da ocorrência de falhas em etapas anteriores. Elevado grau de interface, sobretudo, mediante atuação conjunta com a própria Montagem Bruta para execução de retrabalhos;
- **Engenharia do Produto –** área responsável pelos requisitos técnicos dos equipamentos necessários para que o produto seja montado. Atuam

diretamente nos desenhos dos itens advindos de fornecedores corporativos e em sua adaptação para produção;

- **Manutenção –** equipe responsável pela garantia de funcionamento dos ativos envolvidos na produção dos itens da montadora;
- **Planejamento Motangem Bruta –** equipe responsável pelo Planejamento de Produção, importante por dominarem os assuntos relativos ao dimensionamento das equipes e dos ativos para perfazer o programa de produção;
- **Engenharia de Solda –** equipe da Montagem Bruta especialista em Soldagem e em equipamentos destinados a tal processo. Vitais por conhecerem de maneira ímpar as questões relacionadas ao tema do FMEA em questão;
- **Equipe de Produção –** operadores responsáveis pela execução das atividades produtivas na empresa. As equipes de produção são grandes afetadas em função de falhas no processo/produto, uma vez que são geradas necessidades adicionais de pessoal para realização de retrabalhos e conseqüente redução dos tempos de produção que o programa seja mantido.

3.4 COLETA DE INFORMAÇÕES

Nessa etapa, são reunidas as principais informações necessárias para o desenvolver das atividades relacionadas à aplicação da metodologia FMEA.

As equipes de marketing da empresa foram acionadas para que pudesse reunir as informações relativas às demandas dos clientes, incluindo levantamento de requisitos qualitativos, índices de falhas detectados nos serviços pós-venda e expectativas quanto a qualquer modificação estrutural do produto enquanto anseios dos clientes.

Dessa mesma área são solicitadas as informações relacionadas ao panorama do mercado, tais como informações sobre os produtos concorrentes e dados de assistência técnica.

Em verdade, a Pesquisa de Marketing desenvolvida pela empresa ao optarem pelo Projeto Classe C são *inputs* para o processo de melhoria e aperfeiçoamento dos Processos e dos Produtos da DaimlerChrysler, não perdendo de foco os requisitos dos clientes.

Além disso, a equipe de Qualidade é contatada para o levantamento dos requisitos normativos necessários para que o processo produtivo seja implementado adequadamente.

As equipes FMEA descritas no item 3.3 são responsáveis pela reunião dos dados relativos ao processo de produção até então vigentes para a produção do Classe A e em adaptação para o advento do Classe C.

É nesse momento que são definidos os Sistemas e as Estruturas dos Sistemas que fizeram parte dos trabalhos dos grupos FMEA (ANEXO 1).

3.5 TABELAS DE REGISTRO

Trata-se do agrupamento das informações levantadas na etapa anterior, acrescidas as funções de cada Sistema e Estrutura de Sistema definida e das Falhas e Modos de Falhas provenientes da interação dos mesmos.

Na DaimlerChrysler, assim como em todas as empresas que utilizam a metodologia FMEA, esse agrupamento de informações ocorrem em formulários que seguem os padrões das normas adotadas pela corporação. No presente trabalho, conforme citado anteriormente, o aporte normativo é o conjunto de práticas e padrões definidos na norma VDA 96.

O formulário é estruturado em torno do método 5W1H. Segundo o Instituto de Desenvolvimento Gerencial – INDG, o método 5W1H é um “tipo de Check-list utilizado para garantir que a operação seja conduzida sem nenhuma dúvida por parte da chefias e subordinados. Os 5W correspondem às seguintes palavras do inglês: What (o que); Who (quem); Where (onde); When (quando) e finalmente Why (por que). O 1H corresponde a How (como), ou seja, método a ser utilizado para conduzir a operação”.

As informações cadastradas na tabela de registro são tidas como estratégicas e, portanto, não são liberadas pela empresa.

Conforme mencionado em itens anteriores, em situações em que é necessária uma discussão mais abrangente com os fornecedores, por exemplo, apenas a Estrutura de Sistema em análise é enviada, minimizando assim que o know-how desenvolvido pela empresa seja “entregue” às suas possíveis concorrentes. Trata-se de uma prática com o intuito de preservar a propriedade intelectual gerada nos trabalhos de melhoria contínua da empresa.

O foco do presente trabalho é apenas analisar a metodologia de execução da Metodologia FMEA na DaimlerChrysler, assim como suas potencialidades e pontos de melhoria. Para ilustrar o formato da Tabela de Registro, segue o formulário recomendado pela norma VDA 96.

	F M E A							Number: 1.1	
	Process							Page:	
Type/Model/Fabrication/Load:			Item Code:		Responsible:			Created: 25/10/2005	
Processo de Soldagem			State:		Company:				
FMEA/System Element:			Item Code:		Responsible:			Created: 26/10/2005	
Processo de Soldagem de Pontos por Resistência			State:		Company:			Modified: 30/10/2005	
Potential Effects	S	Potential Failure Modes	Potential Causes	Preventive Actions	O	Detection Actions	D	RPN	Responsibility/ Target Completion Date
System Element: Processo de Soldagem de Pontos por Resistência									
Function: Proporcionar a fusão das chapas formando o ponto de solda									
Item 1									
Item 2									
Item 3									
Item 4									

Tabela 2 – Formulário FMEA (VDA 96)

FONTE: Formulário Eletrônico – IQFMEA – DaimlerChrysler (2004)

Para uma maior compreensão, seguem nos itens a seguir as descrições dos campos chaves da tabela acima:

- **System Element –** trata-se do elemento de sistema analisado. Para o caso do exemplo acima, o elemento de sistema analisado é o “Processo de Soldagem de Pontos por Resistência”;
- **Function –** campo destinado ao detalhamento da função exercida pelo Elemento de Sistema no Processo analisado;
- **Potential Effects –** caso o Elemento de Sistema não tenha alguma de sua função desempenhada adequadamente, surgirão os chamados Efeitos Potenciais. Para o exemplo acima, um efeito potencial que analisado pelo grupo do FMEA de Soldagem foi “Não formação do Ponto de Solda entre as Chapas”.
- **S –** Trata-se da Severidade do Efeito. Nesse campo, utiliza-se uma escala numérica para a classificação segundo a percepção da equipe FMEA. Veja na tabela abaixo a escala de pontuação adota pela DaimlerChrysler:

Efeito	Critério: Severidade do Efeito	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Pode pôr em perigo o operador da máquina ou montador. Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança do cliente e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Pode pôr em perigo o operador da máquina ou montador. Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança do cliente e/ou envolve não-conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Grande interrupção na linha de produção. 100% da produção deve ser sucatada. O produto está sem condições de uso, com perda das funções primárias. Cliente muito insatisfeito.	8
Alto	Pequena interrupção na linha de produção. O produto deve ser selecionado e uma parte (menor que 100%) deve ser sucatada. O produto está com condições de uso, mas com desempenho reduzido. Cliente insatisfeito.	7
Moderado	Pequena interrupção na linha de produção. Uma parte (menor que 100%) dos produtos devem ser sucatados (sem seleção). O produto está com condições de uso, mas causa desconforto ou inconveniência ao Cliente.	6
Baixo	Pequena interrupção na linha de produção. 100% dos produtos devem retrabalhados. O produto está com condições de uso, mas causa algum tipo de desconforto ou inconveniência ao Cliente - que sente alguma insatisfação.	5
Muito baixo	Pequena interrupção na linha de produção. O produto deve ser selecionado e uma parte (menor que 100%) retrabalhada. Forma e aparência do produto não-conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Pequena interrupção na linha de produção. Uma parte (menor que 100%) dos produtos deve ser retrabalhada na hora, mas fora da estação. Forma e aparência do produto não-conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito menor	Pequena interrupção na linha de produção. Uma parte (menor que 100%) dos produtos deve ser retrabalhada na hora, mas dentro da estação. Forma e aparência do produto não-conforme. Defeito notado por clientes muito exigentes.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Tabela 3 – Índice de Severidade do Efeito

FONTE: Norma VDA 4 (1996)

- **Potential Failure Modes –** nesse campo, são ordenados os Modos de Falha Potenciais dos problemas, das não conformidades. É uma das etapas mais importantes do estudo, guiada por duas diretrizes principais:
    - Listagem, com todo o conhecimento técnico possível, das causas do modo de falha;
    - Listagem completa e concisa.
        - Um Modo de Falha Potencial para o exemplo em questão poderia ser “Ausência de Práticas de Manutenção Produtiva Total (TPM) na Pinça de Solda”
- **Potential Causes –** é a falha, ou disfunção, propriamente dita. As disfunções são conseqüências diretas do não cumprimento de alguma etapa, atividade ou ação essencial para que a Estrutura de Sistema opere adequadamente. Uma provável falha dos exemplos citados acima seria, por exemplo, “Falha do Componente Pneumático da Pinça de Solda”. Essa falha impediria o emprego de uma força de fechamento adequada às chapas, reduzindo a resistência do material à passagem de corrente, reduzindo assim a formação do núcleo para a fusão das chapas;

- **Preventive Actions –** são as ações delineadas para se evitar a ocorrência das falhas nas estruturas analisadas. No exemplo escolhido para contextualização, uma ação preventiva naturalmente desenhada seria “Realização de Manutenção Produtiva Total nos componentes Pneumáticos da Pinça de Solda”;
- **O –** Probabilidade de ocorrência de uma causa. A redução da probabilidade de ocorrência, em geral, exige alterações no projeto. Trata-se em uma escala numérica, em que os critérios de pontuação são determinados por fatores como:
    - Experiências de campo;
    - Relação com versões anteriores do item;
    - Alterações das condições de uso;
    - Estimativas numéricas das taxas de falha.

  A tabela a seguir, apresenta as escalas numéricas de pontuação desse critério:

Probabilidade de falha	Taxas de falha possíveis	Cpk	Índice de Ocorrência
Muito alta: A falha é quase inevitável	≥ 1 em 2	< 0,33	10
	1 em 3	≥ 0,33	9
Alta: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas freqüentes	1 em 8	≥ 0,51	8
	1 em 20	≥ 0,67	7
Moderada: Geralmente associada a processos similares aos anteriores que apresentaram falhas ocasionais, mas não em maiores proporções	1 em 80	≥ 0,83	6
	1 em 400	≥ 1,00	5
	1 em 2.000	≥ 1,17	4
Baixa: Associada a processos similares que apresentaram poucas falhas	1 em 15.000	≥ 1,33	3
Muito Baixa: Associada a processos quase idênticos que apresentaram apenas falhas isoladas	1 em 150.000	≥ 1,50	2
Remota: Falha é Improvável. Processos quase idênticos nunca apresentaram falhas.	≤ 1 em 1.500.000	≥ 1,67	1

Tabela 4 – Probabilidade de Ocorrência da Falha

FONTE: Norma VDA 4 (1996)

- **Detection Actions –** são os meios ou práticas disponibilizados pela empresa com o intuito de identificar a ocorrência das falhas de produto ou de processo. Na Daimler, existe uma prática de Auditorias Amostrais do Produto, conhecida por BPA. Nessa atividade, são vistoriados os pontos de solda do produto e classificados quanto a sua qualidade. Para o exemplo em análise, a Auditoria de Produto – BPA é uma ação de detecção a ser traçada;

- **D –** trata-se da avaliação da detecção do modo de falha na Estrutura de Sistema analisada. É uma estimativa da habilidade dos controles definidos pela empresa em detectar as causas das falhas. Segue a escala numérica utilizada para sua classificação na Daimler:

Detecção	Critério: Existência da probabilidade de um defeito ser detectado antes do próximo controle de processo ou no processo subseqüente, ou antes que a peça ou o componente deixem o local de manufatura ou montagem.	Índice de Detecção
Quase impossível	Não conhecido(s) controle(s) disponível(is) para detectar o modo de falha.	10
Muito remota	Possibilidade muito remota que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	8
Muito baixa	Possibilidade muito baixa que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	7
Baixa	Possibilidade baixa que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	5
Moderadamente alta	Possibilidade moderadamente alta que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	4
Alta	Possibilidade alta que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	3
Muito alta	Possibilidade muito alta que o(s) controle(s) atual(is) irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controle(s) atual(is) quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção são conhecidos em processos similares.	1

Tabela 5 – Avaliação da Detecção

FONTE: Norma VDA 4 (1996)

- **RPN –** é a quantificação do Risco de surgimento do Modo de F alha Potencial e suas disfunções no Elemento de Sistema analisado. Possui as seguintes características:
    - É indicador de priorização das melhorias;
    - Segue o seguinte cálculo: **Risco = Severidade x Ocorrência x Detecção**;
    - Pode variar de 1 a 1000 segundo as escalas apresentadas;
    - As causas de maior risco são priorizadas para a correção.

3.6 PRIORIZAÇÃO, OTIMIZAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

Findados os passos acima, as ações de melhoria são implementadas e controladas.

A priorização é importante para que os esforços sejam concentrados em Elementos de Sistemas cuja disfunção acarrete maior impacto negativo no Processo Produtivo.

Uma vez que as ações sejam conduzidas, o formulário FMEA apresentado anteriormente deve ser revisto, gerando um novo valor para o RPN.

Assim, uma nova rodada de priorizações de acontecer e os grupos de trabalho passarão a ter novos planos de ações para melhoria do processo. Essa é a sistemática de Otimização, característica marcante que classifica a Metodologia FMEA como um “documento vivo”, suscetível a constantes atualizações.

O acompanhamento e a atualização ficam a cargo do Responsável Técnico, cabendo a ele determinar a lógica de monitoramento e os ciclos de revisão ao FMEA.

3.7 RESULTADOS E FALHAS POTENCIAIS

A utilização da metodologia FMEA é prática constante do cotidiano da DaimlerChrysler.

O conjunto de recomendações dessa sistemática de análise de falhas conduziu à reunião dos principais resultados alcançados mediante a realização dos Grupos FMEA. A citar:

- Levantamento de possíveis falhas;
- Acompanhamento “vivo” das ações preventivas/corretivas;
- Otimização dos processos;
- Redução do índice de retrabalhos e reprojetos;
- Redução de prazos e de custos de desenvolvimento;
- Redução das reclamações dos clientes;
- Manutenção/elevação da satisfação do cliente;
- Manutenção/elevação da imagem da organização.

Entretanto, para que tais resultados sejam alcançados, existem algumas características que devem ser abolidas dos grupos FMEA:

- Equipes de uma pessoa só;
- FMEA de Fachada – apenas para satisfazer a um requisito contratual, não para melhoria;
- FMEA Morto – não é revisto e nem revisado durante a vida útil do produto;
- FMEA Burocrata – percebido como muito complicado ou que demande muito tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de desenvolvimento do pensamento sistêmico não deve ser considerado como um fim em si mesmo, ao contrário, deve servir às organizações garantindo-lhes elementos capazes de torná-las hábeis a enfrentar a competitividade dos mercados em que atuam.

A DaimlerChrysler atravessa um momento que caracteriza a formação dos valores componentes de uma nova cultura, a qual traz em sua herança estilos de gestão diferentes e muitas vezes conflitantes. Em face da intensificação da competição industrial no segmento automotivo a cada ano é necessária a contínua redução dos custos de produção dos veículos.

Assim, a crescente aplicação de novas tecnologias aplicadas ao veículo e as exigências de uma competição acirrada torna imprescindível a inserção da manufatura em um sistema de produção que englobe práticas ou ferramentas que possam tornar eficiente e auxiliar o alcance das metas e superação de desafios. Estas práticas e ferramentas orientam os processos de forma ordenada e sistêmica desde o desenvolvimento do produto, influenciando diretamente no processo produtivo.

A necessidade de se implantar ferramentas da administração monitorando a função qualidade, partiu basicamente de uma estratégia empresarial, visto que desde a concepção da unidade a mesma já foi fundamentada em pilares que assegurariam, através de uma vivência e formação, a criação de um sistema mais robusto e baseado em fundamentos mais voltados à lucratividade, redução de custos e, sobretudo, melhorias contínuas.

Para a unidade produtiva de Juiz de Fora, é importante a percepção do sistema FMEA não apenas como a determinação de planos que orientem sua performance, mas também como observação dos padrões de ação executados ao longo dos anos, como forma de potencializar o aprendizado organizacional para a perpetuação dos acertos e a correção dos desvios ocorridos no processo sistêmico.

A compreensão do sistema, bem como sua criação e implantação na empresa, devem obrigatoriamente contemplar as interações políticas que permeiam o ambiente de uma corporação de classe mundial, alinhando interesses e criando coalizões que conduzam ao alcance das metas corporativas.

A metodologia FMEA proporciona à DaimlerChrysler uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas nos produtos e processos; um melhor conhecimento dos problemas nos produtos e processos; reunir as ações de melhoria no projeto do produto ou processo, baseado em dados, permitindo o devido monitoramento (melhoria contínua); diminuição de custos por meio da prevenção da

ocorrência de falhas e o benefício de incorporar, dentro da organização, a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação, o trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARSHALL JUNIOR, I., CIERCO, A.A., ROCHA, A.V., MOTA, E.B., 2003, *Gestão da Qualidade.* 2. ed. Rio de Janeiro, Editora FGV.

Instituto de Desenvolvimento Gerencial, Glossário de Termos, http://www.indg.com.br/info/glossario/glossario.asp?m (consulta em 08/12/2005).

Mercedes-Benz do Brasil S.A., Rolamentos FAG Ltda., Volkswagen do Brasil Ltda., 1996, *Gerenciamento do Sistema da Qualidade na Indústria Automobilística.* 1. ed. São Paulo, Instituto da Qualidade Automotiva.

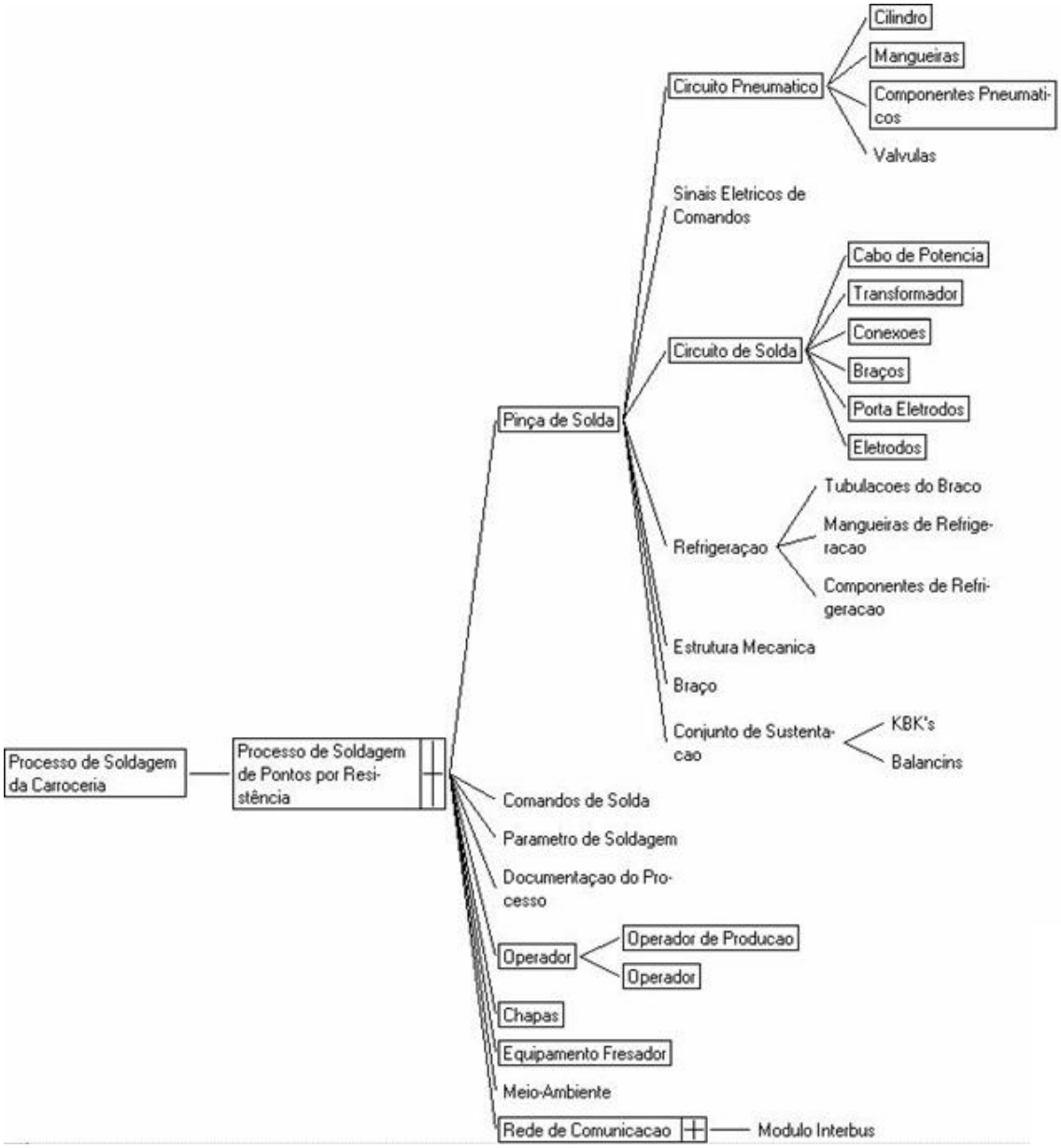
CASAROTTO FILHO, N., FÁVERO, J.S., CASTRO, J.E.E., 1999, Gerência de Projetos/Engenharia Simultânea. 1. ed. São Paulo, Atlas S.A.

AKAO, Y., 1996, Introdução ao Desdobramento da Qualidade. Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG.

AKAO, Y., 1990, Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Portland, OR. Productivity Press Inc.

AKAO, Y., MIZUNO, S., 1994, QFD – The Customer-Driven Approach to Quality Planning and Deployment. Tóquio. Asian Productivity Organization.

BALLOU, R. H., 2001, Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. São Paulo, Ed. Bookman Companhia

ANEXOS

ANEXO 1 – Diagrama de Blocos