

Um estudo de aplicação do método FMEA: pesquisa-ação em um processo de fabricação de uma empresa de grande porte do setor metal mecânico**A study in application of FMEA: action research in a manufacturing process of a large-sized company in the metalmechanic sector**

10.34140/bjbv2n3-004

Recebimento dos originais: 20/05//2020

Aceitação para publicação: 20/06/2020

Alessandro de Oliveira Júnior

Engenheiro de Produção pela Universidade de Araraquara (UNIARA)

Instituição: Universidade de Araraquara (UNIARA)

Endereço: Rua Voluntários da Pátria, 1309, Centro, Araraquara/SP - CEP 14801-320

E-mail: oliveira.junior.engenharia@gmail.com

Ethel Cristina Chiari da Silva

Doutora em Engenharia (área de concentração: Engenharia Mecânica) pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP)

Instituição: Universidade de Araraquara (UNIARA)

Endereço: Rua Voluntários da Pátria, 1309, Centro, Araraquara/SP - CEP 14801-320

E-mail: e-chiari@uol.com.br

José Luís Garcia Hermosilla

Doutor em Engenharia (área de concentração: Engenharia Mecânica) pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP)

Instituição: Universidade de Araraquara (UNIARA)

Endereço: Rua Voluntários da Pátria, 1309, Centro, Araraquara/SP - CEP 14801-320

E-mail: jlghermosilla@hotmail.com

RESUMO

As empresas atualmente enfrentam vários desafios e dificuldades. Desafios de inserção de novos produtos e dificuldades para se manterem estáveis em um mercado altamente competitivo e garantirem o sucesso empresarial. A utilização de ferramentas da qualidade para a redução de custos decorrentes da falta de qualidade pode ajudar nesta busca pelo sucesso. O objetivo deste artigo é apresentar um estudo sobre a aplicação do FMEA (Failure Mode and Effect Analysis ou Análise dos Modos e Efeito de Falhas) em um processo de fabricação, em uma empresa de grande porte do segmento metal mecânico, detalhando o processo de implantação do FMEA e o resultado alcançado. Durante o processo de desenvolvimento do FMEA, a ferramenta foi além do esperado, revelando modos de falhas em potencial, antes não documentadas e formalizadas, contribuindo com a melhoria do processo e principalmente mostrando que uma ação pode ocasionar grandes efeitos ao cliente e também ao próprio fabricante.

Palavras-chave: Análise de modos de falhas e efeitos, processo de melhoria, qualidade, pesquisa ação.

ABSTRACT

Companies face various challenges and difficulties nowadays. The challenges are related to creating new products and the difficulties are related to remaining stable in a highly competitive market and ensuring business success. The quality tools that are used to reduce costs from the lack of quality can help companies to reach their goal in this process. The aim of this article is to describe the application of FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) in a manufacturing process from a large company of the mechanical metal segment and show details about its implementation process and its results. It was observed that the FMEA development process went beyond what it was expected. The tool revealed potential failure modes that were not previously documented and formalized, and this contributed to the improvement of the process. Results like that showed that an action can cause great effects to the customer and to the manufacturer himself.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis, improvement process, quality, action research.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Campos (1992) ser competitivo é ter maior produtividade em relação aos seus concorrentes, sendo uma forma de garantia de sua sobrevivência na disputa pelo mercado. O autor relata que a competitividade depende da produtividade, e esta deve estar ligada à qualidade dos produtos e processos. Para esta relação gerar bons resultados é necessário que os processos de fabricação e desenvolvimento do produto, sejam controlados de modo a detectar defeitos e falhas. (HELMAN, ANDERY, 1995).

Relacionando a confiabilidade com a qualidade, Juran e Gryna (1991), definem que a confiabilidade de um produto ou processo é resultado do desempenho da função de ambos, em um determinado período de utilização sem apresentar falhas.

Segundo Craig (2004), um sistema de gestão de qualidade com o foco em ações preventivas é vital para se reduzir custos com a qualidade e ainda atender as exigências do cliente. Chrysostom e Dwivedi (2013) citando vários autores colocam que atualmente o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise dos Modos e Efeito de Falhas) vem sendo utilizado em diversos setores industriais, como ferramenta de análise e também como segurança, já que seu objetivo é a identificação de modos de falha antes que os mesmos ocorram, com isso resultando em ganho de produtividade, qualidade e satisfação do consumidor final.

Palady (2007), afirma que o FMEA, é uma técnica de baixo risco e alta eficiência para prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custo.

O objetivo deste artigo é apresentar um estudo sobre a aplicação do FMEA em um processo de fabricação, em uma empresa de grande porte do setor metal mecânico, localizada no interior do Estado de São Paulo. Este estudo detalha o processo de implantação do FMEA. Para atender ao objetivo proposto o trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e pesquisa-ação.

O trabalho foi organizado em 5 seções mais as referências. A seção 1 é introdutória e traz o contexto, importância e objetivo da pesquisa. A seção 2 traz a revisão bibliográfica sobre o método FMEA; a seção 3 aborda o método da pesquisa, classificando-a e expondo os procedimentos operacionais adotados. A seção 4 detalha o estudo realizado na empresa e a seção 5 as conclusões e considerações finais do trabalho, e por fim, apresenta-se a lista das obras referenciadas no texto.

2 ANÁLISE DOS MODOS E EFEITO DE FALHAS (FMEA)

De acordo com Bastos (2006, p.2), o método FMEA “surgiu por volta de 1949 e destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos do exército americano”.

Zambrano e Martins (2007, p. 297) colocam que,

o FMEA consiste em identificar as falhas prováveis em projetos ou processo, estabelecer as prioridades para o tratamento das falhas e implementar as ações recomendadas. Posteriormente, deve-se analisar se as ações recomendadas diminuíram a probabilidade de ocorrência da falha. Desta forma, a constante aplicação do FMEA resultará na melhoria contínua da organização.

Segundo Palady(2007) o método FMEA depois que aplicado corretamente, pode proporcionar grandes benefícios à empresa, aos processos de fabricação e seu desenvolvimento, tais como: aperfeiçoar recursos como dinheiro gasto no desenvolvimento de projetos/produtos ou sistemas e consequentemente tempo, servir como um roteiro para planejamento de atividades mais eficazes e eficientes, proporcionar ideias para testes inclusos ao projeto, reduzir e eliminar as alterações de engenharia no decorrer da produção/processo amplificar a satisfação do cliente, reduzir/eliminar gastos desnecessários e não planejados, utilizar como bancos de dados todas as informações contidas no FMEA a fim de aproveitá-las como lições aprendidas.

Palady (2007) coloca que, por volta da década de 60 dois tipos de FMEA surgiram, o FMEA de projeto (DFMEA – *Design Failure Modes and Effects Analysis*) e o FMEA de processo (PFMEA – *Process Failure Modes and Effects Analysis*). O mesmo autor acrescenta que diversas versões, variações e formulários de FMEA surgiram dentro destes dois tipos que compartilham os mesmos objetivos, dentro destas variações surgiram o FMEA de Serviço e o FMEA de Sistema. Destes quatro tipos de FMEA, este artigo irá apresentar a aplicação do FMEA de processo.

Segundo Aguiar e Mello (2008, p.5),

FMEA de Processo pode ser classificado como um método analítico utilizado para detectar e eliminar problemas potenciais de forma sistemática e completa é aplicado pela equipe responsável pela manufatura com a finalidade de assegurar que seja realizada avaliação dos modos de falha no processo e consequente definição dos mecanismos de controle.

De acordo com Palady (2007) uma única pessoa, normalmente, pode ser responsável pela coordenação do processo do FMEA, porém todos os projetos FMEAs devem ser elaborados e conduzidos por uma equipe. Para o mesmo autor, para que o formulário de FMEA possa ser preenchido a equipe faz uso de ferramentas como Brainstorming, Ishikawa, Gráfico de Dispersão, Gráfico de Pareto. A seguir na Figura 1, Palady (2007) apresenta um exemplo de formulário de FMEA.

Figura 1 – Formulário FMEA.

FMEA – Análise de Efeitos e Modos de Falha									
				Cabeçalho #1					
Funções #2	Modo de Falha #3	Efeitos #4	Severidade #5	Causas #6	Ocorrência#7	Controle #8	Deteção #9	Ações Recomendadas #10	Status #11

Fonte: adaptado de Palady (2007 p. 43).

A fim de se entender o que significa cada campo do formulário, Palady (2007) descreve:

- (1) **Cabeçalho:** preencher as informações necessárias para o processo, como a descrição do FMEA, os membros da equipe, a data original;
- (2) **Funções:** cada etapa do processo é nomeada como funções. Deve ser preenchida conforme a ordem do processo;
- (3) **Modo Potencial de Falha:** os modos de falha descrevem como o projeto, processo ou serviço deixam de desempenhar as funções definidas na coluna anterior;
- (4) **Efeito:** nesta coluna é descrita as consequências dos modos de falha, o que o cliente pode sentir quando esse modo de falha potencial ocorre, definindo o impacto de cada modo de falha para o cliente, podendo ser interno ou externo;
- (5) **Severidade:** é a gravidade do efeito do modo de falha, medida em uma escala de 1 a 10. O número 1 indica que o efeito não é sério aos olhos do cliente, ou que o cliente talvez nem perceba o efeito. O número 10 reflete os piores efeitos ou consequências do modo de falha;
- (6) **Causas dos modos de falha:** identificam as razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha, listando todas as causas ou razões possíveis que poderiam resultar em cada modo de falha;
- (7) **Ocorrência:** segundo Palady (2007, p. 69) “qual é a chance dessa causa estar realmente ocorrendo? Normalmente medida de em uma escala de 1 a 10”;

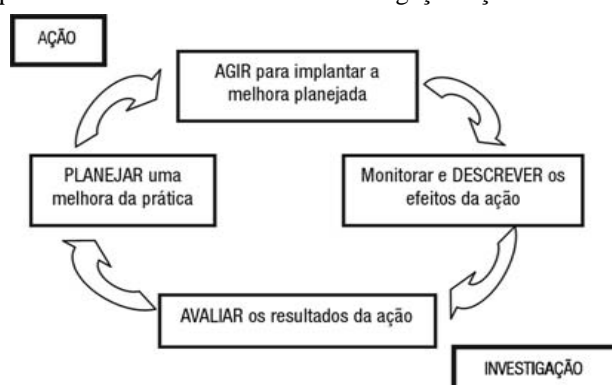
- (8) **As formas de controle:** para preencher essa coluna, a equipe deverá listar quais tipos de controle foram planejados ou estão em vigor garantindo que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados. Exemplo: CEP (Controle Estatístico do Processo), auditoria de processo, plano de inspeção, capacidade do processo;
- (9) **Detecção:** para essa coluna, é necessário que a equipe defina a probabilidade de que cada modo de falha ser detectado antes de serem repassado aos próximos clientes. Geralmente, a detecção é medida em uma escala de 1 a 10, conforme Palady (2007);
- (10) **Ações recomendadas:** quais ações que devem ser providenciadas para que se possa prevenir os modos de falha, e evoluir em relação ao grau de detecção dos problemas antes que os mesmos possam chegar até o consumidor final;
- (11) **Status:** é o monitoramento das ações recomendadas, que estão sendo implementadas e certamente que demandam um custo para tais ações, portanto as ações devem ser gerenciadas de forma afunilada para que as mesmas não acabem gerando novos modos de falha.

3 MÉTODO DA PESQUISA

Este trabalho foi desenvolvido por meio de pesquisa bibliográfica e também por uma pesquisa ação que, segundo Thiollent (2009, p.14), “é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.”

Segundo Tripp (2005, p. 446) “a maioria dos processos de melhoria segue um ciclo. A solução de problemas, por exemplo, começa com a identificação do problema, o planejamento de uma solução, sua implementação, seu monitoramento e a avaliação de sua eficácia”. Sendo assim, a pesquisa-ação se baseia em um ciclo, que segundo Tripp (2005), pode ser representado conforme a Figura 2.

Figura 2 – Representação em quatro fases do ciclo básico da investigação-ação.



Fonte: Tripp (2005, p.4).

As quatro etapas de acordo com Tripp (2005) são caracterizadas por:

1. A primeira fase, planejar, é neste momento que é visto a real situação da instituição e principalmente qual é o objetivo da pesquisa, isto, por meio de reuniões realizadas pelo grupo de pesquisadores;
2. A segunda fase, agir, consiste na aplicação da ação estudada na fase de planejamento;
3. A terceira fase, monitorar, monitora e descreve os efeitos da própria-ação e os impactos das mesmas para a solução do problema;
4. A fase de avaliar, consiste em uma avaliação dos resultados alcançados e ações aplicadas e também da aprendizagem teórica.

De acordo com as fases que Tripp (2005) descreve, o Quadro 1 demonstra as fases do ciclo da pesquisa-ação realizada no trabalho.

Quadro 1 – Fases da pesquisa-ação realizada no trabalho.

FASE	O que foi feito
Planejamento	Nesta fase foi feito o levantamento bibliográfico com objetivo de estudar o método que seria aplicado. Em seguida, realizou-se o planejamento da aplicação do método FMEA, incluindo a criação de uma equipe de FMEA, definição de escopo, elaboração de uma matriz de responsabilidade, elaboração de um gráfico de Gantt, definiu-se também o tipo de abordagem do FMEA, revisou-se o projeto original fornecido pelo cliente do produto, elaborou-se o mapa do processo e, por fim, definiu-se qual formulário de FMEA seria mais adequado para o estudo.
Ação	Nesta fase realizou-se o preenchimento do Formulário de FMEA. Para o preenchimento do mesmo a Equipe de FMEA utilizou o Mapa do Processo desenvolvido na etapa do planejamento, em seguida, utilizou-se a Matriz SIPOC (<i>Supplier, Inputs, Process, Outputs, Consumers</i> ou <i>Fornecedor, Entradas, Processos, Saídas, Consumidores</i>) para identificar as entradas principais do processo, utilizou-se o Diagrama de Ishikawa ou Espinha de Peixe para identificação dos modos de falha de cada etapa do processo de fabricação, utilizou-se os históricos de não conformidade para definir os principais efeitos das falhas, definiu-se a escala de Severidade, listou-se as causas potenciais, definiu-se a escala de Ocorrência, descreveu-se os controles de qualidade existentes no processo de fabricação do item estudado e por último definiu-se a escala de Detecção.

Monitoramento	Nesta fase interpretou-se o FMEA, realizando a multiplicação das três variáveis, Severidade, Ocorrência e Detecção, na qual se observou RPN's (<i>número de prioridade de risco - risk priority number</i>) acima de 200 pontos. Para cada modo de falha com RPN acima de 200 pontos, gerou-se uma ação corretiva, determinou-se o responsável para cada ação corretiva. As ações corretivas tiveram um prazo de quatro meses para serem implementadas, em seguida, o grupo recalculou os índices de RPN de cada modo de falha acima de 200 pontos para avaliar o impacto da ferramenta implementada.
Avaliação	Na última fase foram avaliados os resultados alcançados após a implementação das ações corretivas, registrado todos os conhecimentos gerados pelo processo estudado e pela ferramenta aplicada, possibilitando o uso desses registros como lições aprendidas.

Fonte: os próprios autores.

4 ESTUDO NA EMPRESA

O processo produtivo deste estudo trata-se de uma etapa da fabricação de um dos itens que compõe uma Turbina de Energia Elétrica, utilizado em usinas Hidroelétricas. O item em foco é o Eixo da Turbina. O equipamento é fabricado em uma indústria do setor, metal mecânico, localizada no interior do estado de São Paulo. Como ferramenta para prevenção de falhas, foi aplicado o FMEA no processo na fabricação do item em questão, envolvendo o processo de recebimento da matéria-prima, processo de usinagem e, por fim, o processo de proteção e embalagem do eixo.

Para se iniciar a aplicação do método é importante que o FMEA tenha um líder e uma equipe multidisciplinar, envolvendo funcionários que façam parte do processo de fabricação. A seguir, são descritas as etapas do desenvolvimento do FMEA nessa pesquisa, nas subseções 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

4.1 FASE: PLANEJAMENTO DA APLICAÇÃO DO FMEA

A fase 1 – planejamento – foi executada nas seguintes etapas:

- **Etapa 1: Definir uma equipe:** a equipe envolveu os funcionários que fazem parte do processo de fabricação. A equipe de FMEA: (i) Responsável (líder) do FMEA; (ii) Representante da Engenharia da Qualidade; (iii) Representante da Engenharia Industrial; (iv) Representante do Controle de Qualidade; (v) Representante da Usinagem; (vi) Cliente: Usina Hidrelétrica;
- **Etapa 2: Definir o escopo do FMEA:** o escopo foi a aplicação da ferramenta FMEA abordando o processo de fabricação do Eixo da Turbina;
- **Etapa 3: Elaborar a matriz de responsabilidades e o gráfico de Gantt:** nesta etapa, elaborou-se a matriz de responsabilidade para identificar todos os grupos ou funcionários que fazem parte do projeto e suas respectivas responsabilidades, conforme Figura 3. O gráfico de Gantt para a implantação do FMEA é apresentado na Figura 4;

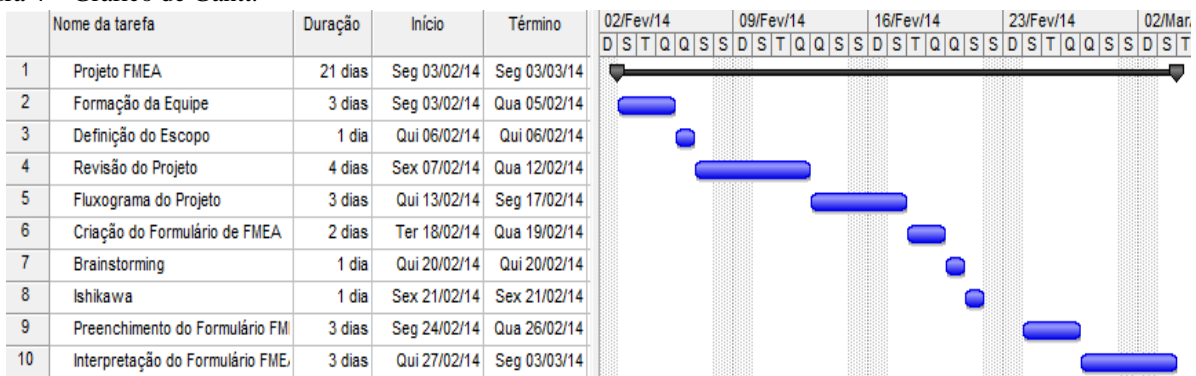
- **Etapa 4: Definir a abordagem do FMEA:** foram estabelecidas as prioridades utilizando Graus de Prioridade de Risco processo (RPN -*Risk Priority Number* ou número de prioridade de risco);
- **Etapa 5: Revisar o projeto original:** a revisão do projeto consiste em identificar todas as particularidades e características do produto final, analisar as etapas de fabricação, as inspeções a serem realizadas no decorrer da fabricação e principalmente todas as documentações geradas na fabricação;
- **Etapa 6: Fluxograma (mapa) do processo:** a equipe de FMEA definiu o fluxograma do processo de acordo com cada operação descrita na ordem de produção, conforme Figura 5;
- **Etapa 7: Elaborar um formulário FMEA:** a equipe de FMEA selecionou o modelo mais adequado para o processo.

Figura 3 – Matriz de Responsabilidade.

Matriz de responsabilidade	Engenharia da Qualidade	Engenharia Industrial	Produção (usinagem)	Controle da Qualidade
1ª Operação - Liberação da matéria prima	x	x		x
2ª Operação - Fresamento	x	x	x	x
3ª Operação - Torneamento	x	x	x	x
Inspeção da qualidade	x			x
4ª Operação - Mandrilhamento	x	x	x	x
5ª Operação - Torneamento	x	x	x	x
6ª Operação - Mandrilamento e Furação	x	x	x	x
7ª Operação - Traçagem	x	x		x
8ª Operação - Furação	x	x	x	x
9ª Operação - Rebarbação	x	x	x	x
Inspeção da qualidade	x			x
10ª Operação - Proteção e embalagem	x	x		x

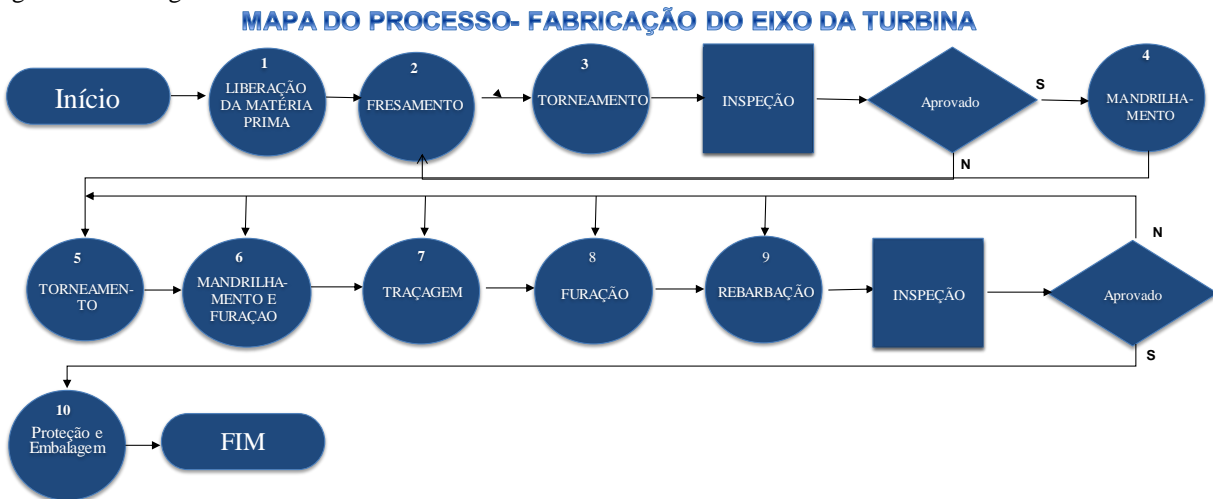
Fonte: os próprios autores.

Figura 4 – Gráfico de Gantt.



Fonte: os próprios autores.

Figura 5 – Fluxograma do Processo.



Fonte: equipe de FMEA da empresa do estudo.

4.2 FASE 2: AÇÃO DO PREENCHIMENTO DO FORMULÁRIO FMEA

Após a primeira fase – o planejamento e a estruturação do FMEA – ,deu-se início ao preenchimento do formulário, representado na Figura 6.

Figura 6 – Formulário FMEA detalhado.

Análise do Modo e Efeitos da Falha - Processo / Produto (FMEA)																
Nome do Processo ou Produto		Responsável:		Preparado por: _____		Página ____ of ____		FMEA Data (Orig) _____ (Rev) _____								
Etapa do Processo	Entradas Principais do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	SEV	Causas Potenciais	OCC	Controles Existentes	DET	RPN	Ações Recomendadas	Resp.	Ações Tomadas	SEV	OCC	DET	RPN
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				

SEV: Gravidade OCC: Ocorrência DET: Detecção RPN: Número de Prioridade de Risco RPN= SEV x OCC x DET

Fonte: Os próprios autores.

A seguir, apresenta-se o preenchimento de cada campo do formulário de FMEA:

- (1) **Cabeçalho:** identifica o projeto, a data, o nome do processo, e o nome do responsável da equipe;
- (2) **Funções:** utilizando o fluxograma elaborado no planejamento do FMEA, a equipe desmembrou os processos em etapas. Utilizou-se a Matriz SIPOC (*Supplier, Inputs,*

Process, Outputs, Consumers ou Fornecedor, Entradas, Processos, Saídas, Consumidores), que é utilizada na empresa, para definir as entradas do processo;

- (3) **Modo de falha potencial:** a equipe utilizou o Diagrama de Ishikawa, que proporcionou definir os possíveis modos de falha do processo e as causas potenciais;
- (4) **Efeito:** utilizou-se os históricos de não conformidades para analisar o processo de fabricação, e definir os principais efeitos das falhas;
- (5) **Severidade:** adotou-se a escala da Severidade citada por Fernandes e Rebelato (2005), conforme Figura 7;
- (6) **Causas potenciais:** com a utilização do Diagrama de Ishikawa, a equipe listou as causas potenciais;
- (7) **Ocorrência:** escolheu-se a escala da ocorrência citada por Fernandes e Rebelato (2005), Figura 8;
- (8) **As formas de controle:** a empresa adota algumas formas de controle conforme Quadro 2;
- (9) **Detecção:** escolheu-se a escala de Detecção citada por Fernandes e Rebelato (2005), conforme Figura 9.

Figura 7 – Escala da Severidade.

Importância da necessidade	Critério	Severidade
Muito alta	Necessidade em relação à segurança do usuário.	10
Alta	Necessidade relacionada às funções primárias do produto ou serviço.	8
Moderada	Necessidade relacionada à funções secundárias porém, relevantes ao cliente.	6
Baixa	Necessidade relacionada à funções secundárias porém, pouco relevantes ao cliente.	4
Muito baixa	Necessidade relacionada à funções secundárias porém, irrelevantes ao cliente.	1

Fonte: Fernandes e Rebelato (2005, p. 252)

Figura 8 – Escala de Ocorrência utilizada no trabalho.

Probabilidade de ocorrência	Critério	Ocorrência
Muito alta: Ocorrência quase inevitável	> 1 em 2 1 em 3	10 9
Alta: Ocorrências freqüentes	1 em 8 1 em 20	8 7
Moderada: Ocorrências ocasionais	1 em 80 1 em 400 1 em 2.000	6 5 4
Baixa: Poucas ocorrências	1 em 15.000 1 em 150.000	3 2
Remota: Falha é improvável	< 1 em 1.500.000	1

Fonte: Fernandes e Rebelato (2005, p.253).

Quadro2 – Controles existentes na empresa do estudo em etapas dos processos.

	Etapas do processo	Principais Controles Existentes
1ª	Liberação da matéria prima	Emissão de aprovação da matéria prima pelo inspetor de Recebimento Certificado de matéria prima
2ª	Fresamento	Auto inspeção realizada pelo operador da fresa
3ª	Torneamento	Auto inspeção realizada pelo operador do torno
4ª	Mandrilamento	Auto inspeção realizada pelo operador da mandriladora
5ª	Torneamento	Auto inspeção realizada pelo operador de torno
6ª	Mandrilamento e Furação	Auto inspeção realizada pelo operador da mandriladora
7ª	Traçagem	Não há controle
8ª	Furação	Auto inspeção realizada pelo operador da furadeira radial
9ª	Rebarbação	Não há controle
10ª	Armazenamento	Inspeção realizada pelo inspetor de expedição. Requisito de qualidade

Fonte: Os próprios autores.

Figura 9: Escala de Detecção:

Probabilidade de detecção	Critério	Detecção
Quase impossível	Não conhecido controle disponível para detectar o modo falha	10
Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha	9
Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha	6
Moderada	Probabilidade moderada de que o controle atual irá detectar o modo de falha	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	4
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	3
Muito Alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha	1

Fonte: Fernandes e Rebelato (2005, p. 254).

4.3 FASE: MONITORAMENTO DO FMEA

Após o preenchimento do formulário, iniciou-se a fase de monitoramento que tem como objetivo interpretar o formulário do FMEA, por meio do cálculo de RPN, que é a multiplicação das variáveis, Severidade, Ocorrência e Detecção. Seguindo do formulário FEMEA chega-se ao item 10 – Ações Recomendadas – e, nesta etapa, desenvolve-se um plano de ação para cada modo de falha com RPN maior que 200 pontos, isso porque após a uma reunião da equipe FEMEA avaliou-se que esse RPN representaria maior risco ao cliente.

Para facilitar o entendimento, descreve-se a seguir qual foi o modo de falha encontrado em cada operação e seu respectivo RPN:

- **Aplicação FMEA operação 1 – liberação da matéria-prima:** a equipe listou alguns dos principais modos de falha e efeito com severidade alta para o cliente, que é causado pelo recebimento de matéria-prima não conforme, porém apresenta um número de ocorrência baixo, devido à existência da inspeção de recebimento de matéria-prima o RPN resultante é de 72 pontos sendo assim não necessitando de ações corretivas;
- **Aplicação FMEA operação 2 – fresamento:** a equipe listou alguns modos de falha e identificou com maior pontuação RPN o operador de fresa não qualificado, a atividade poderia vir a falhar, gerando um RPN de 320 pontos e, obrigatoriamente, sendo necessárias ações corretivas pelos responsáveis; ainda nessa operação a equipe listou um segundo modo de falha crítico que corresponde à ferramenta de corte inadequada para uso, causada pela requisição

- errada da ferramenta de corte, este modo de falha resultou em um RPN de 240, sendo necessárias ações corretivas;
- **Aplicação FMEA operação 3 – torneamento 1:** apresentou modo de falha semelhante ao encontrado na operação de fresamento, também causado pela falta de controle de treinamento/qualificação do operador, que resultou em um RPN de 240 pontos, sendo necessárias ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 4 – mandrilamento:** a equipe de FMEA listou o principal modo de falha, causado pela falta de controle na empresa terceirizada que executa a afiação da ferramenta de corte, que gerou um RPN de 240 pontos, sendo necessárias ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 5 – torneamento 2:** a equipe de FMEA se deparou com o mesmo modo de falha, encontrado na primeira operação de usinagem, causado pela falta de controle de treinamento/qualificação do operador, que também apresentou um RPN de 240 pontos, sendo necessárias ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 6 – mandriladora/furação:** apresentou como principal modo de falha a matéria-prima fora do especificado, causada pela liberação da matéria-prima não conforme no processo anterior, apresentando um RPN de 200 pontos, havendo necessidade de ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 7 – traçar referências para furação:** tem como modo de falha crítico a traçagem incorreta da furação, causada pela falta de treinamento do operador, que resultou em um RPN de 240 pontos, havendo assim necessidade de ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 8 – furação:** a equipe de FMEA identificou com maior RPN a furação incorreta dos furos, causada pela traçagem incorreta da furação, que resultou em um RPN de 240 pontos, havendo a necessidade de ações corretivas;
 - **Aplicação FMEA operação 9 – rebarbação:** a equipe de FMEA listou como crítico o modo de falha, operador de rebarbação não qualificado, possibilitando a presença de rebarbas e roscas sem serem ajustadas, que de certa forma foi causado pela falta de treinamento e capacitação do funcionário, resultou em um RPN de 200 pontos, havendo necessidade de ações corretivas pelos responsáveis;
 - **Aplicação FMEA operação 10 – proteção e embalagem:** a equipe de FMEA identificou como crítico e principal modo de falha, oxidação no equipamento, causado pela utilização de matéria-prima para proteção com prazo de validade vencido, que resultou em um RPN de 200 pontos, havendo assim a necessidade de ações corretivas pelos responsáveis.

Com relação à etapa 11 – Status: os processos foram monitorados e durante três meses da realização desse trabalho não ocorreram falhas.

4.4 Fase: Avaliação da aplicação do formulário FMEA

Com o preenchimento do formulário de FMEA, pode-se observar que os modos de falhas mais comuns, com RPN's acima do permitido, são os modos de falha relacionados ao operador de máquina não qualificado; problemas com matéria-prima não adequada; ferramentas de corte inadequadas e falha na identificação da data de validade dos produtos de proteção anticorrosiva. Implementou-se ações corretivas em um período de quatro meses.

Ressalta-se, o índice de RPN deve ser recalculado após as ações corretivas terem sido concluídas, isso possibilitará mostrar a importância da equipe FMEA. Esta equipe deve conduzir a aplicação do método FMEA de forma a executar corretamente todas as etapas. As ações corretivas devem ser realizadas dentro do prazo previsto, pois são elas que garantem que os modos de falhas encontrados no decorrer do processo não venham a acontecer novamente.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O FMEA é uma ferramenta de gestão que tem como principal objetivo a identificação dos possíveis modos de falha antes que os mesmos ocorram, possibilitando mudanças no desenvolvimento dos projetos e redução de índices de retrabalho. Nessa pesquisa, o processo de fabricação do Eixo do Rotor, estudado apresentou falhas significativas, que porventura veio a ocasionar um custo adicional ao produto, um custo não previsto pelo fabricante e muito menos para o cliente, esse cenário foi modificado após a implantação do FMEA de processo.

A ferramenta aqui relatada foi além do esperado, revelando modos de falhas em potencial, antes não documentadas e formalizadas, contribuindo com a melhoria do processo. A ferramenta FMEA de processo proporcionou a empresa ter um maior controle e conhecimento sobre o processo estudado.

O estudo em questão proporcionou à equipe de FMEA obter uma visão sistêmica dos processos fabris, ressaltando as necessidades, pontos fortes, fracos e oportunidades de melhoria na execução de cada etapa do processo de fabricação e isso possibilitou que se visualizasse o processo de maneira mais criteriosa e analítica, buscando enxergar o que pode influenciar na execução da tarefa, ou a melhor forma de executar a mesma.

Por fim, a utilização do FMEA de processo foi eficaz no auxílio na identificação dos modos de falha, proporcionando a equipe de FMEA e a empresa em geral novos desafios e conhecimento de ferramentas eficazes.

REFERENCIAS

AGUIAR, D. C; MELLO, C.H.P: FMEA DE PROCESSO: Uma proposta de aplicação baseada nos conceitos da ISO 9001:2000. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.

BASTOS, A. L.A. FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos: uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVI, 2006 Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2006

CAMPOS, V. F. I. **Controle de qualidade total**. Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia UFMG, 1992. 5º edição. Editora Bloch,1992.

CHRYSOSTOM, S.; DWIVEDI, R. K: A review on the methodologies used in failure modes and effects analysis (FMEA). **International Journal of Mechanical and Production Engineering**, ISSN: 2320-2092, v.1, Issue-6, Dec-2013

CRAIG, D. J. **Stop depending on inspection**. Quality Process, p. 39-44, July 2014.

FERNANDES, J. M. R.; REBELATO, M. G: Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA. **Gestão & Produção**, v.13, n.2, p.245-259, mai.-ago. 2006.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas**: aplicação dos métodos de FMEA- FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia UFMG, 1995. 156 p.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Juran's Quality Control Handbook**. 4th Ed, McGraw-Hill, 1988, 397 p.

PALADY, P. **FMEA**: análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAN, 2007.

THIOLLENT. M. **Metodologia da Pesquisa-Ação**. Local: Editora Cortez, v. 9ª edição.

TRIPP D. **Pesquisa-ação**: Uma introdução metodológica. São Paulo: editora, v.31, n. 3, p. 443-466, set./dez. 2005.

ZAMBRANO, T.F.; MARTINS, M.F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.14, n.2, p. 295-309, maio-ago. 2007.