

Avaliação dos Custos da Qualidade na Implantação da Fmea em Processo de Soldagem Gmaw

Edson Teixeira de Araújo
edson_enge@hotmail.com
UNITAU

ÁLVARO AZEVEDO CARDOSO
azevedo@unitau.br
UNITAU

Resumo: Este trabalho apresenta uma abordagem da ferramenta FMEA, Failure modes and effect analysis, em uma integração com os custos relativos à qualidade, aplicada ao processo de soldagem GMAW, gas metal arc welding. O objetivo principal é evidenciar a importância da utilização desta ferramenta para se prever e prevenir falhas de processo antes que as mesmas ocorram, e minorar os custos da qualidade envolvidos. A proatividade da ferramenta FMEA, proporciona através das ações recomendadas de melhoria, a possibilidade de se mensurar com antecipação os custos relativos à prevenção, avaliação, e falhas de qualidade. O método empregado para esta abordagem foi de uma pesquisa-ação, sendo estabelecida uma equipe multidisciplinar para implantação e execução da FMEA e avaliação dos custos da qualidade. Os resultados obtidos na fase anterior à aplicação da FMEA informavam que os custos das falhas apresentavam uma participação de 89,84% dos custos da qualidade; com a utilização da ferramenta, estes foram reduzidos para 3,82% devido ao investimento de melhoria. Objetivando-se equilibrar os custos associados, foi projetada uma estimativa futura de 50% de custo de falhas. Na análise comparativa dos custos da qualidade, verificamos que os custos de falhas relativos à fase anterior ao FMEA reduziram 86% em relação à projeção futura, e os custos da qualidade reduziram de 74%, evidenciando-se deste modo o benefício da utilização da ferramenta FMEA para a redução de custos operacionais.

Palavras Chave: Falhas - FMEA - Custos - Qualidade - Soldagem

1. INTRODUÇÃO

O principal objetivo deste trabalho é demonstrar a importância da utilização da FMEA para a redução dos custos relacionados às falhas do processo, e como instrumento para se racionalizar os investimentos em qualidade, ou seja, nas componentes de avaliação e prevenção. Na empresa em estudo, o processo de soldagem de componentes mecânicos é considerado como uma etapa de grande valor agregado na fabricação, e foi escolhido como modelo de aplicação do estudo abordado, e que poderá também futuramente, ser estendido a outros processos da cadeia de valor.

A avaliação dos custos da qualidade é fundamental na gestão estratégica das empresas, pois facilita a elaboração do orçamento dos custos da qualidade, e possibilita a alocação dos recursos necessários. A avaliação dos custos da qualidade apresenta informações de como a empresa vem investindo nas categorias de custos e verifica o nível deste investimento (JÚNIOR, 1994).

Uma vez treinados os responsáveis pela execução dos trabalhos, a responsabilidade e coordenação das atividades foi encarregada a um líder para a FMEA. Todas as decisões que sustentaram a pesquisa foram tomadas por consenso da equipe, através de reuniões de *brainstorming*, e as informações necessárias ao estudo foram obtidas através de registros históricos de documentos, levantamento de campo, e estimativas futuras baseadas na experiência dos membros da equipe.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O MÉTODO FMEA

2.1.1. CONTEXTO HISTÓRICO

Em 1949 foi criado pelo exército dos Estados Unidos um procedimento para desenvolver uma análise de modo, efeitos e criticidade de falhas, *procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis*, que posteriormente ficou conhecido como FMEA, *Failure mode and effect analysis*, ou seja, análise do modo e efeito de falhas (DAILEY, 2004).

A técnica conhecida como FMEA surgiu em 1963, durante o projeto da missão Apollo, desenvolvida pela NASA, *National aeronautics and space administration*, para identificar de forma sistemática, falhas potenciais em sistemas, processos ou produtos, determinar seus efeitos, suas causas, e definir ações para diminuir ou eliminar o risco associado a falhas (PUENTE *et al.*, 2002).

Posteriormente a FMEA foi utilizada pela indústria automobilística como forma de evitar que os problemas chegassem até os consumidores (DAILEY, 2004). A *Ford Motors* passou a utilizar a FMEA a partir de 1977 na fabricação de automóveis, então a ferramenta passou a ser mais abrangente (GILCHRIST, 1993).

2.1.2. O FORMULÁRIO DA FMEA

Segundo Palady (1997), as regiões do formulário da FMEA, como mostrado na figura 1 possuem as seguintes informações:

FMEA - ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHA									
Descrição (Projeto/Processo/Serviço)		Departamento/Membros da equipe			Documentos afetados			Página ____ de ____	
Projeto _____		Projeto _____			ES _____			Original: _____	
Produção _____		Produção _____			PFD _____			Data: _____	
Confiabilidade _____		Confiabilidade _____			PC _____			Aprovações: _____	
Qualidade _____		Qualidade _____			Contrato _____				
Fornecedores _____		Fornecedores _____			Levantamento _____				
Clientes _____		Clientes _____			Plano de inspeção _____				
FUNÇÕES	MODOS DE FALHA	EFEITOS	SEVERIDADE	CAUSAS	OCORRÊNCIA	CONTROLES	DETECÇÃO	AÇÕES RECOMENDADAS	STATUS

Figura 1: Formulário da FMEA (Fonte: Palady, 1997)

- a) Cabeçalho: possui informações básicas que são relativas do que se trata a FMEA, quem está envolvido no desenvolvimento, quais os departamentos serão influenciados, quando o documento foi iniciado, as atualizações, e quais são os responsáveis pela aprovação e revisões;
- b) Funções: informa o que esse projeto, processo ou serviço pode fazer para satisfazer o cliente;
- c) Modos de falha: Informa como o projeto, processo ou serviço deixa de desempenhar todas as funções que se esperam dele;
- d) Efeitos: Informa as conseqüências do modo de falha, refere-se ao ponto de vista do cliente quando o modo de falha potencial ocorre. Um dos erros mais comuns neste aspecto seria não adotar a perspectiva do cliente nesta abordagem;
- e) Severidade: Informa a gravidade das conseqüências do modo de falha, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. A tabela 1 mostra a escala de avaliação da severidade do modo de falha;
- f) Causas: informa às razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha;
- g) Ocorrência: informa a chance da causa de falha estar realmente ocorrendo, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. Pode também representar a freqüência com que o modo de falha ocorre. Existem basicamente duas abordagens que podem ser consideradas uma refere-se à avaliação da ocorrência do modo de falha, outra abordagem refere-se à avaliação da ocorrência de cada causa básica do modo de falha. A tabela 2 mostra a avaliação da ocorrência do modo de falha, que é a abordagem que foi utilizada neste trabalho;

Tabela 1: Avaliação da Severidade

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE	GRAU
Efeito não percebido pelo cliente	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	2
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.	3
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que procure o serviço.	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que o cliente procure o serviço.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	9
Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.	10

Fonte: Palady, 1997

Tabela 2: Avaliação da Ocorrência

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA	PERCENTUAL	GRAU
Extremamente remoto, altamente improvável.	Menos de 0,01%	1
Remoto, improvável.	0,011-0,200	2
Pequena chance de ocorrência.	0,210-0,600	3
pequeno número de ocorrências.	0,610-2,00	4
Espera-se um número ocasional de falhas.	2,001-5,00	5
Ocorrência moderada.	5,001-10,00	6
Ocorrência freqüente.	10,001-15,00	7
Ocorrência elevada.	15,001-20,00	8
Ocorrência muito elevada.	20,001-25,00	9
Ocorrência certa.	Mais de 25%	10

Fonte: Palady, 1997

- h) Controle: as formas de controle: informam que tipos de controles foram planejados ou estão em vigor para garantir que todos os modos de falha sejam identificados e eliminados;
- i) Detecção: informa qual é a chance de detectar o modo de falha antes de os produtos serem entregues ao cliente, normalmente medida em uma escala de 1 a 10. A tabela 3 apresenta a escala de avaliação da detecção do modo de falha;

Tabela 3: Avaliação da Detecção

ESCALA DE AVALIAÇÃO DA DETECÇÃO	GRAU
É quase certo que será detectado	1
Probabilidade muito alta de detecção.	2
Alta probabilidade de detecção.	3
chance moderada de detecção.	4
Chance média de detecção.	5
Alguma probabilidade de detecção.	6
Baixa probabilidade de detecção.	7
Probabilidade muito baixa de detecção	8
Probabilidade remota de detecção	9
Detecção quase impossível	10

Fonte: Palady, 1997

- j) Ações recomendadas: são informações relativas ao que pode ser feito para prevenir o modo de falha, reduzir a severidade, melhorar a detecção interna e melhorar a detecção pelo cliente;
- k) Situação das recomendações: Informa o que está sendo feito no momento para avaliar a viabilidade das ações recomendadas. Ainda segundo Palady (1997), as ações recomendadas para abordar um problema potencial identificado na FMEA devem possuir uma avaliação adequada dos custos de implementação e benefícios de qualidade e confiabilidade, senão pode haver o risco de se criar novos modos de falha.

2.1.3. A ESTRATÉGIA DA FMEA

A estratégia da FMEA que foi utilizada neste trabalho baseia-se nas novas técnicas apresentadas em um documento técnico da SAE, *Society of Automotive Engineers*, apresentado no congresso internacional em 1994, em Detroit, Michigan. Segundo Palady (1997), este documento, intitulado de documento técnico n° 940884 da SAE, aborda os problemas encontrados durante as etapas iniciais de construção da FMEA e termina com as ações recomendadas para melhorias. Quatro técnicas foram introduzidas para se obter maior eficiência e foco da FMEA:

- a) Para a redução de custo e aumento da eficiência da coleta de dados, foi introduzido um formulário de entrada (fig.2), onde são atribuídos códigos alfanuméricos. O número da codificação alfanumérica é associado ao modo de falha e a letra aos efeitos potenciais, cujas informações servem de inputs para o gráfico de áreas (fig.3), e para a matriz de investigação de causas comuns (fig.4).

MODO DE FALHA	EFEITO	SEVERIDADE (K)	CAUSA	OCORRÊNCIA (Y)	DETECÇÃO
1 Soldagem defeituosa	A Falta de fusão	7	Preparação inadequada da junta	5	7
			Amperagem baixa	6	
			Velocidade de soldagem alta	5	
			Distância muito alta da tocha à peça	6	
			Ângulo da tocha inadequado	6	
			Chapa suja	4	
			Chapa enferrujada	4	
			Chapa pintada	4	
			Tensão baixa	5	
			Polaridade errada	5	
			Soldagem sobre cordão convexo	3	
			Oscilação da tocha	2	

Figura 2: Exemplo de formulário de Entrada (Fonte: O autor)

- b) Um gráfico de áreas é construído utilizando-se de duas escalas proativas de avaliação, que são a ocorrência e a severidade. O gráfico de áreas fornece um resumo dos modos de falha/efeito de alta, média e baixa prioridade. Representado respectivamente pelas cores vermelha, amarela e verde (fig.3).

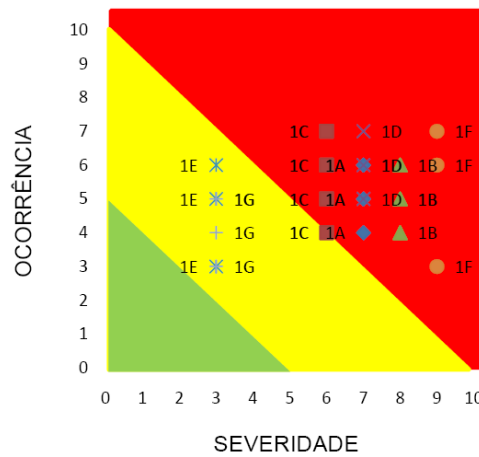


Figura 3: Exemplo de gráfico de áreas (Fonte: O Autor)

- c) Uma matriz de investigação de causas comuns, onde os modos de falha/efeitos de maior prioridade, obtidas no gráfico de áreas que são comuns, são identificados como causas-chave, e se permite que se apliquem recursos a causas comuns de falha (fig.4).

CAUSA COMUM	MODO DE FALHA/EFEITO						
	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G
Preparação inadequada da junta	X	X					
Amperagem baixa	X	X					
Velocidade de soldagem alta	X	X	X	X			
Distância muito alta da tocha à peça	X	X			X		
Ângulo da tocha inadequado	X	X	X				
Chapa suja	X	X	X				
Chapa enferrujada	X	X	X				
Chapa pintada	X	X	X				
Vazão alta do gás de proteção			X		X		
Tensão alta				X	X		
Indutância da máquina					X		X
Polaridade errada	X						X
Junta de solda estreita		X					X

Figura 4: Matriz de Investigação de Causas Comuns (Fonte: Palady, 1997)

2.2. OS CUSTOS DA QUALIDADE

2.2.1. A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE

Segundo Carvalho (2005), qualidade é um termo cotidiano, mas não existe um consenso quanto ao significado do termo qualidade. Garvin (1988), ao invés de adotar um conceito, classificou a qualidade nas seguintes abordagens: transcendental, baseada no produto, no usuário, na produção e no valor.

Diversos profissionais tiveram importante participação na área da qualidade, mas alguns se destacaram devido a sua contribuição teórica, e também pela participação em empresas. Estes foram denominados como gurus da qualidade, e os mais citados na literatura acadêmica são: Walter A. Shewart, William Edwards Deming, Joseph M. Juran, Armand V. Feigenbaum, Philip B. Crosby, Kaoru Ishikawa e Genichi Taguchi (CARVALHO, 2005).

A década de 80 foi considerada a década da qualidade e a de 90 a década da resposta rápida ao mercado e aos clientes (STALK; HOUT, 1990). A Norma ISO 9004-4, que estabelece as diretrizes para a melhoria da qualidade enfatiza o seguinte:

A qualidade dos produtos e serviços é importante para a competitividade. A melhoria contínua da qualidade é necessária ao aumento da competitividade de uma organização. Deve-se enfatizar que em todas as estratégias inovadoras para a introdução de um novo produto, serviço ou tecnologia de processo, a melhoria contínua da qualidade deve ser considerada (NBR ISO 9004-4, 1993).

2.2.2. CUSTOS DA QUALIDADE

A definição de custos dada por Martins (1992) é a mais utilizada na engenharia, e é definido como gasto relativo ao bem ou serviço que é utilizado na produção de outros bens e serviços, sendo, pois, o valor dos insumos usados na fabricação dos produtos.

Um das primeiras referências aos custos da qualidade foram encontradas nas obras de Joseph Juran denominada *Quality Control Handbook*, publicada nos estados Unidos em 1951 (CARVALHO, 2005).

A *American Society for Quality Control (ASQC)*, tomou a iniciativa de detalhar os custos da qualidade, para que cada empresa tivesse a possibilidade de identificar quais os custos da qualidade que estavam onerando os seus processos. O detalhamento de tais custos não impedia a possibilidade de haverem outros gastos específicos da empresa, nem a obrigatoriedade da empresa possuir todos os custos detalhados na especificação (BARRETO, 2008).

Embora a literatura utilize o termo “custos da qualidade”, *quality costs*, para designar os dispêndios financeiros com a qualidade, este termo é questionável, pois custo é tecnicamente definido como o sacrifício financeiro decorrente da obtenção de bens ou serviços (CARVALHO, 2005). Qualidade não é custo, mas sim um investimento com retorno seguro, e o que causa prejuízo às empresas na realidade é o custo da não qualidade. O termo custos da qualidade manteve-se por ter sido consagrado e utilizado em normas técnicas (CROSBY, 1994).

Os custos da qualidade podem ser classificados de diferentes maneiras conforme diversos autores. A ISO 9004 classifica os custos da qualidade em custos de conformidade, que são os custos necessários para se evitar falhas no processo, e custos de não-conformidade que são os custos incorridos devidos a falhas no processo existente. A classificação mais adotada estabelece sua divisão em prevenção, avaliação e falhas (CARVALHO, 2005). Os custos da qualidade podem ser divididos em custos de controle, que tem caráter preventivo, e custos de falhas no controle que tem caráter corretivo. Os custos de controle podem ser subdivididos em prevenção e avaliação, enquanto que os custos de falha no controle podem ser subdivididos em custos de falhas internas e falhas externas, chamados também de custos da não qualidade (FEIGENBAUM, 1994).

Os custos operacionais da qualidade são os custos associados à definição/planejamento, criação e controle da qualidade, assim como a avaliação e realimentação da conformidade com exigência em requisitos de desempenho, confiabilidade, segurança, e também custos associados às conseqüências provenientes de falhas, em atendimento a essas exigências, tanto internamente à empresa quanto nas mãos dos clientes (FEIGENBAUM, 1994).

Então, conforme Feigenbaum (1994), dois tipos de custos da qualidade são distinguidos, ou seja, os custos da qualidade propriamente dito que são os gastos na busca da qualidade para o atendimento das necessidades dos clientes, e são aqueles oriundos do

controle da qualidade; e os custos da não-qualidade, que se originam de falhas no controle da qualidade.

Os custos inter-relacionados com a definição de custos da qualidade de Feigenbaum são categorizados como custos de prevenção, custos de avaliação, custos de falhas internas e custos de falhas externas, sendo os custos de controle, os custos de avaliação e prevenção, e os custos de falha no controle, os custos de falhas internas e externas (BARRETO, 2008).

Os custos de prevenção e avaliação são os custos inevitáveis, e os custos de falhas internas e externas são os custos evitáveis (fig.5) (JURAN; GRZYNA, 1980).

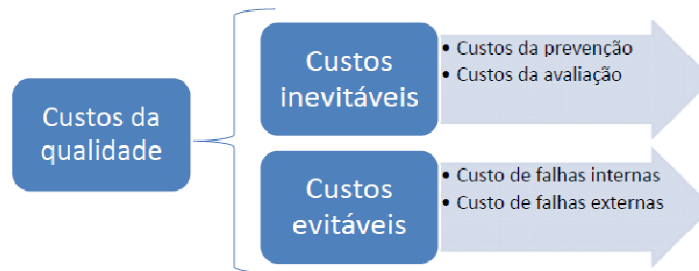


Figura 5: Custos da qualidade (Fonte: o autor)

Os custos de prevenção e avaliação são indiretamente proporcionais aos custos de falhas, pois quando se aumenta o nível de qualidade aumentam-se os investimentos com prevenção e avaliação. Quando os níveis de qualidade são mais baixos têm-se mais gastos decorrentes das falhas. Quando se soma a curva representativa dos custos de falhas com a de prevenção e avaliação, temos a curva representativa do custo total (fig. 6). O ponto ótimo da curva é o ponto situado à direita do ponto inferior da curva representativa do custo total devido uma maior exigência dos clientes quanto à qualidade. Anteriormente considerava-se como ponto ótimo o ponto mínimo da curva do custo total. Empresas distintas podem ter o mesmo gasto com qualidade por unidade de produto, mas podem apresentar resultados diferenciados em termos de nível de qualidade, quer se situem à esquerda ou à direita do ponto mínimo da curva de custo total (CARVALHO, 2005).



Figura 6: Tipos de custos (Fonte: Carvalho, 2005)

Conforme Juran e Gryna (1980), a curva dos tipos de custos (fig.6), representa uma relação entre os custos da qualidade, e apresentam algumas conclusões importantes, quais sejam, quando os custos de prevenção e avaliação forem nulos o produto será 100%

defeituoso, e os custos de falhas tendem a ser muito onerosos. Inversamente, observamos que quando o produto é 100% dentro da especificação, o custo relativo às falhas é nulo, mas os custos de prevenção e avaliação tendem a ser muito elevados. Pode-se também observar três regiões distintas caracterizadas como uma zona de melhoria onde temos altos custos de falhas associada a uma má qualidade dos produtos, uma zona de perfeccionismo caracterizada por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade, e uma zona de indiferença, onde há um equilíbrio entre os custos de prevenção e avaliação e os custos de falhas.

3. METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado para este trabalho foi uma pesquisa-ação. A pesquisa-ação exige o envolvimento ativo do pesquisador e a ação por parte das pessoas ou grupos interessados (GIL, 2002). Este método de pesquisa é concebido e realizado em estreita associação com uma ação, onde os pesquisadores e participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (SILVA; MENEZES, 2005).

Uma equipe multidisciplinar foi organizada para desenvolver e programar este trabalho. Esta equipe inicialmente passou por um treinamento para adquirir os conhecimentos necessários para assumir a condição de desenvolvedora da FMEA na organização, e avaliadora dos custos da qualidade associados ao processo em estudo.

Para iniciar as atividades de desenvolvimento do trabalho, foi realizada uma reunião de abertura com os supervisores dos departamentos de Engenharia, compras, vendas, financeiro, qualidade e produção; e nesta reunião foi apresentada a importância do trabalho, o método de desenvolvimento do mesmo e o cronograma das atividades. Cada supervisor participante desta reunião foi designado como um membro da equipe de FMEA, a liderança da FMEA foi delegada ao representante do departamento financeiro através de um *brainstorming*, e todas as responsabilidades que teriam a cada etapa de desenvolvimento do trabalho ficaram definidas nesta reunião. Em datas planejadas, foram realizados treinamentos com apoio de consultoria externa para a qualificação da equipe responsável por desenvolver a FMEA e a avaliação dos custos da qualidade.

As demais reuniões subsequentes abordavam as etapas do trabalho, e a avaliação dos resultados obtidos com os levantamentos de informações dos supervisores de departamento junto a suas equipes.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. LEVANTAMENTO DOS CUSTOS DA QUALIDADE

A equipe responsável pela FMEA reuniu-se nesta etapa com o objetivo de reunir informações para subsidiar a determinação dos custos da qualidade. Segundo Carvalho (2005), estes custos estão classificados em custos de prevenção, avaliação e falhas. Através de uma seção de *brainstorming* a equipe definiu os itens associados a cada categoria de custo e posteriormente os gastos foram determinados.

4.1.1. CUSTOS DA QUALIDADE ANTES DA IMPLANTAÇÃO DA FMEA

Antes da aplicação da ferramenta FMEA não havia nenhum processo gerencial para a avaliação dos modos de falha, e estabelecimento de medidas preventivas. Não havia itens de custo associados à prevenção, e as não conformidades do processo eram tratadas de forma corretiva no fim do processo, gerando retrabalho e sucateamento de peças quando estes erros eram identificados dentro das instalações, e quando não detectadas as irregularidades, os

equipamentos eram expedidos, e devoluções ocorriam gerando custos adicionais e insatisfação do cliente com a qualidade do produto.

Os custos relativos à prevenção eram nulos, pois não haviam instruções estabelecidas, e o êxito da atividade era função da experiência individual do operador, e a empresa não investia em treinamentos e qualificação dos soldadores, somente exigindo comprovação de experiência profissional, e não proporcionando nenhum tipo de reciclagem mesmo que problemas de qualidade surgissem.

Os itens de avaliação utilizados antes da aplicação da FMEA era a utilização esporádica da verificação com líquido penetrante da solda realizada, e inspeção visual no fim do processo não incorrendo nenhuma intervenção ou medição da qualidade por parte do inspetor nas fases intermediárias do processo. Não existiam relatórios ou listas de verificação para os procedimentos de avaliação, de modo que se o ritmo de produção estivesse com grande demanda não havia a obrigação de se avaliar todos os itens ou se estabelecer um método de amostragem para controlar estatisticamente o processo.

Os itens relativos às falhas eram altamente onerosos para a empresa, pois devido à falta de qualidade na atividade de soldagem ocorria que peças de materiais de alto custo eram sucateadas, equipamentos devolvidos, além de retrabalhos e reclamações de clientes.

A tabela 4 mostra os levantamentos dos custos de qualidade antes da aplicação da FMEA. Estes custos foram levantados com base em dados históricos.

Tabela 4: Custos da qualidade antes da aplicação da FMEA

Discriminação dos custos	Prevenção	Avaliação	Falhas
Ensaio de líquido penetrante		R\$ 700,00	
Inspeção visual		R\$ 120,00	
Retrabalho			R\$ 3.150,00
Devoluções			R\$ 2.100,00
Sucateamento			R\$ 1.700,00
Outros			R\$ 300,00
Total	R\$ 0,00	R\$ 820,00	R\$ 7.250,00

Através da avaliação do cenário dos custos totais da qualidade antes do momento de implantação da FMEA (tabela 5), podemos verificar que a relação entre o custo de falha em relação ao custo total encontra-se na faixa de 89,84%. Conforme o zoneamento de nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980) esta faixa se encontra na região de melhoria, onde o custo de falha em relação ao custo total deverá ser maior que 70%.

A região de melhoria é caracterizada por altos custos de falhas e uma má qualidade (JURAN; GRZYNA, 1980). O nível de qualidade deverá ser melhorado, e investimentos em prevenção e avaliação deverão ser realizados para se reduzir os custos de falhas. Neste particular a utilização da ferramenta FMEA tem grande importância para viabilizar esta melhoria.

Tabela 5: Cenário dos custos da qualidade antes da implantação da FMEA

Cenário do custo total		%
Discriminação	Gastos	
Custo de prevenção	R\$ -	0,00
Custos de Avaliação	R\$ 820,00	10,16
Custos de Falhas	R\$ 7.250,00	89,84
Total	R\$ 8.070,00	100,00

4.1.2. CUSTOS DA QUALIDADE NA FASE DE IMPLANTAÇÃO DA FMEA

Segundo Carvalho (2005), os custos de prevenção objetivam prevenir ou reduzir as chances de não conformidade. Na análise desta fase, os itens de custos associados à prevenção foram os seguintes:

- Treinamento dos supervisores dos departamentos;
- Reuniões da equipe da FMEA;
- Implantação da documentação técnica para análise da FMEA e dos custos de qualidade associados, e
- Treinamento da equipe de soldadores e inspetores de soldagem

Segundo carvalho (2005), os custos de avaliação verificam o nível de qualidade e conformidade do produto. Os itens de custos associados à avaliação foram os seguintes:

- Ensaio de líquido penetrante;
- Inspeção visual da atividade com preenchimento de relatório;
- Treinamentos para utilização das instruções de trabalho.

Segundo Carvalho (2005), os custos associados às falhas podem ser os decorridos da fabricação, ou expedição de produtos defeituosos. Como as medidas proativas foram consideradas nos itens de custo de avaliação e prevenção, os itens de custo de falhas, que são elencados abaixo, podem vir a ter ocorrência muito remota, quais sejam:

- Retrabalho;
- Devoluções, e
- Sucateamento de peças.

A tabela 6, mostra de forma detalhada a classificação e mensuração dos custos da qualidade na fase de implantação da FMEA. Os custos levantados levam em consideração as horas dedicadas às atividades conforme os salários dos profissionais envolvidos e os gastos com aquisição de materiais e/ou produtos para a realização de testes e confecção de documentos.

A responsabilidade pela coleta e sumarização destas informações ficou a cargo do líder da FMEA, sendo este auxiliado pela equipe. No momento de se avaliar os custos relativos às falhas, a equipe de FMEA optou por estimar o valor em 50% dos custos levantados para a avaliação, pois através das medidas de prevenção e avaliação já aplicadas, o valor relativo às falhas deverá se situar em um patamar ligeiramente inferior. Os custos totais da qualidade e a contribuição de cada modalidade de custo para o custo total é mostrado na tabela 7.

Tabela 6: Custos da qualidade durante a aplicação da FMEA

Discriminação dos custos	Prevenção	Avaliação	Falhas
Treinamento de supervisores	R\$ 8.100,00		
Reuniões da equipe da FMEA	R\$ 2.160,00		
Documentação técnica	R\$ 1.500,00		
Treinamento de soldadores e inspetores	R\$ 12.000,00		
Ensaio de líquido penetrante		R\$ 500,00	
Inspeção visual e elaboração de relatório		R\$ 350,00	
Treinamento nas instruções de trabalho		R\$ 1.200,00	

Retrabalho			
Devoluções			
Sucateamento			
Outros			R\$ 1.025,00
Total	R\$ 23.760,00	R\$ 2.050,00	R\$ 1.025,00

Através da avaliação do cenário dos custos totais da qualidade no momento de implantação da FMEA (tabela 7), podemos verificar que a relação entre o custo de falha em relação ao custo total encontra-se na faixa de 3,82%, que conforme o zoneamento de nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980) esta faixa se encontra na região de perfeccionismo, onde o custo de falha em relação ao custo total deverá ser menor que 40%.

A região de perfeccionismo é caracterizada por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade (JURAN; GRZYNA, 1980). O nível de qualidade deverá ser mantido, mas os custos serão menores futuramente, pois geralmente os custos de prevenção e avaliação são maiores nas fases iniciais de implantação da ferramenta.

Tabela 7: Cenário dos custos da qualidade durante a implantação da FMEA

Cenário do custo total		%
Discriminação	Gastos	
Custos de Prevenção	R\$ 23.760,00	88,54
Custos de Avaliação	R\$ 2.050,00	7,64
Custos de Falhas	R\$ 1.025,00	3,82
Total	R\$ 26.835,00	100,00

4.1.3. PREVISÃO FUTURA DOS CUSTOS DA QUALIDADE

Em uma estimativa futura dos custos da qualidade, o item do custo de prevenção que deverá ser otimizado deverá ser as reuniões de FMEA, que devido a maturidade da implantação da ferramenta ocorrerá de forma menos freqüente, e com menos variáveis a ser abordado, fato que diminui os custos relativos às horas dedicadas. Na tabela 8, observa-se a previsão futura dos custos.

Tabela 8: Previsão futura dos custos da qualidade após a aplicação da FMEA

Discriminação dos custos	Prevenção	Avaliação	Falhas
Reuniões da equipe da FMEA	R\$ 200,00		
Ensaio de líquido penetrante		R\$ 500,00	
Inspeção visual e relatórios		R\$ 350,00	
Devoluções			
Sucateamento			
Outros			R\$ 1.050,00
Total	R\$ 200,00	R\$ 850,00	R\$ 1.050,00

Os custos de avaliação na previsão futura ficaram constantes, exceto pelo item de treinamento nas instruções de trabalho, que agora não se faz necessário, por estar consolidada na equipe.

Considerou-se estimar os custos relativos às falhas em 50% dos custos totais da qualidade nesta fase. Tal procedimento de estimativa é orientado pelo estudo de Juran e

Gryna (1980), que estabelece que desta forma haja um equilíbrio entre os custos de prevenção, avaliação e falhas.

Temos na tabela. 9, uma previsão futura dos custos associados à prevenção, avaliação e falhas, considerando-se uma situação de equilíbrio para o investimento em qualidade, de modo a se balancear o investimento na aplicação da FMEA paralelamente aos custos da qualidade.

Tabela 9: Previsão futura dos custos totais após a aplicação da FMEA

Cenário do custo total		%
Discriminação	Gastos	
Custos de Prevenção	R\$ 200,00	9,52
Custos de Avaliação	R\$ 850,00	40,48
Custos de Falhas	R\$ 1.050,00	50,00
Total	R\$ 2.100,00	100,00

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS DA QUALIDADE

A análise comparativa dos custos da qualidade nas fases anterior, durante e após a aplicação da FMEA são mostrados na figura 7, e podemos observar que na fase após a aplicação da FMEA os custos de qualidade tiveram ligeira redução apesar de na fase durante a aplicação os custos de implantação ter sido elevados, os benefícios da implantação são evidentes uma vez que nossa análise demonstra que as reduções obtidas nos custos da qualidade são permanentes, e tendem a ser cada vez mais enxutas em um ambiente de melhoria contínua.

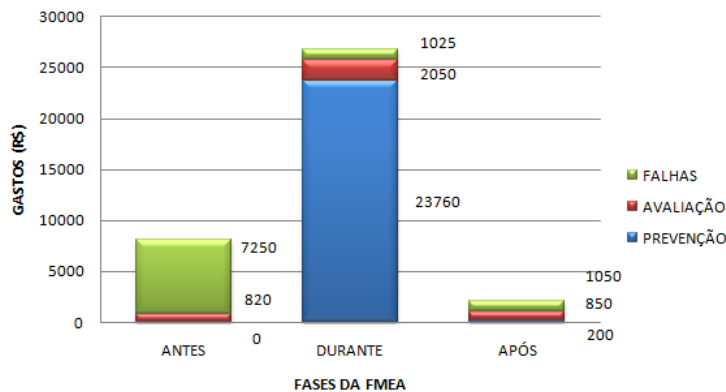


Figura 7: Análise comparativa dos custos parciais da qualidade

O custo das falhas antes da aplicação da FMEA era de R\$7250,00, depois da implantação da ferramenta, este valor se estabilizou em R\$1050,00, ou seja, uma redução de R\$6200,00 que representa uma economia de aproximadamente 86% em relação ao valor inicial.

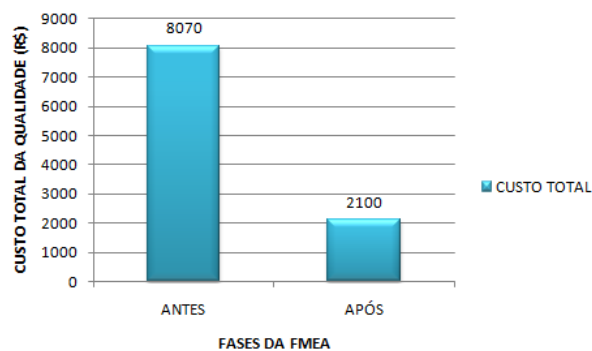


Figura 8: Análise comparativa dos custos totais da qualidade

Os custos totais da qualidade antes da implantação da FMEA eram de R\$8070,00, (fig.8), depois da aplicação da ferramenta, este valor se estabilizou em R\$2100,00, ou seja, uma redução de R\$5970,00, que representa uma economia de aproximadamente 74% em relação ao valor inicial.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho demonstrou, que a utilização da ferramenta FMEA aliada a uma avaliação dos custos da qualidade, apresentam vantagens em termos de utilização racional dos investimentos em qualidade. Não obstante os custos de implantação, os gastos posteriores são de ordem de grandeza inferior ao estágio em que não havia a aplicação da ferramenta, ou seja, há uma considerável redução dos custos da qualidade em cerca de 74%, conforme o estudo apresentado.

Na fase antes da utilização da FMEA os custos das falhas eram de 89,94% do custo total da qualidade, não existiam investimentos em qualidade, e as avaliações realizadas tinham um custo de 10,16%. Esta fase é definida conforme o zoneamento do nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980), por altos custos de falha e má qualidade.

Na fase de implantação e consolidação da FMEA, os custos das falhas passaram a ser de 3,82% do custo total, devido ao grande investimento em qualidade. Os custos de prevenção e avaliação foram respectivamente de 88,54% e 7,64%. Esta fase é definida conforme o zoneamento do nível de qualidade proposto por Juran e Gryna (1980), por altos custos de prevenção e uma excelente qualidade.

Em uma posição futura dos custos da qualidade, se estimou os custos de falha, prevenção e avaliação, respectivamente em 50%, 9,52%, e 40,48%. Esta fase foi considerada uma situação de equilíbrio para os investimentos em qualidade.

Quando se avaliou os custos totais da qualidade antes da implantação da FMEA, considerando-se a projeção futura de comportamento dos custos associados, pode-se verificar que a economia dos custos da qualidade com a consolidação da ferramenta seria de 74%. Embora os investimentos iniciais de implantação da ferramenta fossem relativamente altos, os ganhos em curto prazo apresentavam-se promissores e justificam claramente a utilização da FMEA.

Mantendo-se um ambiente de melhoria contínua, as projeções de redução de gastos e melhoria de qualidade podem ser previstas, e implementadas para trazer um melhor desempenho na utilização da ferramenta FMEA.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** Gestão da qualidade e elementos do sistema da qualidade: NBR ISO 9004-4, Rio de Janeiro, 1993.
- BARRETO, M. G. P.** Controladoria na gestão: a relevância dos custos da qualidade. São Paulo: Saraiva, 2008.
- CARVALHO, M. M., et al.** Gestão da qualidade: teoria e casos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CROSBY, P. B.** Qualidade é investimento. Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.
- DAILEY, K. W.** The FMEA Pocket Handbook. DW Publishing Co.: 2004. 40p.
- FEIGENBAUM, A. V.** Controle da qualidade total: gestão e sistemas. Vol. 1. São Paulo: Makron Books, 1994.
- GARVIN, D. A.** Managing quality: the strategic and competitive edge. EUA, Nova York: Harvard Business School, 1988.
- GIL, ANTÔNIO CARLOS.** Como elaborar projetos de pesquisa. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- GILCHRIST, W.** Modeling failure modes and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 10, n. 5, p. 16-24, 1993.
- JÚNIOR, A R.** Custos da qualidade, uma estratégia para a competição global. São Paulo: Atlas, 1994.
- JURAN, J. M., GRZYNA, F. M.** Quality planning and analysis. 2a Ed. New York: Mc Graw-Hill, 1980.
- MARTINS, ELISEU.** Contabilidade de custos. São Paulo: Atlas, 1992.
- PALADY, P. FMEA.** Análise dos modos de falha e efeitos prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: Editora Instituto Iman, 1997.
- PUENTE, J. PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D de L.** A decision support system for applying failure mode and effects analysis. International Journal of Quality & Reliability Management, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137- 151, 2002.
- SILVA, EDNA LÚCIA DA. MENEZES, ESTERA MUSZKAT.** Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. Florianópolis: Laboratório de ensino à distância da UFSC, 2005.
- STALK, G., HOUT, T. M.,** Competing Against Time: How Time- Based competition is Reshaping Global Markets. New York, NY: The Free Press, 1990