

# Uso da metodologia PFMEA como vantagem competitiva para a análise de melhorias em um processo experimental

## *Use of PFMEA methodology as a competitive advantage for the analysis of improvements in an experimental procedure*

Fernando Coelho<sup>1</sup> - Fac. de Tecnologia de Botucatu, Dep. do Curso Superior de Tecnologia da Produção Industrial  
Fernanda Cristina Pierre<sup>2</sup> - Fac. de Tecnologia de Botucatu, Dep. do Curso Superior de Tecnologia da Produção Industrial

**RESUMO** A metodologia para Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) utilizada nas indústrias para investigação e estudo de falhas potenciais, contribui para a robustez do projeto e do processo antes do início da produção. Assim, a probabilidade de erros é reduzida, e os níveis de eficiência e eficácia são mais elevados com alta produtividade. Isso ocorre pela eliminação ou redução de problemas produtivos. Neste contexto, o presente estudo baseou-se na aplicação estruturada da metodologia PFMEA (Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no Processo), associada a outras ferramentas da qualidade, com simulação de montagem de um sistema eletro pneumático. O estudo contou com o apoio de cinco graduandos no Laboratório Experimental de Produção da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Botucatu/SP.

A metodologia aplicada, contribuiu para a previsão de 24 falhas potenciais e oportunidades de melhoria, investigação de suas causas, comprovando ser um padrão aplicável a qualquer processo produtivo com ganho de eficiência e eficácia. Portanto, a estratégia final foi avaliar e minimizar falhas potenciais para reduzir custos de produção e aumentar a performance do processo.

**Palavras-chave** Vantagem Competitiva. Excelência Empresarial. PFMEA.

**ABSTRACT** *The methodology of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), utilized by industries to investigate potential failures, contributes to ensuring the robustness of the project and the manufacturing process, even before production starts. Thus, there is a reduced likelihood of errors, and a higher level of efficiency and effectiveness at high productivity. This occurs through the elimination or reduction of productive problems. In this context, this study is based on the structured application of PFMEA (Process Failure Mode Effects Analysis), associated with other quality tools, in a simulation of the assembly of an electro-pneumatic system. This study was performed at the Experimental Laboratory of the Botucatu Technology Faculty (FATEC), with the support of five undergraduate students from the Technology Industrial Production Course.*

*The methodology applied contributed to the forecast of 24 potential failures and improvements opportunities, investigation of their causes, proving to be a standard that is applicable to any productive process with a gain in efficiency and effectiveness. Therefore, the final strategy was to evaluate and minimize the potential failures, to reduce production costs and to increase the performance of the process.*

**Keywords** *Competitive Advantage. Business Excellence. PFMEA.*

1. R. Manoel Fernandes Cardoso, 711, Vila Santana, Botucatu - SP, 18.606-174, coelho-fernet@ig.com.br

2. fpierre@fatecbt.edu.br

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início da globalização, o mercado vem passando por um processo de internacionalização da economia, atingindo cada vez mais países e gerando incertezas quanto ao futuro de novos modelos de mercado (JAYME, 2004). Estes novos modelos de mercados fazem com que as organizações busquem meios estratégicos para aumentar sua competitividade e obter um diferencial competitivo e até dominar o mercado em que atuam (MINTZBERG; QUINN, 2001). A competitividade é o resultado de uma estrutura estratégica bem definida e inimitável, capaz de fixar uma posição defensável no mercado com geração de vantagens competitivas sustentadas (HAMEL; PRAHALAD, 1994). Para que uma vantagem competitiva seja sustentada ela precisa ser rara, valiosa, insubstituível e inimitável pelos concorrentes (BARNEY, 1991). A busca pelo diferencial competitivo pode ser traduzido como excelência em atender requisitos dos seus clientes, com oferta de produtos cada vez mais robustos e com altíssimo valor agregado, além de inovadores, modernos, adequados ao uso, com o menor preço e dentro do prazo contratado (CAIXETA, 2008).

Entre muitas formas de atender ou superar os critérios que determinam a competitividade no mercado, observa-se que as organizações investem em conhecimento tecnológico e posição geográfica estratégica para assim, viabilizar o escoamento dos seus produtos. Além disso, se utiliza de métodos financeiros para atrair clientes como parcerias com fornecedores, terceirização de atividades, melhoramento de projetos, infra-estrutura e difusão da imagem da organização (DRUCKER, 1995). Organizações podem adquirir recursos insubstituíveis para um fator de entrada desejado e adaptá-los a um custo e uso específico pretendido, não em sua forma genérica de mercado, mas sim como pessoas. Estas agregam habilidades, valores, conhecimento que se acumulam com o tempo, experiência e treinamentos (DIERICKX; COOL, 1989).

O mercado tem constantemente pressionado as organizações a baixarem o preço dos seus produtos, e conseqüentemente, os custos dos insumos, por esse motivo as organizações utilizam todos os recursos possíveis para aumentar a sua produtividade, seja no âmbito pessoal, departamental, empresarial ou macroeconômico (MARTINS; LAUGENI, 2005). Conhecer as características de cada atributo do capital da organização pode fazer a diferença entre implementar uma estratégia valiosa e uma estratégia que pode reduzir a eficiência e a eficácia de uma organização (BARNEY, 1991). No curto prazo, as melhorias nos processos produtivos oferecem grande impacto financeiro sobre o capital de giro com redução de desperdícios. Considerando que uma parcela do capital orçado para produção pode ser economizado com prevenção de falhas potenciais, pode-se obter um nível de eficiência mais elevado e conseqüentemente de eficácia pelo aumento da assertividade. Isso resulta em maior produtividade e competitividade pelo menor custo. Desta forma, a organização consegue maximizar sua margem de lucro e ser capaz de aumentar seus investimentos em P&D para competir por diferenciação (PORTER, 1989).

Da mesma forma que a FMEA, de Projeto ou DFMEA (*Design Failure Mode and Effects Analysis*), a PFMEA (*Process Failure Mode and Effects Analysis* – Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos no Processo) é uma ferramenta para prognóstico de problemas que consiste em um procedimento para desenvolvimento e execução de processos ou serviços, novos ou revisados podendo ser usada como um diário do processo ou serviço (DAILEY, 2004). A partir da PFMEA é possível realizar (com baixo risco) a prevenção de problemas e identificar soluções eficientes e eficazes em termos de custos por meio de uma abordagem estruturada para avaliação, condução e atualização

de processos em toda organização. A máxima eficácia no uso da ferramenta ocorre quando aplicada em equipe, promovendo o “aprendizado estratégico”, o qual é coletivo e o seu sentido precisa ser esclarecido à cada membro da organização (MINTZBERG; AHLSTRAND; LAMPEL, 2000). Entretanto, a PFMEA não deve, mas pode e tem sido aplicada com esforço individual esperando minimizar custos na implementação, no entanto, esses custos podem ser absorvidos com retorno significativo relacionado a qualidade, confiabilidade e reputação da organização quando aplicada de forma eficaz. E a máxima eficácia pode ser alcançada reunindo o conhecimento coletivo (a equipe) de como o processo ou serviço é projetado, produzido, utilizado e mal utilizado. A aplicação da PFMEA em equipe também possibilita visualizar o projeto sob várias perspectivas, onde cada área ou grupo é capaz de agregar novas ideias e conhecimento para levantar possíveis problemas, identificar falhas potenciais e ajudar a preveni-las. Devido à pró-atividade da PFMEA em resolver problemas e falhas potenciais antes mesmo que ocorram, é preciso abordar esta ferramenta de forma subjetiva, sendo necessário o uso de dados históricos quando possível, e também, basear-se no conhecimento e experiência da equipe (PALADY, 1997; STAMATIS, 2003).

A metodologia PFMEA pode também ser associada ao diagrama de Ishikawa que é uma ferramenta de análise de falhas bastante conhecida na indústria devido a sua simplicidade em relacionar as causas que podem influenciar um dado efeito. Esta pode então ser utilizada para projetos e reprojatos de produtos, processos ou serviços (SAKURADA, 2001). Para o sucesso na implementação da PFMEA, recomenda-se o domínio no uso da metodologia e boa abertura de *feedback* entre os níveis hierárquicos. Assim, o nível estratégico deve definir o novo modelo institucional, princípios e regras; o tático atuar no desdobramento dos princípios e regras negociados em novas práticas de produção, trabalho e avaliação permanente; e o operacional deve analisar as melhorias contínuas e gerar visibilidade das participações dos colaboradores nestas mudanças. Este processo proporciona o inter-relacionamento entre as áreas envolvidas, com reconhecimento dos resultados, motivando pessoas e incentivando boas práticas (BRESCIANI, L. P, 2001).

Além de proporcionar o melhoramento do processo produtivo, a implementação da PFMEA cria condições para o surgimento de uma nova cultura dentro das organizações através do desenvolvimento de competências em pessoas. Isso quebra paradigmas e levanta questionamento sobre o modo de condução de uma atividade, por exemplo, se pode ser modificado, reconduzido e/ou melhorado, etc. Essa nova cultura estará continuamente fomentando a necessidade de encontrar melhores soluções e ações frente aos problemas (PALADY, 1997). Dessa forma, a ferramenta retira as barreiras que privam o colaborador de orgulhar-se do seu desempenho e permite que as avaliações anuais sejam substituídas por gestão participativa. Além disso, cria um canal de comunicação para que o colaborador tenha atuação direta e possa receber subsídios para desenvolver-se junto com a organização (DEMING, 1986). O envolvimento desse capital socialmente complexo ajuda a proteger a estratégia da organização, dificultando a imitabilidade e substituibilidade, gerando uma fonte de vantagem competitiva além de maior performance financeira (BARNEY, 1986).

A fim de comprovar experimentalmente a capacidade da ferramenta PFMEA em prevenir problemas potenciais, o objetivo do presente estudo foi propor a aplicação da metodologia ao processo de montagem e simulação de um sistema eletro pneumático comum, executável em qualquer laboratório de tecnologia e/ou processo industrial. Com um circuito simples, procurou-se identificar falhas potenciais e oportunidades de melhorias no processo para, ao final, obtermos um método padronizado, intercomunicável entre os colaboradores, bem como base de treinamento em outros processos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

A internacionalização da economia retratado por Jayme tem como causa o processo de globalização e, como consequência, o surgimento de novos modelos de mercados (JAYME, 2004). Estes estão em processo de transformação e expansão até os dias atuais, mas caminham para um futuro incerto. Hamel e Prahalad em (1994) começaram a discutir o que até hoje revoluciona a estratégia empresarial, retirando velhos paradigmas da alta gerência. Estes paralisam a organização e limitam sua capacidade competitiva. O desenvolvimento aborda a estrutura estratégica que capacita uma organização em projetar, fabricar e entregar seus produtos em uma escala global e ressalta a importância do pensamento em desenvolver competências essenciais com visão de futuro e não simplesmente produtos. Também consideram que a estratégia de uma organização, não consegue visualizar em detalhes o que poderá acontecer em um futuro de dez ou quinze anos e, por esse motivo, toda a estrutura organizacional precisa estar preparada e apoiada em suas competências. Sabe-se que os mercados estão sendo redesenhados e transformados em modelos mais competitivos, onde o competidor precisará de um diferencial para sobreviver ou dominar este mercado (MINTZBERG; QUINN, 2001). Apoiado em definições de trabalhos anteriores Barney (1991), descreve a importância da escolha da estratégia para obtenção de vantagem competitiva no emprego dos recursos da organização, enfatiza a exploração de pontos fortes e anulação de suas fraquezas e, reforça que o conhecimento de todos os atributos de uma organização pode levar a uma estratégia valiosa ou prejudicar a eficiência e a eficácia de uma organização. Para obter vantagem competitiva, a estratégia não pode ser imitada por outras organizações ou, mesmo quando a imitabilidade é possível, pode existir barreiras “móveis”, incompreensíveis e complexas do ponto de vista técnico e social. O competidor que busca um diferencial precisa ser excelência no atendimento aos requisitos dos seus clientes com foco em inovações (CAIXETA, 2008). Outros autores reforçam que os critérios que determinam a competitividade podem ser atendidos ou até mesmo superados, e que existem muitas estratégias usadas pelas organizações para diferenciar-se do seu concorrente (DRUCKER, 1995). Pensando no uso de ativos como fonte de vantagem competitiva, Dierickx e Cool (1989) propõem que estes podem ser adquiridos para uma demanda desejada e adaptados para um fim específico, atribuindo à eles mais eficiência no uso e diferenciando-os dos genéricos existentes no mercado, onde a possibilidade de ser imitado ou substituído significa a perda de eficiência. Quando uma organização desenvolve um bom plano estratégico, Figueiredo afirma que um padrão de decisões é formado e, conseqüentemente, determina e revela seus objetivos, porém, um plano prévio padronizado cria uma visão do futuro (FIGUEIREDO, 2007). No entanto, para Porter (1989) uma organização precisa conhecer sua capacidade e o cenário ao qual está inserida para decidir de qual forma irá competir. A competição pelo menor custo pode significar a sobrevivência de uma organização e sua capacitação para investimentos, que poderão torná-la um competidor por diferenciação. Essa competição gerada em escala global tem forçado o preço dos produtos para baixo e deixado as organizações com margem de lucro reduzida, impactando na sua performance financeira. A reação, vem sendo, utilizar todos os recursos possíveis para aumentar a produtividade, seja no âmbito pessoal, departamental, empresarial ou macroeconômico (MARTINS; LAUGENI, 2005). Há alguns anos, Sakurada (2001), propôs o uso da metodologia PFMEA associada ao diagrama de Ishikawa, para investigar e prever falhas potenciais no processo

produtivo. Contudo, para a implementação da PFMEA, Bresciani, L. P. (2001) recomendou que a aplicação transcendesse todos os níveis hierárquicos da organização e que os esforços fossem reconhecidos, estabelecendo uma boa relação de incentivo à boa prática e motivação pessoal. Nesse contexto, a metodologia PFMEA se encaixa como uma ferramenta de apoio a estratégia e pode ser utilizada pelas organizações em seus processos produtivos para realizar previsões e prevenções de problemas antes que estes ocorram, bem como para descoberta de oportunidades de melhoria (PALADY, 1997). Como verificado por Sakurada (2001), a PFMEA associada ao diagrama de Ishikawa, (ISHIKAWA,1993) ajuda a descobrir o modo como as falhas potenciais podem ocorrer de forma simplificada, através do estudo de causa e efeito em projetos e reprojotos de produtos, processos ou serviços. Isso também implica em mudanças na estrutura de uma organização que Deming (1986) ressalta em um dos quatorze princípios estabelecidos em seu livro “Saindo da Crise”: a velha estrutura priva o colaborador do orgulho do seu desempenho e não estabelece canal de comunicação para o desenvolvimento organizacional. A cultura organizacional é também descrita por Jay B. Barney (1986) como fonte de vantagem competitiva e, a forma como é conduzida, pode adicionar atributos valiosos para melhorar a performance financeira de uma organização. A FMEA de Projeto ou DFMEA e sua derivação, a PFMEA, foram apresentadas como ferramentas para prognóstico de problemas e suas variadas possibilidades de aplicação também por Dailey (2004). O ponto de vista da PFMEA aplicada em equipe, promovendo o “aprendizado estratégico” também foi verificado por outros autores (MINTZBERG; AHLSTRAND; LAMPEL, 2000). Já os estudos de Palady (1997) e Stamatis (2003) comprovam que a PFMEA tem sido aplicada com esforço individual, esperando minimizar custos de implementação, mas dessa forma a ferramenta perde sua máxima eficácia, restringindo sua amplitude de visão. Então, por se tratar de uma ferramenta de prognóstico, esta precisa ser abordada de forma subjetiva, mas com dados históricos, e conhecimento e experiência da equipe.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A simulação da montagem experimental do sistema eletro pneumático, contou com o apoio de uma equipe de cinco graduandos do curso de Tecnologia de Produção Industrial da FATEC de Botucatu/SP e utilizou o laboratório de eletro pneumática/ eletro hidráulica para realização do experimento.

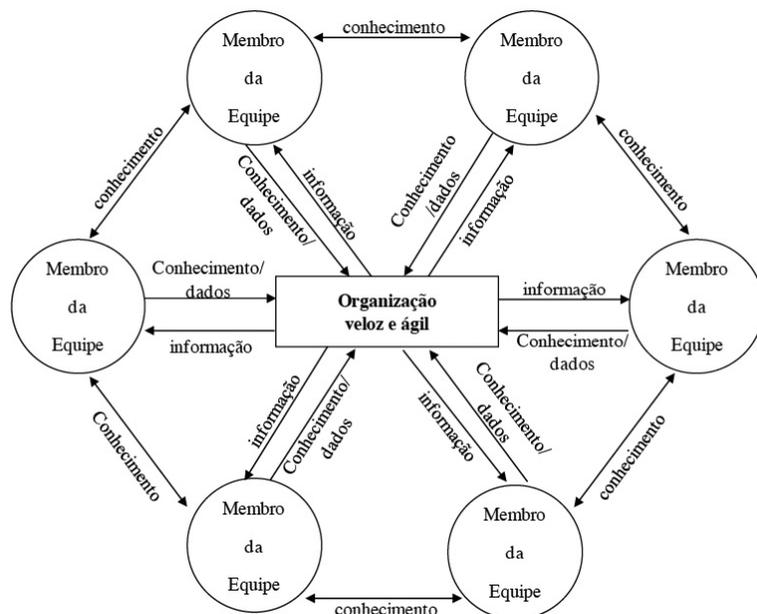
#### 3.1. Formulários PFMEA

O formulário de PFMEA utilizado foi adaptado de Palady (1997) o qual permitiu coletar, organizar e utilizar os dados de forma adequada às necessidades do processo em estudo. As tabelas de escalas de severidade, ocorrência e detecção são as mesmas utilizadas pelo autor, e permitiram a classificação dos dados encontrados para posterior cálculo do número de priorização do risco (NPR).

### 3.2. Formação da rede de trabalho

A Figura 1 representa o fluxo do processo de transformação do conhecimento proporcionado pelo trabalho em equipe organizado em redes de trabalho. A formação da rede de trabalho é extremamente importante para que as pessoas se conheçam e interajam, trocando informações e conhecimento para impulsionar suas tarefas. Nesse modelo ocorre a interação entre os membros da equipe e de cada membro da equipe com a organização de forma direta. Dessa forma, o fluxo de informação e o processo de transformação do conhecimento pode ser acelerado, tornando a organização mais veloz e ágil frente às mudanças.

Figura 1 – Processo de transformação do conhecimento.



Fonte: Elaborado por pelos autores (2012).

### 3.3. Descrição da simulação de montagem do sistema eletro pneumático

O processo experimental foi padronizado com objetivo de permitir repetição e reprodução, mesmo alternando os “colaboradores”. Assim, foram definidos circuitos esquemáticos, roteiro de experimentação e lista de peças para os sistemas pneumático e elétrico (Quadros 1 e 2), os quais serviram também para garantir que todos os experimentos pudessem ter as mesmas condições ambientais e técnicas no processo, evitando a ocorrência dos modos de falha de forma aleatória.

O processo experimental de montagem simulado foi composto por dois elementos de trabalho (cilindro de dupla ação), funcionando com repetição por meio de sensores de proximidade configurados para a lógica (A+B+A-B-), com botões de “emergência”, “parar” e “iniciar” para o seu controle. O experimento operou em uma rede em 24 volts, com quatro séries entre sensores (S1, S2, S3 e S4) e quatro bobinas (Y1, Y2, Y3 e Y4), onde as séries permaneceram ligadas em paralelo com a rede. Após a inicialização do sistema elétrico, o sistema pneumático passou a funcionar de forma controlada avançando e recuando os cilindros, conforme a lógica pré-determinada.

As práticas de montagem e os testes do sistema eletro pneumático foram realizados sem determinação de tempo, apenas visando o êxito, até a obtenção de um sistema montado corretamente e funcionando conforme a lógica requerida, e nomeados de experimento A, B, C, D e E.

Para auxiliar na seleção, conferência de materiais e também estabelecer padrão entre os experimentos realizados, uma lista de peças foi disposta com informações dos componentes necessários para execução da montagem, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Lista de peças do sistema eletro pneumático.

		FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU			
LISTA DE PEÇAS					
Local: Lab. de Produção Industrial		Mont.: Circuito eletro pneumático c/ repetição		Status: E	
Revisão: /	Data: 25/Ago/2012	Descrição: A+B+A-B-		Folha: 1/1	
Código	Descrição	Fabricante	Medida	Ind. D.I.	QTDE:
13021698	Painel	Festo		-	1UN
13022731	Fonte de Alimentação estabilizada	Festo	24Vcc	-	1UN
13022716	Placa de Botões de Com. Elétrico	Festo	5A	-	1UN
13022730	Distribuidor Elétrico	Festo	4mm	-	1UN
13022497	Sensor de Proximidade	Festo	10-30Vcc	-	4UN
13022461	Unidade de Conservação	Festo	0-12 bar	-	1UN
13022750	Bloco Distribuidor	Festo	4mm	-	1UN
13022463	Cilindro de dupla ação	Festo	10bar	-	2UN
13022480	Válvula. reg. de fluxo unidirecional	Festo	10 bar	-	4UN
13022492	Eletro Válvula Dir. 5/2 Tip. Memória	Festo	8 bar	-	1UN
13022465	Válvula. Dir. 3/2 vias Botão Gir. NF	Festo	8bar	-	1UN
159662	Tubo Flex. Eng. Rápido	Festo	4mm	-	8m
1302250	Cabos Elétricos c/ Pino Banana	Festo	4mm	-	24m
13022713	Placa de 2 relés auxiliares	Festo	24Vcc-5A	-	1UN

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

Antes da execução das atividades do processo a ser experimentado as atividades foram pré-definidas, ensaiadas e descritas configurando um Roteiro de Experimentações (ROEX). Este continha onze etapas com todas as atividades a serem executadas descritas desde o início ao fim do processo, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Roteiro de experimentação.

		<b>FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU</b>	
<b>ROTEIRO DE EXPERIMENTAÇÃO (ROEX)</b>			
<b>Local:</b> Lab. de Produção Industrial		<b>Mont.:</b> Circuito eletro pneumático c/ repetição	<b>Status:</b> E
<b>Revisão:</b> /	<b>Data:</b> 25/Ago/2012	<b>Descrição:</b> A+B+A-B-	<b>Folha:</b> 1/1
<b>Operação:</b>	<b>Descrição:</b>		
10	Certificar que a válvula da unidade de conservação esteja fechada, conferir o pagamento das peças comparando o código do produto com o código indicado na lista de peças e certificar-se de que todos os itens foram pagos e estão conformes para utilização. Observar a presença de marcas de batidas, trincas e falta de componente.		
20	Realizar o posicionamento e fixação das válvulas direcionais, reguladoras de fluxo e cilindros.		
30	Selecionar mangueiras a serem utilizadas conforme o comprimento necessário.		
40	Conectar as mangueiras em todo o sistema.		
50	Posicionar e fixar módulos de alimentação e de contatos para trabalhar com tensão de 24 V DC. Certificar que a chave de alimentação do sistema esteja desligada.		
60	Realizar as ligações elétricas das válvulas do sistema aos sensores capacitivos e módulo de contatos. Conferir todo o sistema e certificar que não existe ligação em curto-circuito.		
70	Realizar ligação entre módulo de alimentação e o módulo de contatos		
80	Realizar a limpeza do ambiente de trabalho removendo todos tipos de objetos, ferramentas que não serão utilizadas e resíduo e garantir que o ambiente esteja limpo, organizado e seguro para a realização dos testes.		
90	Verificar se há pontas decapadas expostas e se houver corrija-as e a seguir alimente o módulo de alimentação à rede de 127 V AC.		
100	Ligar a chave do módulo que alimenta o circuito e pressione o botão iniciar.		
110	Realizar os testes para os o funcionamento do selo, botões iniciar, parar e emergência. Sempre que o sistema for interrompido o reinício deve partir do ponto de parada.		

Fonte: Elaborado pelos autores (2012).

### 3.4. Treinamento da equipe

Nesta etapa, os colaboradores da rede de trabalho receberam as informações sobre o experimento por meio de apresentações de slides com abordagem de um breve histórico, relevância do projeto, programação, métodos e ferramentas utilizadas na coleta e análise dos dados para posterior implementação de ações corretivas ou de contenção.

### 3.5. Coleta e classificação dos dados

O formulário da metodologia PFMEA foi utilizado para coletar e classificar os dados conforme Figura 2.

Figura 2 – Modelo de formulário de PFMEA.

PFMEA - ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E SEUS EFEITOS NO PROCESSO										
Instituição:			Curso :		Laboratório		Experimento:		Descrição:	
Responsável:			Orientador:			Elaborado por:		Folha: 1	Contato	
Equipe:					Observações :					Data de Início:
										Data de Término:
Componente Função	Classificação	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Severidade	Causa/Mecanismo Potencial da Falha	Ocorrência	Método de Controle	Deteção	NPR	Ações Recomendadas
	FP. [ ]									
	OM. [ ]									

Fonte: Adaptado de Palady (1997).

Durante a execução do processo de montagem experimental cada componente ou função foi submetido às questões chaves do formulário de PFMEA, onde para cada coluna foi necessário responder a uma pergunta específica elaborada por Palady (1997):

- “Componente/função” (coluna 1 da Figura 2): O que esse processo ou serviço deve fazer para satisfazer ou até mesmo superar as expectativas do cliente?
- “Modos de falha” (coluna 3 da Figura 2): Como esse processo ou serviço deixa de desempenhar todas as funções que se espera dele?
- “Efeito potencial da falha” (coluna 4 da Figura 2): Qual o impacto de cada modo de falha no cliente?
- “Severidade” (coluna 5 da Figura 2): Em uma escala de 1 a 10. Qual a gravidade das consequências do modo de falha?
- “Causa mecanismo potencial da falha” (coluna 6 da Figura 2): Quais as razões que possibilitam a ocorrência do modo de falha?
- “Ocorrência” (coluna 7 da Figura 2): Em uma escala de 1 a 10. Qual é a chance dessa causa estar realmente ocorrendo?
- “Métodos de controle” (coluna 8 da Figura 2): Que tipos de controles foram planejados ou estão em vigor para garantir que todos os modos de falhas sejam identificados e eliminados.
- “Deteção” (coluna 9 da Figura 2): Em uma escala de 1 a 10. Qual é a chance de detectar o modo de falha antes dos produtos serem entregues ao cliente?
- “Ações recomendadas” (coluna 11 da Figura 2): O que pode ser feito para prevenir o modo de falha, reduzir a severidade, melhorar a deteção interna, melhorar a deteção pelo cliente?

### 3.6. Análise do Diagrama de Ishikawa ou de Causa e Efeito

Neste estudo, o diagrama de Ishikawa (1993) apresentou 6 categorias conhecidas como 6Ms: mão de obra, material, método, máquina, meio ambiente e medida. Estas categorias representam os fatores de produção em que foi possível desmembrar o processo experimental em seis partes. Assim, cada parte representa uma categoria nas quais foram realizadas as análises de causas e efeitos. O eixo principal (central) representou os efeitos e, o eixo secundário, as categorias usadas como objeto de investigação à procura de variáveis interferentes no desempenho do processo experimental. Estas variáveis são posicionadas em paralelo ao eixo principal, no lado esquerdo do eixo secundário, correspondente à sua categoria e denominadas como causas ou mecanismos potenciais das falhas ou de oportunidades de melhorias.

### 4. RESULTADOS

Foram observadas falhas potenciais e oportunidades de melhorias em sete dos quatorze tipos de componentes listados no Quadro 1: Unidade de Conservação, Cilindro de Dupla Ação, Válvula Reguladora de Fluxo Unidirecional, Eletroválvula Direcional 5/2 Tipo Memória, Válvula Direcional 3/2 vias Botão Giratório NF, Cabos Elétricos Tipo Banana e Placa de 2 Relés Auxiliares. Para os demais componentes, nenhum desvio foi observado, entretanto vale ressaltar que durante o trabalho foram encontradas falhas potenciais e oportunidades de melhorias em aspectos do processo, tais como (inclusos no formulário de PFMEA): lista de peças, preparação e montagem dos componentes.

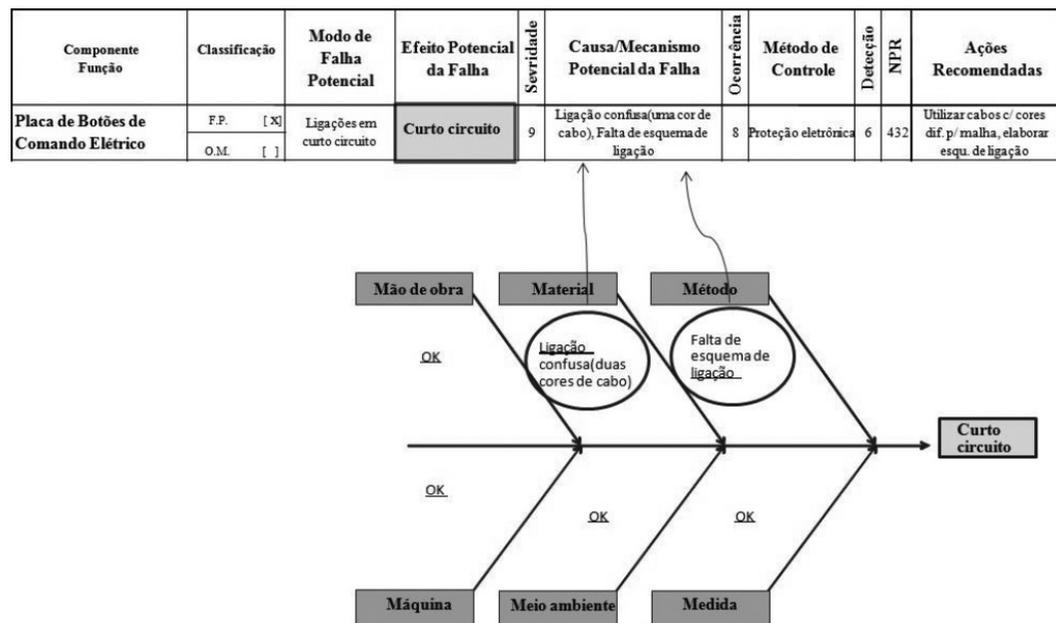
Figura 3 – Classificação e coleta de dados PFMEA.

Responsável:		Orientador:		Elaborado por:		Folha:		Contato		
						1				
Equipe:				Observações :					Data de Início:	
				Experimentos - ( A; B; C;D; E )					08/nov/12	
									Data de Término:	
									14/nov/12	
Componente/ Função	Classificação	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Severidade	Causa/Mecanismo Potencial da Falha	Ocorrência	Método de Controle	Deteção	NPR	Ações Recomendadas
Placa de Botões de Comando Elétrico	F.P. [X]	Ligações em curto circuito	Curto circuito	9	Ligação confusa(uma cor de cabo), Falta de esquema de ligação	8	Proteção eletrônica	6	432	Utilizar cabos c/ cores dif. p/ malha, elaborar esqu. de ligação
	O.M. [ ]									
Distribuidor Elétrico	F.P. [X]	Ligações em curto circuito	Curto circuito	9	Ligação confusa(uma cor de cabo), Falta de esquema de ligação	8	Proteção eletrônica	6	432	Utilizar cabos c/ cores diferentes p/ malha, elaborar esqu. de ligação
	O.M. [ ]									
Sensor de Proximidade	F.P. [X]	Não pilota a válvula	Paralisação do sistema	7	Falta calibrador para regular o sensor	8	Não existe	10	560	Desenvolver calibrador e incluir no ROPE
	O.M. [ ]									
Lista de Peças	F.P. [X]	Falta de componentes	Paralisação do processo	6	Lista de peças ineficiente, falta identificação de local dos	7	Não existe	3	126	ilustrar componente na L.P., segregar material
	O.M. [ ]									
Montagem Componente	F.P. [ ]	Processo moroso	Perda no desempenho do processo	4	Subtarefas atrasam o processo	10	Não existe	1	40	Fornecer componentes pré-montados
	O.M. [X]									
Componentes	F.P. [X]	Falta de componentes	Paralisação do processo	6	Lista de peças ineficiente, falta identificação de local dos	7	Não existe	3	126	ilustrar componente na L.P., segregar material
	O.M. [ ]									
Componentes	F.P. [ ]	Difícil localização	Perda no desempenho do processo	2	Falta identificação de local dos materiais	10	Não existe	2	40	segregar material nas gavetas e identificar
	O.M. [X]									

Fonte: Adaptado de Palady (1997).

Foram coletados dados referentes ao tempo de ciclo do processo, verificado para cada colaborador: (A) 2 horas e 10 minutos; (B) 2 horas; (C) 1 hora e 36 minutos; (D) 1 hora e 20 minutos; (E) 1 hora e 20 minutos. Observou-se que a montagem experimental foi executada pelos colaboradores dentro dos padrões pré-estabelecidos anteriormente, levando em média  $126,5 \pm 22,96$  minutos para montar, regular e testar o sistema. Nessa etapa, também foram observadas e registradas as evidências de falhas potenciais e oportunidades de melhorias no formulário de PFMEA. Com base nestes dados, para cada componente evidenciado, a ferramenta da qualidade Diagrama de Ishikawa foi aplicada para análise de causa/mecanismo potencial da falha, considerando os seis fatores de produção (exemplo na Figura 2).

Figura 4 – Aplicação do Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Adaptado de Ishikawa (1993) e Palady (1997).

Observou-se para cada componente, quais foram os modos das falhas potenciais que ocorreram, e os efeitos que esses modos de falhas poderiam causar no cliente. Com isso, foi possível quantificar em uma escala de um a dez o grau de severidade, caso esta falha chegasse ao cliente. E sabendo a intensidade dos modos de falhas, a etapa seguinte contempla uma análise de causa/mecanismo potencial da falha por meio do Diagrama de Ishikawa, onde foi possível encontrar as variáveis interferentes do bom desempenho do processo.

Após conhecer as variáveis, conforme analisadas e expostas no Diagrama de Ishikawa (formulário Figura 2) foi determinado o grau de ocorrência dessas falhas (escala de um a dez). Em seguida, investigou-se a existência de algum método de controle que pudesse evidenciar ou conter essas ocorrências e, usando-o como parâmetro, determinou-se o grau de detecção, em escala de um a dez.

Conhecendo os graus de severidade, ocorrência e detecção foi realizado o cálculo do número prioritário do risco (NPR) pelo produto de severidade x ocorrência x detecção. Com este valor, foi possível determinar em que ordem (por prioridade) as ações deveriam ocorrer.

Com base nos dados analisados, para cada componente, realizou-se a descrição das falhas potenciais e as oportunidades de melhorias para os campos modo de falha potencial, do efeito potencial da falha, da severidade, da causa/mecanismo potencial da falha, da ocorrência, do método de controle, da detecção, do NPR e das ações recomendadas.

Os componentes “Placa de Botões de Comando Elétrico, Distribuidor Elétrico e Placa de Relé” foram classificados como falhas potenciais, considerando que suas ocorrências poderiam causar impactos danosos ao processo, podendo até paralisá-lo. O modo de falha encontrado foi “ligações em curto circuito”, o que poderia causar efeitos potenciais de “curto circuito” e oferecer risco ao cliente, porém não ameaça a vida, recebendo então o grau de severidade “9” (possibilidade de interrupções das funções do projeto, geração de custos significativos e oferecer risco de segurança). Ao investigar a causa/mecanismo potencial da falha, observou-se que a utilização de apenas duas cores de cabos (vermelho e azul) deixavam as ligações confusas e, também neste mesmo contexto, observado-se que a falta de um esquema de ligação além do circuito esquemático durante a montagem contribuiu para elevar o grau de ocorrência recebendo o valor “8” (potencial de ocorrência elevada). Em seguida, investigou-se a existência de métodos de controle, os quais foram fatores determinantes para o grau de detecção do modo de falha, e assim atribuindo grau “6” para detecção (visto que há alguma probabilidade deste modo de falha ser detectado). Conhecidos os valores dos graus de severidade, ocorrência e detecção, calculou-se o produto destes três valores, obtendo-se um valor de “432” para o NRP, em uma escala de zero a mil, o qual determinou a prioridade de execução das ações. Por fim, determinou-se as ações recomendadas, com a utilização de cabos com diferentes cores por malha e a elaboração do esquema de ligação, além de ilustração da montagem passo a passo.

Para o componente “Sensor de Proximidade” definido como falha potencial, considerando que suas ocorrências poderiam causar impactos danosos ao processo, podendo até paralisá-lo. O modo de falha encontrado “não pilota a válvula”, pode gerar um efeito potencial para o cliente de “paralisação do sistema”, e dado a possibilidade de prejudicar o desempenho do projeto, levando a uma falha grave e inclusive interromper as funções do projeto, este recebeu o grau de severidade “7”. Ao analisar o efeito por meio do diagrama de Ishikawa, a causa/mecanismo potencial da falha verificou-se a falta de *standard gage* para realizar a regulagem do sensor de proximidade, e isso contribuiu para que um grau de ocorrência “8”, considerando que sem este dispositivo a ocorrência é “elevada”. Também observou-se que não existe nenhum método de controle para conter ou mesmo minimizar a ocorrência da falha, atribuindo-se “10” ao grau de detecção. Com base na classificação, o NRP foi calculado obtendo-se um valor de “560” em uma escala de zero a mil. O desenvolvimento de um *standard gage* e a inclusão de sua utilização no roteiro de experimentação foram as ações para este modo de falha.

Os componentes “Sensor de Proximidade” e “Cilindro de Dupla Ação” foram classificados como oportunidades de melhorias pelo fato de não causar danos ao sistema. O modo de falha encontrado foi relacionado a “Fixação difícil” (fixação do componente ao painel) que pode gerar o efeito de perda de desempenho para o processo, devido a demora em sua fixação, atribuindo-se para esse o grau de severidade “5” (efeito menor, mas inconveniente para o cliente; entretanto não faz com que ele procure o serviço) e, analisando o efeito por meio do diagrama de Ishikawa, foi encontrada uma ineficiência no material a qual dá origem a causa/mecanismo potencial da falha de “Difícil fixação com pino T”. Em decorrência da causa encontrada, esta foi pontuada com o grau “4” (pequeno número de ocorrência) porque está relacionado a habilidade de utilizar o recurso, que pode variar de uma pessoa para outra. Também foi constatado a inexistência de um método de controle, visto que o modo de falha é visível e pode ser percebido rapidamente, o grau de detecção foi “1” (considerando que é quase certo que será detectado). Quanto ao valor do NRP calculado em uma escala de zero a mil foi “20”. A ação recomendada para este modo de falha implica em substituir o pino “T” para fixação por um tipo de base de fixação existente que possui garras.

Ainda considerando o componente “Sensor de Proximidade”, além de ser classificado como oportunidade de melhoria, também identificou-se como falha potencial, devido ao efeito danoso que pode causar ao sistema. O modo de falha “Falta de Componente” pode gerar efeito de “paralisação do processo”, e por isso recebeu grau de severidade “8” (representando efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha). Com base no Diagrama de Ishikawa, foi encontrada a causa/mecanismo potencial da falha como sendo “componente não encontrado” em material e “lista de peças ineficiente” em método e por isso recebeu grau de ocorrência “4” (pequeno número de ocorrências). Também foi verificado que não existe nenhum método de controle, porém sabendo da necessidade destes componentes para a montagem do sistema, atribuiu-se para o grau de detecção o valor “3” (alta probabilidade de detecção). O valor do NRP resultou em um valor “96” em uma escala de zero a mil e as ações recomendadas foram: pagamento do material em kit e a inclusão de imagem ilustrativa do componente na lista de peças para agilizar o reconhecimento do componente.

No caso do componente “Cilindro de Dupla Ação”, este foi classificado como falha potencial devido a possibilidade de causar danos ao sistema. O modo de falha “comprimento da haste sem padrão” pode gerar efeito para o cliente de “danos ao produto por colisão” e, por esse motivo, recebeu o grau de severidade “6” (visto que se trata de efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que ele procure o serviço). Com base na análise do Diagrama de Ishikawa constatou-se em “materiais” que a causa/mecanismo potencial da falha foi a “falta de padrão no comprimento da haste do cilindro”, determinando-se o valor “6” para o grau de ocorrência (ocorrência moderada). Também observou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, o que contribuiu para um grau de detecção “4” (chance moderada de detecção). O valor do NRP encontrado foi “144” em uma escala de zero a mil e as ações recomendadas foram classificar e segregar o material considerando o comprimento da haste.

Para o componente “Válvula reguladora de fluxo unidirecional” classificado como oportunidade de melhoria, foi encontrado o modo de falha “falta de identificação”, o que pode gerar ao cliente o efeito de “busca mal sucedida”, atribuindo dessa forma o grau de severidade “6” (considerando efeito menor, inconveniente para o cliente; fazendo com que procure o serviço). Por meio da análise do Diagrama de Ishikawa, encontrou-se a causa/ mecanismo potencial da falha em material sendo “falta de identificação no material” e em método “lista de peças ineficiente, levando a determinação do grau de ocorrência “4” (considerando um pequeno número de ocorrência). Também detectado-se que não existe nenhum método de controle, considerando que a falta deste componente pode ser percebida e por isso o grau de detecção recebeu o valor “3” (considerando alta probabilidade de detecção). O resultado do NRP foi de “72” em uma escala de zero a mil e a ação recomendada foi o recolhimento dos materiais sem identificação para identificá-los.

No caso do componente “Eletro Válvula direcional 5/2 vias tipo memória”, este classificou-se como falha potencial, sendo o modo de falha “vazamento”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do sistema”, sendo determinado o grau de severidade “7” (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). Após análise com Diagrama de Ishikawa, constatou-se em “material” o interferente “vazamento (material com defeito)”, o qual recebeu o grau de ocorrência “5” (admitindo que se espera um número ocasional de falhas). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “10” (detecção quase impossível), calculado-se o NRP de “350” em uma escala de zero a mil. A ação recomendada para este modo de falha foi o reparo ou o envio do componente para reparo.

O componente “Válvula direcional 3/2 vias botão giratório com trava NF” classificou-se como falha potencial, com o modo de falha “montagem incorreta”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do sistema”, determinando-se o grau de severidade “7” (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). Com análise por meio do Diagrama de Ishikawa constatou-se em método o interferente “simbologia incorreta induz ao erro na seleção da válvula”, que recebeu o grau de ocorrência “4” (pequeno número de ocorrência). Também foi verificada a inexistência de quaisquer métodos de controle, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “5” (com chance média de detecção). O cálculo do NRP resultou no valor de “140” em uma escala de zero a mil e a ação recomendada para este modo de falha foi o reparo ou o envio do componente para reparo.

Quanto a “Válvula direcional 3/2 vias botão giratório com trava NF” classificado como falha potencial foi encontrado o modo de falha “vazamento”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do sistema”, e por isso foi determinado o grau de severidade “7” (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). Em uma análise com o Diagrama de Ishikawa constatou-se em “material” o interferente “vazamento” (material com defeito), o qual recebeu o grau de ocorrência “5” (admitindo que se espera um número ocasional de falhas). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “10” (detecção quase impossível), e calculado um NPR de “350” em uma escala de zero a mil. A ação recomendada para este modo de falha foi o reparo ou o envio do componente para reparo.

Para o componente “Cabos Elétricos com Pino Banana” classificado como falha potencial, encontrou-se o modo de falha “desconexão acidental”, podendo gerar ao cliente o efeito de “curto circuito”, onde para este efeito determinou-se o grau de severidade “7” (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). Com o uso da ferramenta Diagrama de Ishikawa, constatou-se em “material” o interferente “pino frouxo desconecta facilmente”, que recebeu o grau de ocorrência “7” (ocorrência frequente). Também verificou-se que existe proteção eletrônica como método de controle e isso contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “3” (alta probabilidade de detecção). O NPR calculado foi de “147” em uma escala de zero a mil, sendo recomendado como ação a substituição dos cabos com pinos frouxos.

Ainda para o componente “Cabos Elétricos com Pino Banana” classificado como falha potencial, também encontrou-se o modo de falha “não conduz corrente”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do sistema”, no qual para este efeito determinou-se o grau de severidade “7” (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). Após a realização do Diagrama de Ishikawa, constatou-se em “material” o interferente “cabos interrompidos (com defeito)”, o qual recebeu o grau de ocorrência “4” (considerando um pequeno número de ocorrências. Verificou-se que não existe nenhum método de controle, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “10” (com detecção quase impossível). Na sequência, o NPR encontrado foi “280” em uma escala de zero a mil e a ação recomendada foi a substituição dos cabos com defeitos.

Para o item “Lista de Peças” classificado como falha potencial, encontrou-se o modo de falha “falta de componentes”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do processo”, que para este efeito foi determinado o grau de severidade “6” (efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que procure o serviço). Após realizar análise por meio do Diagrama de Ishikawa, constatou-se em método o interferente “lista de peças ineficiente” e em meio ambiente “falta de identificação de local dos materiais”, os quais contribuíram para que o grau de ocorrência fosse “7” (ocorrência frequente). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “3” (alta probabilidade de detecção). O NPR calculado foi de “126” em uma escala de zero a mil e as ações recomendadas foram ilustrar componente da lista de peças, segregar material nas gavetas e identificá-los.

Para o aspecto “Montagem Componentes” classificado como oportunidade de melhoria, foi encontrado o modo de falha “processo moroso”, podendo gerar ao cliente o efeito de “perda de desempenho”, e para esse efeito foi determinado o grau de severidade “4” (efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço). Com base no Diagrama de Ishikawa, constatou-se em método o interferente “subtarefas atrasam o processo”, o qual contribuiu para que o grau de ocorrência fosse “7” (ocorrência frequente). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, porém sua ocorrência pode ser percebida, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “1” (quase certo que será detectado). Por meio de cálculo, o valor de NPR encontrado foi “40”, em uma escala de zero a mil e a ação recomendada foi fornecer componentes pré-montados.

Para “Componentes” classificados como falha potencial foi encontrado o modo de falha “falha de Componentes”, podendo gerar ao cliente o efeito de “paralisação do processo”, que para este efeito foi determinado o grau de severidade “6” (efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que ele procure o serviço). Com a análise por meio do Diagrama de Ishikawa foi constatado em método o interferente “lista de peças ineficiente” e em meio ambiente “falha de identificação de local dos materiais”, os quais contribuíram para que o grau de ocorrência fosse “7” (ocorrência frequente). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, porém sua ocorrência pode ser percebida, o que contribui para que o grau de detecção fosse o valor “3” (alta probabilidade de detecção). Com base nestes dados de severidade, ocorrência e detecção, o valor de NPR obtido foi de “126” em uma escala de zero a mil e as ações recomendadas foram ilustrar componentes na lista de peças, segregar material nas gavetas e identificá-los.

Para “Componentes” classificados como oportunidade de melhoria, encontrou-se o modo de falha “difícil localização”, podendo gerar ao cliente o efeito de “perda de desempenho”, onde para esse efeito determinou-se o grau de severidade “2” (efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto não faz com que o cliente procure o serviço). Analisando com o Diagrama de Ishikawa constatou-se em meio ambiente o interferente “falha identificação de local dos materiais” contribuindo para que o grau de ocorrência atribuído fosse “10” (ocorrência certa). Também verificou-se a inexistência de quaisquer métodos de controle, porém sua ocorrência pode ser percebida, o que contribuiu para que o grau de detecção fosse o valor “2” (remoto improvável). Ao calcular o produto de severidade, ocorrência e detecção foi obtido o valor “40” para o NPR, em uma escala de zero a mil, onde as ações recomendadas foram as de segregar e identificar o material nas gavetas.

Ao eliminar todas as variações observadas obteve-se um tempo ideal de 40 minutos em condições ótimas para montar, regular e testar o sistema, porém, considerando o fator humano, uma variação precisa ser admitida em cima deste tempo ideal.

## 5. DISCUSSÃO

Sabe-se que para aumentar a competitividade, o mercado tem buscado estratégias que visam reduzir custos de produção sem perda de qualidade, e a PFMEA é uma ferramenta que pode ser utilizada como apoio à gestão estratégica da qualidade aplicada diretamente no meio produtivo. Com essa metodologia, é possível identificar falhas e evitar desperdícios antes que ocorram, bem como fornecer ao nível tático informações sobre a capacidade e necessidades da produção para implementação do plano estratégico. Segundo Hamel e Prahalad (1994), “uma organização incapaz de fazer previsões do mercado futuro, certamente não fará parte dele para desfrutar dos seus benefícios”. Um bom plano estratégico leva uma organização a estabelecer um padrão de decisões, determinando e revelando seus objetivos, mas um plano prévio padronizado vai além e cria uma visão do futuro (FIGUEIREDO, 2007).

Os resultados obtidos com o presente estudo demonstraram que a contribuição dos colaboradores na simulação de um processo produtivo, com apontamento das falhas potenciais, pode simplificar e otimizar a execução das tarefas. O resultado final permitiu que erros fossem evitados e a produtividade melhorada no processo como um todo. A colaboração dos graduandos da FATEC de Botucatu/SP nesse estudo também proporcionou uma melhora no processo de montagem do sistema eletro pneumático utilizado pelos professores do Laboratório Experimental de Produção. O local do estudo apresenta infraestrutura, ferramentas e maquinário similar ao de uma indústria de metalurgia/produção de vários tipos de materiais, além de ser utilizado para experimentação de novos métodos e conceitos práticos das disciplinas ministradas.

Na aplicação da PFMEA ao experimento de simulação de montagem deste sistema eletro pneumático, observou-se 24 ocorrências de modos de falhas potenciais: ligações em curto circuito (3), não pilota a válvula (5), fixação difícil (3), falta de componente (3), abertura accidental da válvula (1), comprimento da haste sem padrão (1), falta de identificação (1), vazamento (2), montagem incorreta (1), desconexão accidental (1), não conduz corrente (1), processo moroso (1), difícil localização (1). Estes são exemplos práticos e passíveis de ocorrer em qualquer processo produtivo. Nas etapas de coleta e classificação dos dados, a ferramenta da qualidade Diagrama de Ishikawa foi aplicada para estudar as possíveis causas para cada efeito encontrado, tais como: ligações confusas (2 cores de cabo), falta de esquema de ligação, falta do “*gage*” para regular o sensor, difícil fixação com pino “T”, componente não encontrado, lista de peças ineficiente, marcação aberto/fechado ineficaz, falta padrão no comprimento da haste do cilindro, falta de identificação no material, vazamento (material com defeito), simbologia incorreta induz ao erro na escolha da válvula, pino frouxo desconecta facilmente, cabo interrompido (com defeito), falta de identificação de local dos materiais, subtarefas atrasam o processo. Estas causas representam os interferentes do processo, possibilitando a ocorrência dos modos de falha. A existência dessas causas investigadas contribuíram para que os colaboradores levassem um tempo médio de  $126,5 \pm 22,96$  minutos, ou seja, um tempo 3,16 vezes maior do que o ideal de 40 minutos para condições de experimentações ótimas (com os interferentes do processo eliminados).

Ao final, gerou-se o NPR (número de prioridade do risco), produto de severidade x ocorrência x detecção, que permitiu quantificar o potencial do risco de ocorrência, e assim priorizar as ações recomendadas. Em resumo, para as falhas encontradas nesse experimento, as mudanças recomendadas pelo plano de ação foram: utilizar cabos com cores diferentes por malha, elaborar esquema de ligação, desenvolver um *gage* e incluir sua utilização no ROEX, substituir pino “T” por base com garras, pagar material em kit, ilustrar componente na LP, reforçar marcação com caneta pneumática, classificar e segregar por comprimento da haste, recolher material sem identificação para identificá-los, reparar/enviar para reparo, revisar DI e corrigir simbologia, substituir cabos com pinos frouxos, substituir cabos com defeito, segregar material em gavetas e identificar, fornecer componentes pré-montados. É válido ressaltar que essas ações foram discutidas e elaboradas pela equipe que participou do trabalho e suas experiências e competências foram consideradas em todo o processo de coleta, classificação e análise dos dados.

A oportunidade para o inter-relacionamento dos colaboradores também foi um ganho significativo neste trabalho, pois gerou um nivelamento do conhecimento de todas as etapas do processo. Sabe-se que a metodologia PFMEA prioriza o trabalho em equipe para obter um nível de conhecimento homogêneo o qual permite que a produção possa alcançar melhores resultados de maneira sustentável. Também demonstrou-se que o envolvimento de um maior número de pessoas permitiu visualizar o problema em diferentes pontos de vista, considerando o conhecimento e as experiências anteriores de cada colaborador. E por isso uma defasagem de tempo precisa ser considerada, mesmo para um processo produtivo que tenha condições ótimas para experimentações, visto que os tempos dos colaboradores tiveram uma amplitude de 50 minutos, utilizando os mesmos recursos. Observou-se que mesmo para um processo simples, como o sistema eletro pneumático utilizado, gerou-se um total de 24 falhas potenciais. Estas puderam ser previstas e prevenidas com ações simples e viáveis, demonstrando o quanto um sistema conhecido ainda pode ser muito melhorado.

## 6. CONCLUSÕES

Com isso, conclui-se que a ferramenta PFMEA comprovou o ganho de eficiência no processo, através da redução dos tempos de montagem, proveniente da implementação de melhorias encontradas nas análises e da incorporação de habilidades, valores e conhecimento da equipe durante a execução do experimento. Além da redução de ciclo/tempo de execução, este processo adquiriu característica próprias pela associação ao capital humano, refletindo numa organização, por exemplo, em vantagem competitiva e impacto positivo na performance financeira. As falhas potenciais identificadas e prevenidas nesse estudo atribuem ao processo um maior grau de assertividade, tornando-o mais eficaz na produção de sistemas eletro pneumáticos, além de conferir-lhe características próprias através das ações para prevenção dessas falhas potenciais. Concluímos também que a ferramenta proporcionou interação entre a equipe (recurso socialmente complexo) e da equipe com a estrutura do processo (recurso genérico), criando espaço para o surgimento de inovações. Ao mesmo tempo, soluções diferentes das convencionais foram levantadas, demonstrando um potencial diferenciado para o processo, já que houve interação dos usuários, agregando suas ideias, melhorando o processo e reduzindo o valor do produto final. Assim, uma cultura geradora de vantagem competitiva, única, inovadora e produtiva foi criada com um método simples, mas extremamente eficaz e reprodutível em outros cenários.

## REFERÊNCIAS

BARNEY, J. B. Organizational culture: Can It be a source of sustained competitive advantage? *The Academy of Management Review*, v. 11, n. 3, p. 656-665, 1986.

BARNEY, J. B. Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, v. 17, n. 1, p. 99-120, 1991.

BRESCIANI, L. P. **O contrato da mudança: “A inovação e o papel dos trabalhadores na indústria brasileira de caminhões”**. 2001. 384f. Tese (Doutorado) – Departamento de Política Científica e Tecnológica da UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2001.

CAIXETA, C. G. F. **Competitividade brasileira: um estudo da reputação de empresas nacionais por meio das dimensões governança, desempenho e produtos e serviços**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2008.

DAILEY, K. W. **The FMEA pocket handbook**. DW Publishing Co.: 2004. 40p.

DEMING, W. E. **Out of the crisis**. Cambridge, Mass: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1986.

DIERICKX, I.; COOL, K. Asset stock accumulation and sustainability of competitive advantage. **Management Science**, v. 35, n. 12, p. 1504-15, 1989.

DRUCKER, P. F. **Administrando em tempos de grandes mudanças**. Pioneira, 1995

FIGUEIREDO, J. C. B. D. Estratégia e pensamento sistêmico. *In*: SANTOS, R. C. **Manual de gestão empresarial: conceitos e aplicações nas empresas brasileiras**. São Paulo: Editora Atlas S.A., cap. 1. p. 1-19, 2007.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. Competing for the Future. **Harvard Business Press**, 1994, 327p.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total à maneira japonesa**. Rio de Janeiro; Campus; 1993. 221p.

JAYME, J. G. **Trabalho e cidade: o caso da região metropolitana de Belo Horizonte 1991/2000**. 2004. 138f. (Projeto de pesquisa). Instituto de Relações do Trabalho, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2004.

MARTINS, P. G., LAUGENI, F. P. **Administração da produção/operações**. São Paulo: Editora Saraiva, 2005, cap.1, p.1-28.

MINTZBERG, H., AHLSTRAND, B., LAMPEL, J. **Safári de estratégia: um roteiro pela selva do planejamento estratégico**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MINTZBERG, H.; QUINN, J. B. **O processo da estratégia**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

PALADY, P. **FMEA: Análises dos modos de falhas e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Instituto IMAM. 1997, 270p.

PORTER, M. E. Estratégia competitiva: os conceitos centrais. *In*: **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Elsevier, cap. 1, p. 1-20, 1989.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análise do modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

STAMATIS, D. H. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. **ASQ Quality Press**, 2003, 445p.

