

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS
CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA MECÂNICA
DIÔNATA COELHO DE OLIVEIRA

N. CLASS.....
CUTTER.....
ANO/EDIÇÃO.....

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO A PROVA DE ERROS EM UMA
INDÚSTRIA, UTILIZANDO A MÉTODOLOGIA POKA YOKE**

Varginha
2014

FEPESMIG

DIÔNATA COELHO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO A PROVA DE ERROS EM UMA
INDÚSTRIA, UTILIZANDO A MÉTODOLOGIA POKA YOKE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro
Universitário do Sul de Minas como parte dos requisitos
para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica, sob orientação do Prof. Esp. Rullyan
Marques Vieira.

Varginha

2014

Grupo Educacional UNIS

DIÔNATA COELHO DE OLIVEIRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO A PROVA DE ERROS EM UMA
INDÚSTRIA, UTILIZANDO A MÉTODOLOGIA POKA YOKE**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas/Unis-MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Deborah Reis Alvarenga

Prof. Rullyan Marques Vieira

Eng. Lucas Vicente

OBS.:

Dedico este trabalho à todos aqueles que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional e acreditaram nesta realização. Agradeço a Deus, meus familiares e amigos que me orientaram durante estes cinco anos.

Grupo Educacional UNIS

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que colaboraram no transcorrer deste trabalho, sobretudo a Deus, a quem devo minha vida.

A minha Mãe Neide Coelho de Oliveira e meu Pai Carlos Joel de Oliveira que sempre me apoiaram nos estudos e na minha vida pessoal.

A minha namorada Nataliane Aparecida de Souza Leite por sempre me incentivar e compreender nos momentos difíceis.

Ao orientador Prof. Rullyan Marques Vieira que teve papel fundamental na elaboração deste trabalho.

E aos amigos de trabalho pela disponibilidade para me auxiliar em vários momentos.

RESUMO

Este trabalho propõe o estudo dos conceitos poka yoke, a fim de efetuar a análise de um determinado processo realizado em uma indústria do setor automotivo e desenvolver um dispositivo a prova de erros. As diretrizes foram apuradas por meio do estudo de caso, aonde se aplicou a avaliação de métodos poka yoke fazendo o uso de uma técnica baseada em cinco fases. Através do estudo desenvolvido é possível diagnosticar a causa raiz do defeito e propor uma solução, a fim de eliminar erros, melhorar a qualidade do produto e consequentemente tornar-se mais competitiva, sendo eficaz na eliminação de desperdícios. Neste trabalho ocorre a verificação de um determinado processo que faz o uso de práticas de manufatura enxuta, para posteriormente desenvolver o dispositivo recomendado, tendo como base os conceitos presentes na literatura e no estudo de caso aplicado, através da implantação da metodologia foi possível encontrar o melhor meio para desenvolver o dispositivo indicado e obter o resultado esperado, eliminando os defeitos apresentados no produto.

Palavras-chave: Dispositivo. PokaYoke. Zero defeito.

ABSTRACT

This work proposes the study of concepts poka yoke in order to perform the analysis of a given process done in a factory in the automotive sector and develop a device foolproof. The guidelines were cleared through the case study, where he applied the evaluation of poka yoke methods making use of a technique based on five stages. Through the study conducted is possible to diagnose the cause of the defect and to propose a solution to eliminate errors, improve product quality and therefore become more competitive and effective in waste disposal. In this work the finding of a specific process that makes use of lean manufacturing practices, to further develop the recommended device, based on the concepts in the literature and applied in the case study, through the implementation of the methodology is unable to find the best way to develop the indicated device and get the expected result by eliminating defects in the product.

Keywords: Device. PokaYoke. Zero defect.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de poka yokes usuais	17
Figura 2 – Classificação de métodos e sistemas poka yoke	20
Figura 3 – Sensores Fim de curso	22
Figura 4 – Sensores Fotoelétricos	22
Figura 5 – Aplicação de Sensores Fotoelétricos	23
Figura 6 – Sensor de pressão eletrônico	23
Figura 7 – Controlador lógico programável	24
Figura 8 – Sinalizadores(lâmpadas e sirenes)	25
Figura 9 – (NPR)	27
Figura 10 – (NPR) Antes da implantação do dispositivo Poka Yoke	28
Figura 11 – Fluxograma para implantação de poka yokes	29
Figura 12 – Descrição das etapas e operações do processo piloto	30
Figura 13 – Variação de peças	31
Figura 14 – Defeitos no produto	31
Figura 15 – Relação de defeitos apresentados no produto e etapas do processo	32
Figura 16 – Significado 5W2H	33
Figura 17 – Relação de defeitos apresentados no produto e etapas do processo	34
Figura 18 – Soluções apresentadas para os defeitos apresentados no produto	35
Figura 19 – tipo de Inspeção adotado	35
Figura 20 – Tipo de função adotada	36
Figura 21 – Método adotado	37
Figura 22 – Indicação de etapas do processo e sinalização de erro	38
Figura 23 – Foto do painel elétrico do dispositivo poka yoke	38
Figura 24 – Circuito pneumático da parafusadeira contadora de parafusos	39
Figura 25 – Peça 2 verificada no kanbam	39
Figura 26 – Bancada do dispositivo poka yoke desenvolvido	40
Figura 27 – Dispositivos desenvolvidos	40
Figura 28 – Versões e peças de montagem	41
Figura 29 – (NPR) após a implantação do dispositivo Poka Yoke	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MERCADO AUTOMOBILISTA E A GESTÃO POKA YOKE	12
3 CONTROLE DE QUALIDADE	13
4 ERROS E DEFEITOS EM PROCESSOS E OPERAÇÕES	14
4.1 Verificações de perdas no processo	14
4.2 Perdas pela fabricação de produtos defeituosos.....	15
5 CONCEITO POKA YOKE	16
5.1 Inspeções de processos	17
5.1.1 Inspeção por julgamento	17
5.1.2 Inspeção informativo	18
5.1.3 Inspeção na fonte	18
5.2 Erros Humanos	19
5.2.1 Nove tipos de erros humanos	19
5.3 Métodos para elaboração de poka yokes	20
5.3.1 Dispositivos para Desenvolvimento e aplicação dos métodos poka yokes	21
5.4 Eficácia na implantação de dispositivos poka yokes	25
5.5 Análise de modo de falhas em processos para implantação de poka yokes	26
6 ESTUDO DE CASO	27
6.1 Número de prioridade de risco (NPR)	27
6.2 Utilização de um Fluxograma para desenvolvimento e aplicação de poka yokes	28
6.3 Verificações do processo	30
6.4 Fase 1 - Descrever o defeito	31
6.5 Fase 2 - Apresentar a etapa que o defeito foi encontrado	32
6.6 Fase 3 - Encontrar a causa raiz	32
6.6.1 Descrição 5W2H	33
6.7 Fase 4 - Realizar brainstorming	34
6.7.1 Determinar o tipo de inspeção a ser adotada.....	35
6.7.2 Determinar o método poka yoke a ser utilizado	36
6.8 Fase 5 - Projetar e montar dispositivo poka yoke	37
6.8.1 Circuito elétrico (Método de etapas).....	37
6.8.2 Parafusadeira pneumática contadora de parafusos (Método de conjunto)	38
6.8.3 Sensor de verificação do dimensional (Método de contato)	39
6.8.4 Dispositivo de montagem poka yoke	40
7 RESULTADO	42
8 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A técnica de Poka Yoke, idealizada no Japão, tem por finalidade impedir ou precaver a execução incorreta de um determinado trabalho ou operação, conservando a segurança dos operadores e impedindo perdas de processo. Os sistemas de manufatura enxuta são afetados em seu fluxo contínuo por perdas, conforme relatam os estudos de Liker e Meier (2007) para isto, empregam-se, comumente, dispositivos elétricos, eletrônicos ou mecânicos, aplicados a uma determinada operação do processo industrial.

O emprego de dispositivos à prova de erros tem crescido em várias empresas, sobretudo nas quais, está sendo geridos programas de melhoria de desempenho dos processos de manufatura, como o Controle de Qualidade Zero Defeito. Com a finalidade de se eliminar as inspeções de controle de qualidade são implantados dispositivos Poka Yoke, uma ferramenta eficaz para atingir zero defeito que é implantada há tempos por empresas japonesas.

Assim sendo, a produção enxuta necessita de mecanismos que sejam capazes de garantir a continuidade de fluxo e, portanto, o equilíbrio da produção. Devido a simplicidade de implantação e ao caráter intuitivo dos poka yokes, a indústria tem despertado interesse crescente, sendo aplicados em ambientes diversos.

Dessa forma, Grout (2007) e Formoso et al. (2002) relatam a aplicação de poka-yoke em ambientes diversos, tais como construção civil, indústria automotiva, metalúrgica, saúde, logística, entre outras. Essa abrangência mostra que os sistemas poka-yoke desempenham um papel importante na estabilidade da produção, pois, sendo esses, sinalizadores e controladores de anormalidades, quando implementados, permitem a maior autonomia dos operadores sobre o processo.

O fato dos poka yokes contribuírem para melhoria da qualidade de produtos é bem conhecida na indústria devido a sua aplicabilidade, porem existem poucos estudos que apresentem a verdadeira necessidade de aplicação destes dispositivos e se os mesmos estão sendo utilizado de maneira correta, com intuito de atingir a causa raiz da falha e evitar que a mesma aconteça novamente, esse problema se deve a determinados fatores tais como: (a) falta de padronização de sistemas poka yokes, (b) desconhecimento do fluxo do processo, (c) aplicação incorreta dos conceitos poka yoke, (d) ausência de verificação de processo para validar o dispositivo poka yoke desenvolvido e avaliar se o mesmo atinge a causa raiz da possível falha apresentada.

Dessa forma este trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo poka yoke fazendo o uso dos conceitos disponíveis na literatura e um estudo de caso específico, a fim de desenvolver um dispositivo capaz de atingir a causa raiz das possíveis falhas do processo, apresentando em seguida o projeto desenvolvido, assim como a avaliação do mesmo.

2 MERCADO AUTOMOBILÍSTICO E A GESTÃO POKA YOKE

A empresa onde se realizou o estudo e desenvolveu-se o dispositivo poka yoke está englobado ao ramo automobilístico, apresentando uma área total de aproximadamente 115.500 m², contando com o maior centro de injeção plástica e pintura da América Latina, os principais materiais comercializados pela empresa são direcionados ao ramo automotivo, sendo porta pacotes, laterais de porta, difusores de ar, injeção de peças plásticas, estampagem de metálicos, também realizadora de processos de tratamento superficial de galvanoplastia e pintura.

No setor de produção, os operadores apresentam responsabilidades com fatores que envolvem a qualidade, segurança e manutenção, dessa forma cabem aos operadores apresentarem a necessidade de instalação de um dispositivo poka yoke, para que o setor de engenharia avalie e realize abordagens de análise e soluções de problemas utilizando o (MASP) e o modo de análise e prevenção de falhas no processo (FMEA).

Após a verificação e constatação das possíveis falhas, o setor de manutenção é acionado, sendo designado um responsável da equipe para desenvolver e aplicar o dispositivo poka yoke, obtendo o início ao plano de implementação do dispositivo são realizadas reuniões de processos de brainstorming, elaboração de diagramas de causa-efeito, 5W2H e outros.

Em seguida são estabelecidas as variáveis a serem controladas no processo, tais como número de parafusos, versões de montagem, temperatura de processo, partes integrantes da peça, tempo, etc.

A empresa estudada considera que os sistemas poka-yoke são todos os dispositivos adequados para obter uma inspeção 100% automática, sendo capazes de detectar a ocorrência de erros.

3 CONTROLE DE QUALIDADE

A Variedade de ferramentas para o controle de processos leva este trabalho a apresentar assuntos referentes às operações de inspeção e poka yokes, com intuito de apresentar os mecanismos de controle de qualidade, a fim de efetuar um embasamento para a escolha do método a ser aplicado no processo estudado.

De acordo com Crosby (1999) a qualidade é o atendimento de requisitos dos clientes, portanto não é necessariamente sinônimo de virtude, brilho, luxo ou peso, nem tão pouco é intangível e impossível de ser mensurada.

O controle de qualidade ocorre decorrente de técnicas da engenharia de qualidade e de ferramentas, dentre as técnicas da engenharia da qualidade está às operações de inspeção e os poka yokes, os quais podem ser aplicados aos processos, com intuito de apresentar um acréscimo às análises.

Shingo (1996a) e Bornia (1995) asseguram que é indispensável que a empresa avalie continuamente o desempenho de seus processos e promova correções e ações de melhoria rapidamente para manter-se competitiva. Dessa forma, consta-se que a elaboração de um método poka yoke pode colaborar com empresas que desejam avaliar seus processos, a fim de eliminar erros, melhorar a qualidade de seus produtos e conseqüentemente tornar-se mais competitiva sendo eficaz na eliminação de desperdícios.

Decorrente de sua abrangência o controle de qualidade requer uma mudança cultural da organização, com o comprometimento de todas as pessoas (ISHIKAWA, 1993).

Este trabalho apresenta as técnicas aplicadas com a finalidade de efetuar um estudo de caso referente ao processo proposto.

4 ERROS E DEFEITOS EM PROCESSOS E OPERAÇÕES

Defeitos são resultados de uma ação realizada de maneira incorreta, assim denominada de erros, os quais são consequência das variações que ocorrem no sistema.

Deming (1986) ainda afirma que a administração deve estar comprometida com o processo para não prejudicar a qualidade e conseqüentemente a produtividade.

De acordo com Juran (1990), os problemas são de responsabilidade da administração e não dos operadores, portanto as melhorias devem ser procedentes da administração. Dessa forma, é de responsabilidade da gerência estabelecer recursos para garantir a qualidade e dar ênfase às responsabilidades das linhas de produção.

Pojasek (2005) afirma que, as pessoas que são bem treinadas e suportadas pelo sistema de produção que assume erros, por consequência as mesmas pessoas cometem menos erros.

Por natureza, o ser humano tende ao erro. Ninguém é capaz de fazer 100% de tudo com precisão e confiabilidade, isto devido aos fatores de distração, cansaço, confusão ou desmotivação. Assim, os processos conduzidos e controlados pelo homem são suscetíveis a falhas e estas podem surgir sem dar notícias. Segundo Crosby (1999), a maioria dos erros vem da falta de atenção e não da falta de conhecimento. O homem já tem como princípio que o erro é inevitável.

O primeiro erro pode ser consequência da falta de habilidade técnica. Neste caso, deve ser resolvido com treinamento e capacitação das pessoas (JURAN, 1997).

Os erros voluntários são decorrentes da falta de respeito às regras ou normas, padrões, ou por sabotagem, etc.

São casos que podem ser solucionados com conscientização das pessoas e dispositivos à prova de falhas (JURAN, 1997).

Já os erros inadvertidos, são os não intencionais, imprevisíveis e inconscientes, ou seja, a pessoa que comete este tipo de erro não está no seu momento de total consciência. Estes erros ocorrem pela falta de atenção, distração e fadiga do executor, tais erros podem ser resolvidos com a aplicação dos Poka Yoke para evitar estes tipos de falhas (JURAN, 1997).

A gestão da qualidade com intuito de obter o zero defeito, sendo importante para manter a satisfação do cliente e a lealdade, sabendo que existe sempre um custo associado a defeitos de fabricação.

4.1 Verificações de perdas no processo

Os processos de produção envolvem o fluxo de material desde o processamento da peça a ser produzida, montagem e embalagem.

As perdas verificadas nos processos estão relacionadas aos procedimentos errados ou realizados inadequadamente, material não conforme, ferramentais desgastados ou falhas humanas.

Todos os processos apresentam um potencial para ocorrência de falhas, assim podem oferecer uma oportunidade para eliminação de defeitos e melhoria da qualidade resultante.

Para que seja possível reduzir a variação do processo e conseqüentemente reduzir os custos com defeitos de qualidade é necessário identificar as entradas e saídas do processo, sabendo quem são os clientes e os fornecedores.

4.2 Perdas pela fabricação de produtos defeituosos

Esta perda está relacionada à fabricação de produtos fora do padrão, ou seja, produtos que não estão de acordo com os requisitos de qualidade especificados pelo projeto e assim não satisfazem os requisitos de uso (DIEDRICH, 2002; KAYSER, 2001).

A confiabilidade do processo e a rápida detecção e solução de problemas levam a minimização das perdas, para que as perdas possam ser eliminadas deve ocorrer a inspeção, a qual previne os defeitos, porem essa inspeção deve apresentar medidas para quando ocorrer os defeitos, evitando assim a recorrência dos mesmos. Por outro lado, a inspeção realizada no final, que distingue produtos defeituosos de não defeituosos não tem efeito na redução das não conformidades (SHINGO, 1996a).

5 CONCEITO POKA YOKE

Os conceitos e ferramentas poka yoke foram desenvolvidos pelo japonês Shigeo Shingo, no início da década de 1960, Shingo foi engenheiro e consultor empresarial deixando várias publicações na área de qualidade, sendo um dos principais defensores dos processos estatísticos de prevenção de falhas e análises de riscos, mas chegou a conclusão que o erro é inerente a humanidade.

Shingo não estava satisfeito em reduzir os produtos defeituosos as mãos do consumidor final, ele desejava desenvolver um novo sistema operacional de baixo custo e alta eficiência com o objetivo de eliminar totalmente a possibilidade de o erro chegar ao consumidor final.

A maneira utilizada por Shigeo para abordar o tema é exposto no texto abaixo:

Numa visita à fábrica da Yamada Eletric em 1961, Shingo foi informado de um problema que esta enfrentava com um de seus produtos. Um dos componentes desse produto era um interruptor com dois botões para serem pressionados e, por trás dos quais havia uma mola (em cada um). Algumas vezes, o operário responsável por sua montagem esquecia-se de colocar uma das molas, e o defeito só vinha a ser descoberto quando o produto chegava ao consumidor. Para corrigir o problema a fábrica tinha que enviar um engenheiro para desmontar o interruptor, inserir a mola e remontá-lo. A ocorrência desses erros era, portanto, custosa e prejudicial à imagem da empresa. Apesar dos esforços da gerência da fábrica para que os empregados tivessem mais atenção no trabalho, os erros de molas faltando não conseguiam ser eliminados (TIGRE *et al*, 2002, p. 3).

O problema da falta de molas foi solucionado por Shingo, através da proposta da alteração do processo de produção para impedir o esquecimento da falta de molas.

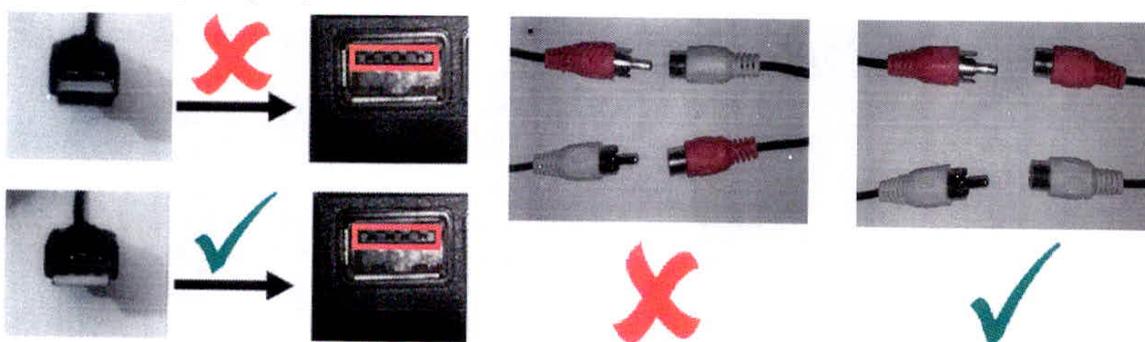
Ao contrário do processo anterior, em que o operário começava pegando duas molas em uma grande caixa de componentes para, em seguida, montar o interruptor, agora o primeiro passo era a colocação de um pequeno prato em frente à caixa de componentes, e o operário começava por tirar duas molas da caixa e colocá-las no prato para, logo após, montar o interruptor. Se alguma das molas sobrasse no prato, ele saberia que tinha se esquecido de colocá-la. Esse procedimento eliminou completamente o problema das molas esquecidas (TIGRE *et al*, 2002, p.4)

Desde então o sistema de ferramentas foi batizado por Shigeo de Ferramentas poka yoke, pois em japonês a palavra poka significa erro não intencional e yoke significa prevenir (TIGRE *et al*, 2002). As ferramentas a prova de erro continuaram sendo desenvolvidas até a década de 1990 por Shingo com o objetivo de desenvolver soluções simples, de baixo custo e alta eficiência.

Tendo como base os conceitos expostos acima e assumindo a execução na prática, pode-se dizer que poka yoke é um método que utiliza sensores ou outros dispositivos para captura de erros que podem passar pelos operadores ou montadores.

A figura 1 exposta abaixo apresenta poka yokes usuais utilizados em residências, exibindo o conector USB que utiliza um modelo para impedir a inserção incorreta no conector fêmea do PC, outro conector exposto na figura é utilizado em aparelhos de áudio e vídeo, para alertar o usuário em relação a montagem correta.

Figura 1 – Exemplo de poka yokes usuais



Fonte: O autor

5.1 Inspeções de processos

A inspeção incide da checagem do produto com os requisitos aplicáveis a esse produto (HIDRATA 1993). Desta maneira qualquer pendência apresentada entre o padrão estabelecido e os resultados encontrados durante a inspeção realizada é considerado uma anormalidade.

Shingo (1986) assegura que os métodos *Poka Yoke* apresentam duas funções: a primeira delas, com modo de inspeção e a segunda, limitada a situações anormais. De tal maneira propõe inspeções de fonte, comparação durante a operação e checagem sucessiva, ou seja, a comparação de conformidade do que foi recebido da operação anterior.

O controle de erro de produção pode ser feito, segundo Shingo (1986), através de três técnicas baseadas em inspeção: segundo critérios de julgamento, de informação e de origem, como segue:

5.1.1 Inspeção por julgamento

O intuito da inspeção por julgamento é descobrir defeitos, impedindo que os mesmos não cheguem a clientes externos ou internos. Dessa forma, durante o processo, os produtos com deformidade são separados, por amostragem, dos produtos bons. Segundo Ghinato (1996) esta inspeção é utilizada em lotes inteiros de produção, e os defeitos são revelados antes da entrega o que não elimina a produção de produtos defeituosos.

5.1.2 Inspeção informativa

A finalidade é reduzir os defeitos baseando-se nas causas dos defeitos que são investigadas através de elementos estatísticos, as informações são transmitidas aos processos apropriados a fim de examinar os dados obtidos para restringir as deformidades. Segundo (Shingo, 1988), esse método é superior na inspeção por julgamento, porém é ineficaz para obter zero defeito, tendo em vista que o destaque está na detecção de erros de defeitos no produto ao invés de verificar erros no processo.

A inspeção informativa se caracteriza por três categorias:

- a) Controle estatístico do processo: É realizada através das cartas de controle, onde uma causa é considerada fora do limite quando apresentar valores superiores ou inferiores a causa media.
- b) Sistema de inspeção sucessiva: Esta inspeção é aplicada a todas as estações de trabalho, de maneira que cada colaborador inspecione o item recebido da etapa anterior antes de executar a sua operação. Porém, as informações demoram a chegar à origem do problema e até então, os defeitos continuam sendo produzidos.
- c) Sistema de auto inspeção: Apresenta-se como o sistema mais eficaz de inspeção informativa, pois ela é executada pelo colaborador responsável pelo processamento, possibilitando ação corretiva instantânea.

5.1.3 Inspeção na fonte

Apresentada por Shingo (1988) como a mais eficiente, pois o seu objetivo é eliminar preventivamente os defeitos trabalhando na origem do processo, o retorno é imediato o que evita que os erros se transformem em defeitos. É realizada antes da produção comumente por processos automatizados, impedindo que o ciclo de produção tenha início sem que todos os componentes estejam em seus devidos lugares.

Os defeitos são detectados no ponto de origem, apresentando um feedback rápido para ação corretiva, mas a eficácia do sistema depende de onde ele é usado, pois pode ser usado somente para apresentar um aviso ou desligar o processo.

Segundo Shingo, embora as etapas de inspeção, se utilizadas em conjunto, deem um *feedback* rápido de problemas no processo, a sua maior contribuição é indicar quais os pontos do processo que são potencialmente “perigosos”, de forma que todo o projeto possa ser reavaliado e modificado, eliminando os pontos de ocorrência de erros TIGRE *et al*, 2002, p. 6).

Segundo Shingo (1996), devem ser considerados dois tipos de inspeção para aplicação de poka yoke:

- a) Inspeção sensorial – depende da avaliação e dos sentidos humanos; por exemplo, concentração de cor, intensidade do brilho no recobrimento, etc.;
- b) Inspeção física – não depende dos sentidos humanos e emprega diversos instrumentos de detecção.

5.2 Erros Humanos

Para que exista uma efetiva implantação da metodologia poka yoke é necessário reconhecer que é natural que as pessoas cometam erros, pois não perceber que um erro foi cometido ou uma máquina não está funcionando não faz que uma pessoa seja estúpida ou tola.

5.2.1 Nove tipos de erros humanos

Algumas das principais razões para recorrência de erros humanos podem ser visualizadas abaixo:

- a) Esquecimento;
- b) Identificação errada;
- c) Falta de experiência;
- d) Intencional (ignorando regras ou procedimento);
- e) Teimosia;
- f) A falta de padronização;
- g) Surpresa (operação inesperada da máquina, etc.);
- h) Intencional (sabotagem);
- i) Mal entendido.

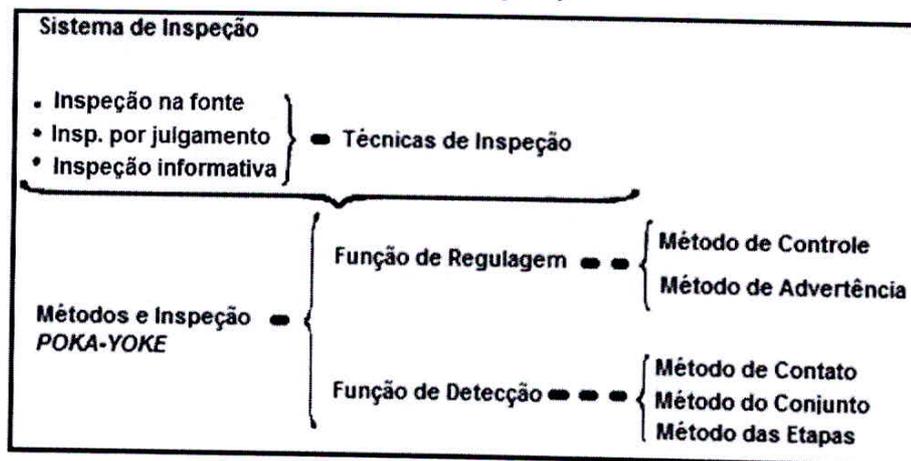
5.3 Métodos para elaboração de poka yokes

O fato das falhas humanas serem inevitáveis é a principal premissa associada ao conceito do Poka Yoke, mas podem ser eliminadas prevenindo-se que uma falha venha a se tornar um defeito, para isso são desenvolvidos dispositivos que podem ser usados para prevenir e detectar erros e defeitos a fim de evitar a falha humana e consequentemente garantir a confiabilidade do produto final, mas antes de projetar e instalar algum dispositivo existe a necessidade de determinar se deverá basear-se na autoinspeção, na inspeção sucessiva ou inspeção na fonte. Ao definir o tipo de inspeção, o poka yoke é utilizado como uma medida prática para atingir a inspeção 100%.

A maioria dos dispositivos poka yokes são dispositivos sensores ou gabaritos que garantem 100% de conformidade o tempo todo (Shingo, 1996).

Em 1988 Shingo elaborou uma proposta que classifica os sistemas poka yokes em função de regulagem e função de detecção, sendo a primeira função dividida em método de controle e método de advertência e a segunda função dividida em método de contato, método de conjunto e método de etapas.

Figura 2 – Classificação de métodos e sistemas poka yoke



Fonte: SHINGO, Shigeo, 1996.

- a) Método de controle: é assim denominado, porque se detecta uma variabilidade inesperada no processo e interrompe-se a operação para evitar a produção de defeitos em serie, tendo uma alta capacidade de atingir o zero defeito elaborando-se um senso de urgência induzindo o operador a realizar a ação correta.

- b) Método de advertência: o poka yoke desenvolvido tem por objetivo detectar a anormalidade sem interromper o processo, apresentando o erro através de um sinal sonoro ou visual.
- c) Método do contato: Utilizado para detectar anormalidades nas dimensões, prosseguindo a operação a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação;
- d) Método de conjunto: Este método é utilizado na contagem de determinados elementos ou etapas idênticas, verificando se as atividades previstas são executadas;
- e) Método de etapas: Verifica se a sequência de estágios ou operações determinados através de um procedimento é seguida.

5.3.1 Dispositivos para Desenvolvimento e aplicação dos métodos poka yoke

Estes dispositivos trabalham para verificar algo que foi tocado fisicamente, podendo ser uma peça de máquina ou uma peça real que está sendo fabricado.

Na maioria dos casos, esses dispositivos enviam um sinal eletrônico quando são tocados. Dependendo do processo, este sinal pode encerrar a operação ou dar um sinal de alerta ao operador.

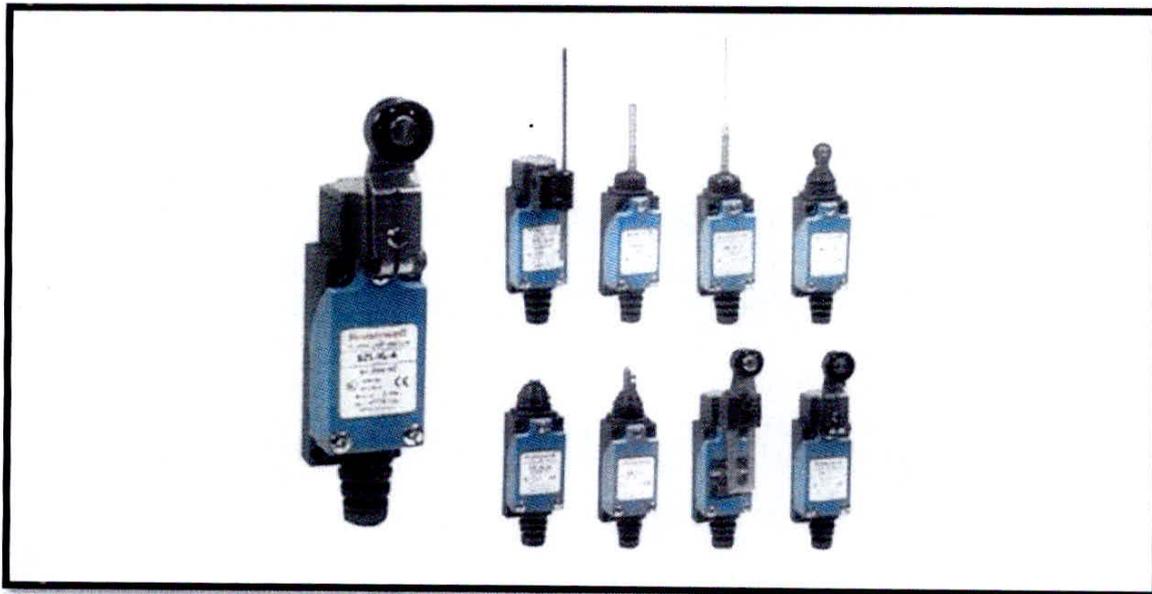
Para o desenvolvimento dos dispositivos poka yoke é necessário a utilização de gabaritos, equipamentos pneumáticos, sensores e outros componentes eletroeletrônicos com a finalidade de verificar a peça a ser produzida, informando a um circuito eletrônico a respeito do evento que esta sendo avaliado externamente, para que o circuito desenvolvido possa comandar uma determinada ação e assim evitar um possível erro.

A seguir são abordados alguns sensores utilizados em dispositivos poka yoke e seus respectivos métodos a serem implantados.

Dispositivos de contato Mecânicos: Usado para detectar fisicamente a presença ou ausência de um objeto, prevenindo a falta de peças.

Para efetuar o sensoriamento mecânico, posições ou presença, são utilizados sensores mecânicos como, por exemplo, sensores fim de curso e chaves (switches) conforme figura apresentada abaixo.

Figura 3 – Sensores Fim de curso.



Fonte: Revista Saber Eletrônica, 2006

Sensores fotoelétricos: A vantagem dos sensores fotoelétricos frente aos mecânicos é o fato de não apresentarem desgaste, pois não apresentam peças moveis, as quais estão sujeitas a quebra e desgaste, estes sensores são acionados quando um objeto quebra a transmissão do sinal fotoelétrico.

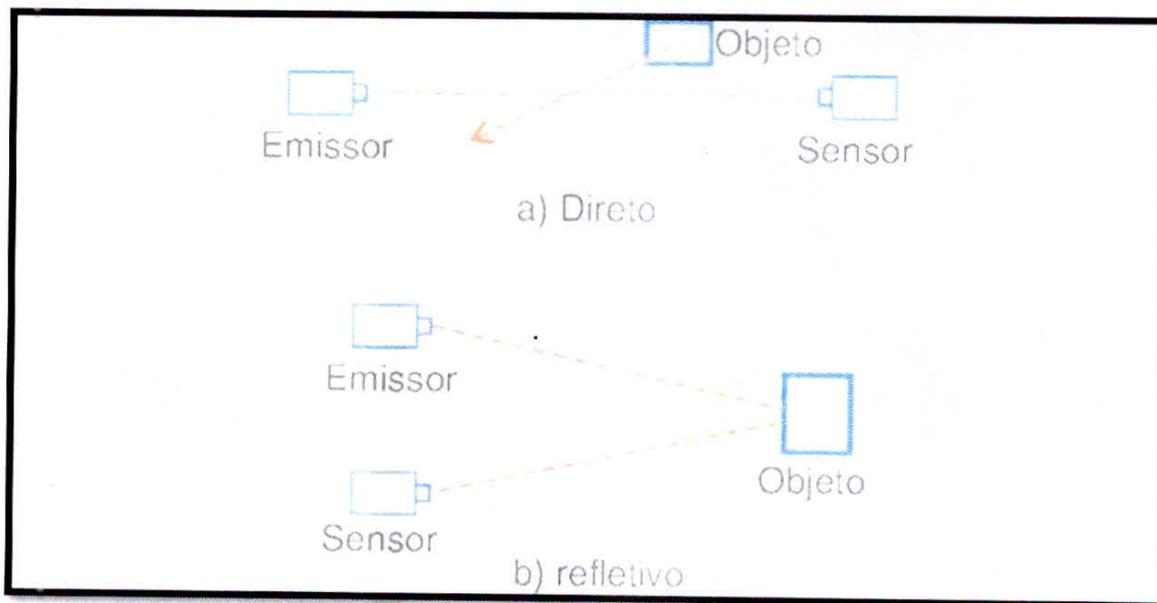
Figura 4 – Sensores Fotoelétricos.



Fonte: Revista Saber Eletrônica 2006

Os fotosensores podem ser empregados em diversas configurações, conforme apresentado abaixo:

Figura 5 - Aplicação de Sensores Fotoelétricos.



Fonte: Revista Saber Eletrônica, 2006

Sensores diferenciais de pressão: Estes sensores verificam o diferencial de pressão de uma linha, podendo ser usado para impedir um processo que necessita manter uma pressão específica e impedir o funcionamento no caso de uma pressão inferior ou superior.

Figura 6 – Sensor de pressão eletrônico.



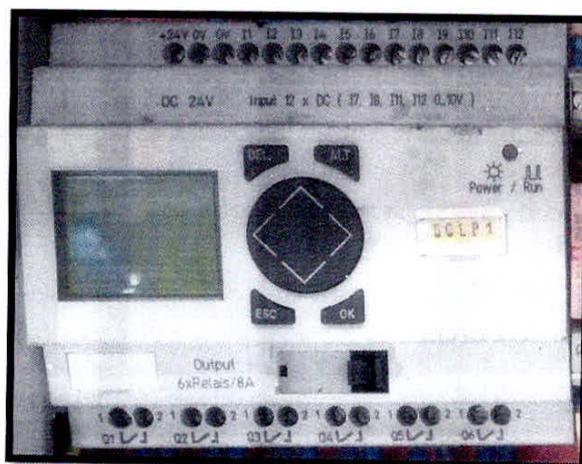
Fonte: O autor.

Dispositivos passivos é, por vezes, o melhor método. Estes podem ser tão simples como pinos de guia ou bloqueios que não permitem a montagem na posição errada antes do processamento.

Alem dos sensores citados anteriormente, existe uma grande quantidade de sensores que podem ser utilizados com intuito de verificar o processo, tais como: sensores indutivos (detecta metais), capacitivos (detecta metais e não metais, muito aplicado como detector de níveis de líquidos em reservatórios), Sensores térmicos (termopares, NTC, PTC), Sensor de leitura de cor, sensor de vibração, entre outros.

Controlador lógico programável: Conhecido pelas siglas CLP ou PLC, é um aparelho eletrônico constituído de entradas e saídas utilizando uma memória programável podendo armazenar uma programação lógica dedicada, assim sendo é um componente muito utilizado em dispositivos poka yoke, pois pode ser empregado para programar funções lógicas, tais como, sequenciamento, temporização, contagem, com intuito de verificar o processo através sinais elétricos enviados por sensores, avaliar as condições por meio da lógica programada e emitir um sinal de saída para concluir a atividade.

Figura 7 – Controlador lógico programável.



Fonte: O autor

Dispositivos sinalizadores: Entre os periféricos utilizados para o desenvolvimento de poka yokes, está os sinalizadores, estes sinalizadores emitem um sinal de alerta para o operador alertando de que há um problema. Esses sinalizadores usam cores, alarmes e luzes para chamar a atenção dos colaboradores.

Figura 8 – Sinalizadores (lâmpadas e sirenes).



Fonte: O autor

Estes sinalizadores podem ser usados em conjunção com um sensor de contato ou de energia para chamar a atenção dos colaboradores.

5.4 Eficácia na implantação de dispositivos poka yoke

De acordo com Calarge e Davanso (2003), na implantação de ferramentas poka yoke alguns pontos importantes devem ser ressaltados a fim de se conseguir sucesso:

- a) Treinamento: Este é um ponto muito importante para eficácia da implantação de poka yokes, mas não se resolve todos os problemas apenas com o treinamento, em situações em que as operações são muito repetitivas é necessário desenvolver um dispositivo a prova de falha e efetuar um treinamento dedicado a fim de apresentar as verificações necessárias quanto ao seu funcionamento.
- b) Comprometimento e motivação: Quanto maior o comprometimento por parte das áreas técnicas e gerência na realização dos trabalhos, maior será o envolvimento das equipes e dos indivíduos.
- c) Mudança de postos de trabalho: A rotatividade é um ponto importante na formação de mão de obra multifuncional, mas em determinados casos contribui para uma maior frequência das falhas e paralisações, devido à falta de conhecimento específico das atividades realizadas.

- d) Recursos financeiros: Ao implantar um dispositivo poka yoke deve ser levado em consideração os custos relativos à implantação, a vida útil do processo ao qual será instalado o dispositivo.

A finalidade da inspeção é prevenir os defeitos, não tendo simplesmente a finalidade de encontrá-los, pois prevenindo evita-se transtornos nas linhas de produção. As inspeções podem ser substituídos com garantia por Poka Yoke que tenham contatos físicos, mecânicos e elétricos, para a antecipação e detecção de defeitos potenciais, tanto no processamento da peça, como no monitoramento da operação.

5.5 Análise de modo e efeito de falhas em processos (FMEA) para implantação de Poka Yokes.

O FMEA de processo apresenta com intuito de assegurar uma avaliação dos modos de falha do processo, verificando assim as causas para estabelecer mecanismos de controle.

Os modos potenciais de falha de um processo são registrados em um formulário padrão, a fim de estabelecer um roteiro para análise das causas e efeitos das falhas com o intuito de estabelecer um roteiro para análise das causas e efeitos das falhas com intuito de estabelecer ações corretivas.

Para cada falha ocorrida em um processo, deve-se registrar no formulário padrão com a intenção de se estabelecer possíveis dispositivos Poka Yoke, a fim de resolver as mesmas falhas, evitando erros na produção e perdas futuras.

Após elaborar o FMEA de processo é necessário avaliar o (NPR) apresentado.

De acordo com a Setec, (NPR) é o produto dos índices de Severidade, Ocorrência e Detecção, para calculo utiliza-se o maior índice de severidade, o índice de ocorrência e o menor índice de detecção.

- a) A severidade deve ser estimada em uma escala que vai de 1 a 10 apresentando a severidade do efeito sobre o cliente, tais como segurança em operações, não conformidade, perda da função primária, acabamento ou barulho, conforto entre outros.
- b) A ocorrência é uma estimativa de que uma causa específica venha a ocorrer resultando no modo de falha dentro da vida do projeto, é representado em uma escala de 1 a 10.
- c) A detecção é uma estimativa da probabilidade de se detectar a falha, baseando-se nas formas de controle detectivos existentes, apresentando a capacidade do projeto de identificar uma deficiência em potencial do projeto, onde a escala é feita de 1 a 10, sendo que o valor 10 apresenta uma detecção totalmente incerta e o valor um apresenta uma detecção quase certa.

6 ESTUDO DE CASO

Segundo os conceitos apresentados neste trabalho sobre poka yoke, observa-se que o principal objetivo é atingir o zero defeito, para obter esse objetivo é necessário realizar a análise do processo e, avaliar o (NPR) encontrado, examinando as operações efetuadas, tendo o intuito de aplicar o método adequado, desenvolvendo dispositivos coerentes a custos economicamente viáveis, com a finalidade de atingir o zero defeito, garantindo a confiança do cliente e mantendo a imagem da empresa.

6.1 Número de Prioridade de Risco (NPR)

Com a finalidade de verificar a necessidade da elaboração de um dispositivo poka yoke para o processo estudado, foi realizada a verificação do (NPR) apresentado após o desenvolvimento do FMEA.

A figura 9 exposta abaixo apresenta a formula para calculo do (NPR), e logo após na figura 10 é exposto o valor encontrado para o (NPR) e os respectivos valores da severidade, ocorrência e detecção.

Figura 9 – (NPR)

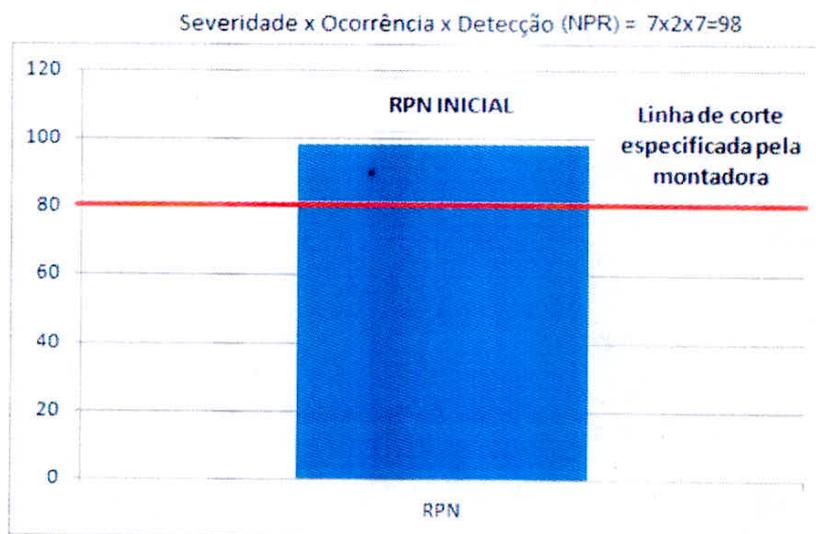
$$\boxed{\text{NPR}} = \boxed{\text{Severidade}} \times \boxed{\text{Ocorrência}} \times \boxed{\text{Detecção}}$$

Fonte: O autor

Para cumprir os critérios do cliente referente ao processo em questão, deve ser adotado um limite de corte para o processo equivalente a 80, dessa forma caso o (NPR) do produto seja superior a 80, uma ação deve ser elaborada.

Após a preparação do FMEA foi constatado o (NPR) conforme apresentado na figura 10, o qual foi utilizado como premissa para realização desse projeto, pois ultrapassava em 18 pontos o limite superior especificado pela montadora.

Figura 10 – (NPR), Antes da implantação do dispositivo Poka Yoke.



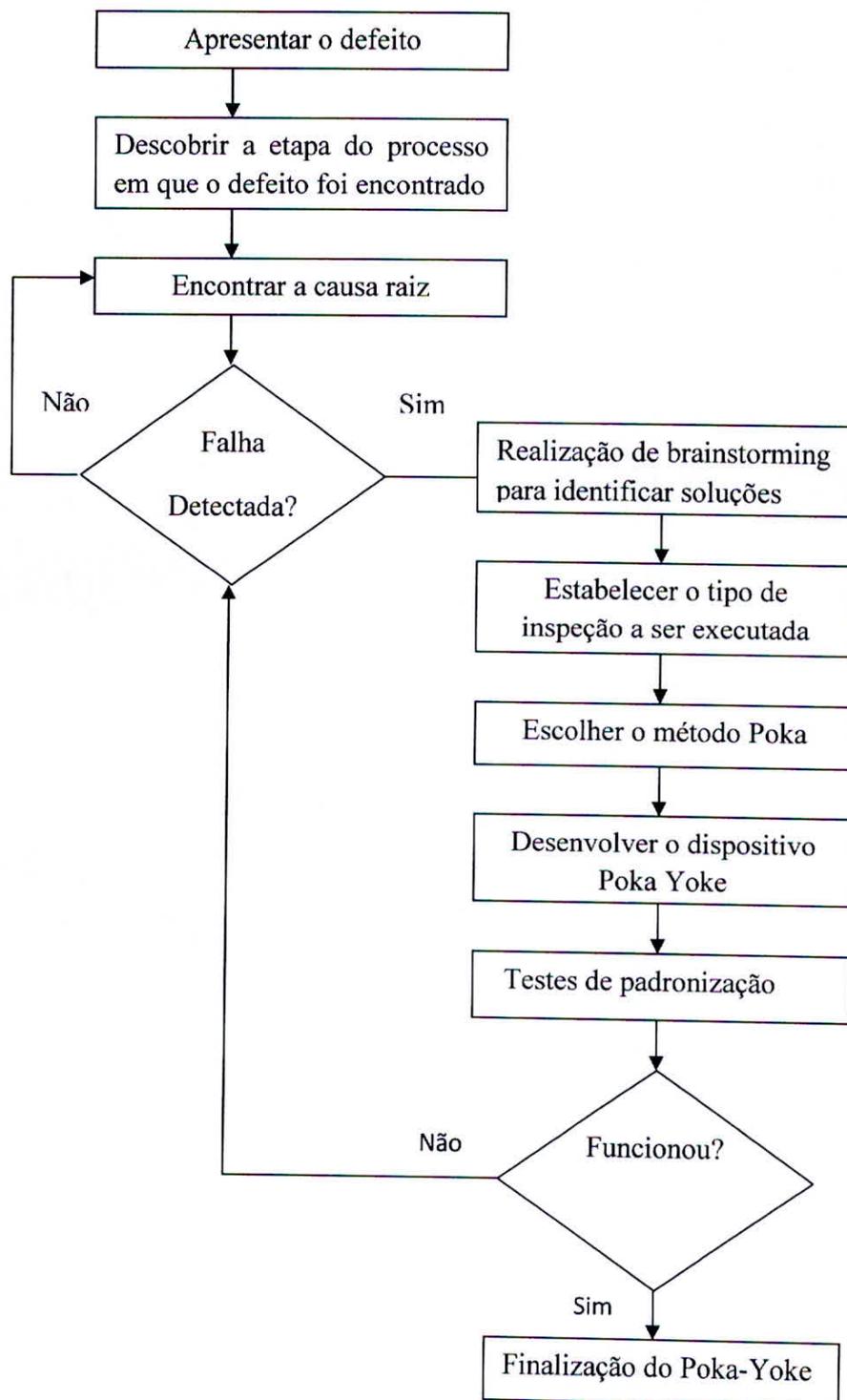
Fonte: O autor

6.2 Utilização de um Fluxograma para desenvolvimento e aplicação de poka yoke

O importante na análise de falhas não é saber se o produto sairá errado, mas sim, quando o problema será detectado. Para auxiliar na implantação dos dispositivos, foi utilizado um fluxograma explicativo, com o intuito de auxiliar no processo de análise de falha e aplicação de Poka Yoke.

Mcgee (2005) sugeriu cinco fases: (1) descrever o defeito e o impacto desse defeito sobre o cliente; (2) descobrir a etapa do processo em que o defeito foi encontrado, em seguida verifica-se onde o mesmo defeito foi criado; (3) Encontrar a causa raiz que ocasionou o defeito; (4) Realização de um brainstorming com a equipe para apresentar possíveis formas de eliminar os desvios de processo; (5) desenvolver, testar, validar e implantar o dispositivo poka-yoke.

Figura 11 – Fluxograma para implantação de poka yokes



Fonte: Autor

O fluxograma apresenta o modelo proposto, investigativo para descobrir a causa fundamental do problema, tendo visto que um simples treinamento e motivação aos /colaboradores pode resolver erros cometidos nas operações, não tendo a necessidade de utilização de dispositivo Poka-Yoke para eliminar o problema a partir de métodos específicos, assim como uma inspeção no processo pode encontrar o erro, não sendo necessária a implantação de dispositivos que verifique a ocorrência de falhas.

Caso a aplicação do dispositivo seja necessária, o plano de ação será todo voltado para a implantação do mesmo e, em seguida, será feito a análise de falha para encontrar a causa raiz do problema.

6.3 Verificações do processo

Para dar início a esta técnica é necessário identificar um processo piloto, apresentando as operações realizadas durante as etapas, na figura 12 são descritas as etapas e operações do processo piloto.

Figura 12 – Descrição das etapas e operações do processo piloto

Etapas do processo	Op	Operações realizadas durante as etapas
Etapa 1	1	Apanhar peça 1 no kanbam e inserir no dispositivo
	2	Colar feltro na peça 1
	3	Inverter posição da peça através do dispositivo
Etapa 2	4	Apanhar peça 2 no kanbam e inserir na peça 1
	5	Fixar peça 2 com 4 parafusos
	6	Inverter posição da peça através do dispositivo
Etapa 3	7	Apanhar peça 3 no kanbam e inserir na peça 1
	8	Fixar peça 3 com 4 parafusos
	9	Inverter posição da peça através do dispositivo
Etapa 4	10	Apanhar peça 4 no kanbam e inserir na peça 1
	11	Fixar peça 4 com 4 parafusos
	12	Retornar posição inicial da peça através do dispositivo
Etapa 5	13	Retirar produto do dispositivo e finalizar processo

Fonte: Autor

Conforme apresentada na figura 13, o processo piloto apresenta quatro peças, as quais apresentam variações para montagem.

Figura 13 – Variação de peças

Peças	Variações
Peça 1	Única
Peça 2	Única
Peça 3	Com acessorio/sem furo
	Com acessorio/com furo
	Sem acessorio/sem furo
	Sem acessorio/com furo
Peça 4	Com furo
	Sem furo

Fonte: Autor

Depois de identificado o processo, deve-se então seguir a metodologia apresentada por Mcgee (2005) para a implantação de poka yoke, baseando-se em cinco fases.

6.4 Fase 1 - Descrever o defeito

O processo avaliado nesse trabalho apresentava um alto índice de defeitos, as falhas existentes no processo foram levantadas a fim de verificar a causa raiz, para avaliar o sistema de inspeção a ser utilizada que melhor se adéqua a necessidade do processo apurado e em seguida realizar a verificação dos erros cometidos.

A figura 14 a seguir expõe os defeitos apresentados no produto do processo avaliado, certos defeitos foram constatados antes de chegar ao cliente, porem alguns deles foram relatados pelo cliente, o qual exigiu que alguma ação fosse tomada referente aos defeitos relatados para garantir que os mesmos não viessem a ocorrer.

Figura 14 – Defeitos no produto

Lista de defeitos apresentados no produto
Falta de parafusos
Falta de peça 2
Falta de peça 3
Falta de peça 4
Inserção de peça incorreta (variação)
Peça incompleta

Fonte: Autor

Após levantar os defeitos apresentados no produto, foi possível verificar uma grande incidência de erros relacionados à falta de parafusos e inserção de peça incorreta durante a montagem, visando que o mesmo produto apresenta cinco versões de montagem, modificando apenas as variações de peça.

6.5 Fase 2 – Apresentar a etapa que o defeito foi encontrado

Para estabelecer a etapa onde se localizava a origem do defeito foi realizado uma tabela de verificação, conforme figura 15.

Figura 15 – Relação de defeitos apresentados no produto e etapas do processo

Lista de defeitos apresentados no produto	Etapas					
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Fluxo
Falta de parafusos		x	x	x		
Falta de peça 2		x				x
Falta de peça 3			x			x
Falta de peça 4				x		x
Inserção de peça incorreta		x	x	x		x
Peça incompleta	x			x	x	x
	x	Existe relação				

Fonte: Autor

6.6 Fase 3 - Encontrar a causa raiz

Um problema acontece sempre que ocorre um desvio em relação a um padrão estabelecido, para prosseguir de acordo com o planejado é importante reconhecer a existência de três passos na solução de problemas (Apostila MASP, Roberto, 2012).

- Detectar ponto de Causa: é o lugar onde primeiramente aparecem os efeitos.
- Identificar a Causa direta: é a causa mais óbvia do problema, ao ser resolvido se não pode voltar a ocorrer.

c) Investigar a causa raiz: é necessária uma sequência de porquês para descobrir a causa que deu origem ao problema para que ele seja eliminado, garantindo que ele não ocorra novamente.

6.6.1 Descrição 5W2H

Uma ferramenta muito utilizada para planejar a investigação de um problema, para aumentar o nível de informações e buscar rapidamente onde está a falha, para poder estabelecer um plano para eliminar um defeito, padronizando procedimentos com intuito de prevenir o reaparecimento do problema (Apostila MASP, Roberto, 2012).

Os 5W's e 2H's correspondem a palavras de origem inglesa e é apresentado na figura abaixo:

Figura 16 – Significado 5W2H

SIGLA	INGLÊS	PORTUGUÊS
5W	What	O que
	Why	Por que
	Who	Quem
	When	Quando
	Where	Onde
2H	How	Como
	How much	Quanto custa

Fonte: Autor

Segundo Shingo (1996), as causas dos problemas são encontradas quando perguntamos “por que” cinco vezes ou mais, respondendo as questões do método 5W2H: “quem”(sujeito da produção), “o que”(objetos da produção), “onde”(espaço), “quando”(tempo), “por que” (a causa para cada uma das perguntas acima) e “como” (métodos).

Baseando nas relações existentes entre causa de defeitos e tipos de erros humanos verificadas no processo, foi possível expressar a relação, maior ou menor entre si, conforme apresentado na figura 17, os dados foram abordados com base no acompanhamento do processo para estabelecer onde os defeitos foram criados.

Figura 17 – Relação de defeitos apresentados no produto e etapas do processo

Causa de defeitos	Tipos de Erros humanos								
	Esquecimento	Identificação errada	Mal entendido	Falta de experiência	Intencional	Teimosia	Falta de padronização	Surpresa	Intencional
Saltar a etapa do processo	0	X	0	X	X	0	0		X
Saltar operação do processo	X	0	0	X	X	X	X		X
Erro no posicionamento de elementos	X	0	0	0	0		0		0
Falta de elementos/peças	X		0	0	X	0	0		X
Uso de elementos incorretos	X	X	X	X	X	X	X		X
Falta de verificação da peça	X			X	X	X	X		X
Erro no fluxo do processo	0	X	X	X	0	0	X		X
Equipamento não preparado adequadamente	0						0	0	
Ferramentas / dispositivos inadequados	0						0	0	
	X	Ligação forte							
	0	Ligação leve							
		Não há ligação / muito fraca							

Fonte: Autor

6.7 Fase 4 - Realizar brainstorming

Segundo (MOTA, 2002), BRAINSTORMING conhecido como (tempestade de idéias) é uma técnica de grupo em que os indivíduos apresentam idéias em um modo que pode ser qualificado, como livre de barreiras, críticas ou segundas intenções com o objetivo de apresentar a geração de idéias, obtendo o livre pensamento sem ser reprimido, apresentando uma diversidade de opiniões e visões.

Para efetuar o BRAINSTORMING é necessário estabelecer grupos de 4 a 10 pessoas, a participação deve ser voluntária, com regras claras e prazo de término determinado. O propósito do brainstorming é indicar e delinear ideias, com certo aspecto, originais e em um

ambiente sem restrições. Busca-se a diversidade de opiniões e ideias a partir de um processo de criatividade grupal. o brainstorming é uma poderosa ferramenta para socialização e desenvolvimento de equipes.

Figura 18 - Soluções apresentadas para os defeitos apresentados no produto

Item	Lista de defeitos apresentados no produto	Soluções apresentadas
1	Falta de parafusos	Parafusadeira contadora de parafusos
2	Falta de peça 2	Sensor para ler peça 2
3	Falta de peça 3	Sensor para ler peça 3
4	Falta de peça 4	Sensor para ler peça 4
5	Inserção de peça incorreta (variação)	Versões de montagem verificadas por um PLC
6	Peça incompleta	Sensor para verificar a peça no kanbam, antes da montagem

Fonte: Autor

6.7.1 Determinar o tipo de inspeção a ser adotada

Os dispositivos poka yoke não são um sistema de inspeção, mas uma maneira de verificar defeitos ou erros com intuito de satisfazer uma determinada função de inspeção, assim o primeiro passo para adoção de métodos de controle de qualidade efetivos é avaliar o sistema de inspeção que melhor se adéqua a necessidade do processo a ser verificado.

Segundo (Shigeo, 1996), o primeiro passo para adoção de métodos de controle de qualidade efetivos é identificar o sistema de inspeção que melhor satisfaz as necessidades de um determinado processo.

Após as devidas verificações do processo, foi determinado o tipo de inspeção a ser adotado, baseando-se nas soluções apresentadas para eliminar os defeitos figura 19, foi notada a necessidade da inspeção na fonte, para detectar as falhas no ponto de origem e utilizar processos automatizados para evitar que os erros se transformem em defeito, oferecendo um retorno imediato.

Figura 19 - Tipo de Inspeção adotado

Método de inspeção	
Inspeção na fonte	X
Auto inspeção	
Inspeção sucessiva	

Fonte: Autor

6.7.2 Determinar o método poka yoke a ser utilizado

O próximo passo é identificar o método poka yoke de controle ou advertência capaz de atender a função de inspeção escolhida, para posteriormente definir o planejamento do dispositivo estabelecendo se o poka yoke será de contato, conjunto ou etapas (SHINGO 1996).

Tendo o intuito de desenvolver um dispositivo que evitasse a passagem de um erro, foi utilizado o método de controle, parando a linha de processamento para que a condição causadora do defeito seja corrigida, no método de advertência seria emitido um alarme, porem permitindo a continuação do defeito, caso os operadores não atendam ao aviso.

Figura 20 - Tipo de função adotada

Função de regulagem	
Método de controle	x
Método de advertência	

Fonte: Autor

Para sanar as falhas apresentadas referentes a falta de parafusos foi proposto a utilização do método de conjunto, pois existe a necessidade de verificar se um conjunto de elementos ou etapas idênticas são realizadas.

Analisando os defeitos de inserção de peça incorreta (variação) figura 13 e falta de peças (2,3,4), foi estabelecido o uso do método de etapas, para verificar se as peças foram inseridas nas etapas corretas e se a variação de peça está correta.

O defeito de peça incompleta não ocorria no processo analisado, pois a peça já entrava para montagem faltando um elemento, sabendo da necessidade de se atacar na causa raiz, foi identificado um erro no fluxo da peça antes da chegada ao processo analisado, logo após foi realizado uma mudança no fluxo da peça e proposto a utilização do método de contato, a ser aplicado diretamente no Kanban, pois através da utilização de sensores é possível verificar o dimensional da peça e permitir o inicio de montagem através da análise da peça oriunda de outro processo.

Figura 21 - Método adotado

Função de detecção	
Método de contato	x
Método de conjunto	x
Método de etapas	x

Fonte: Autor

6.8 Fase 5 – Projetar e montar dispositivo poka yoke

É preciso constar que para que haja sucesso na análise, planejamento, implantação e controle dos resultados de poka yoke é necessário a integração de toda equipe, focando no mesmo objetivo de obter a solução de problemas e qualidade final dos produtos.

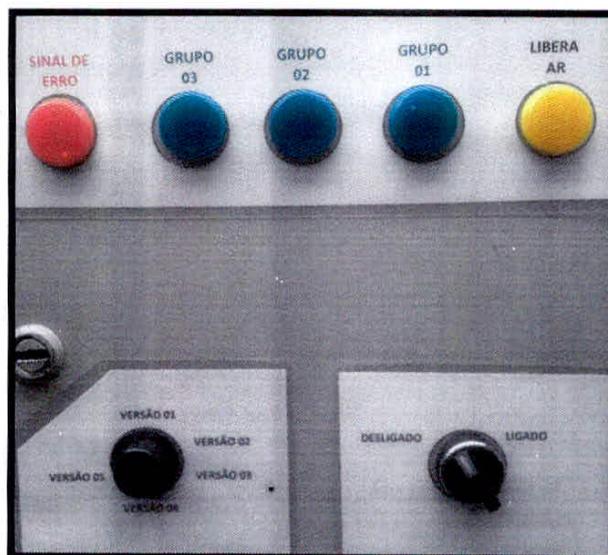
A rotação de tarefas deve ser evitada, pois o operador deve ter um alto conhecimento do dispositivo com um alto grau de experiência no processo, realizando apenas tarefas específicas.

6.8.1 Circuito elétrico (Método de etapas)

Utilizando o método de etapas, o circuito elétrico desenvolvido conta com três sensores ópticos instalados no berço de montagem, os quais realizam a leitura das peças (2,3,4) inseridas, verificando se as mesmas foram fixadas em suas devidas etapas e validam a montagem como correta, apresentando para o operador a confirmação da etapa realizada conforme figura 22 e utilizando um CLP (controlador lógico programável) com uma programação dedicada para o dispositivo, sendo possível prevenir possíveis erros do colaborador.

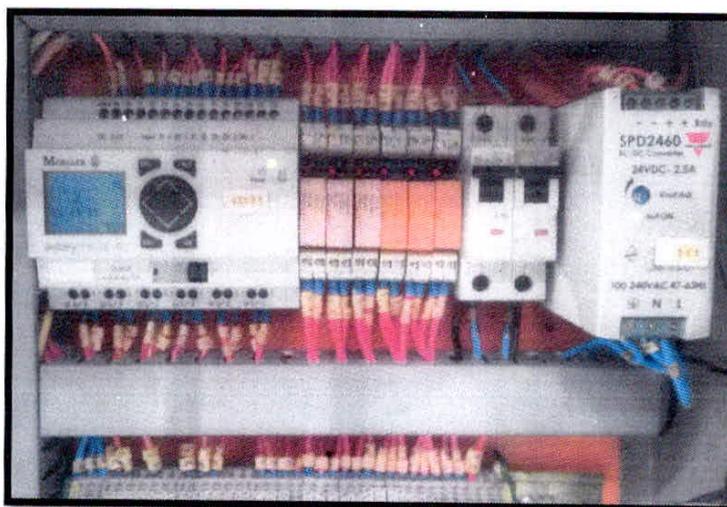
A figura 23 apresenta o painel elétrico desenvolvido para o dispositivo.

Figura 22 – Indicação de etapas do processo e sinalização de erro



Fonte: Autor

Figura 22: Foto do painel elétrico do dispositivo poka yoke



Fonte: Autor

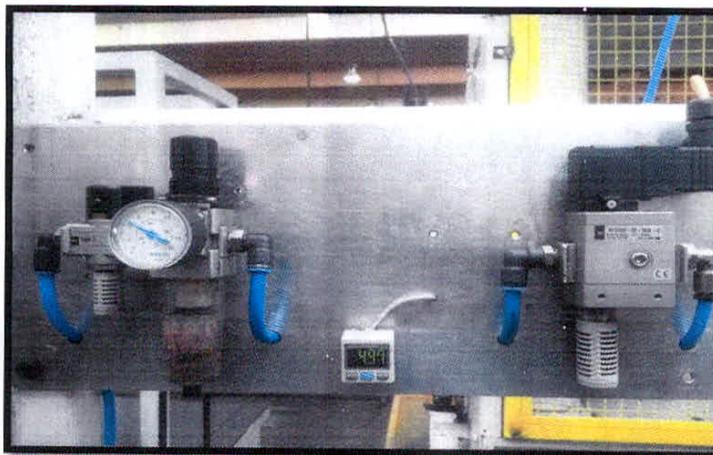
6.8.2 Parafusadeira pneumática contadora de parafusos (Método de conjunto)

Baseando-se no método de conjunto, foi projetado para o dispositivo poka yoke um circuito contador de parafusos, utilizando uma parafusadeira pneumática e um presseostato eletrônico que verifica a queda da pressão de ar na entrada da parafusadeira, sendo que o ar somente é liberado para parafusadeira através de uma válvula pneumática (3/2 vias, acionamento por solenoide e retorno por mola) quando a botoeira de acionamento inicial é

pressionada, a mesma é fechada ao ocorrer um erro de montagem ou falta de parafusos no grupo de montagem.

A figura 24 exposta a seguir, apresenta o circuito pneumático da parafusadeira contadora de parafusos.

Figura 24 – Circuito pneumático da parafusadeira contadora de parafusos

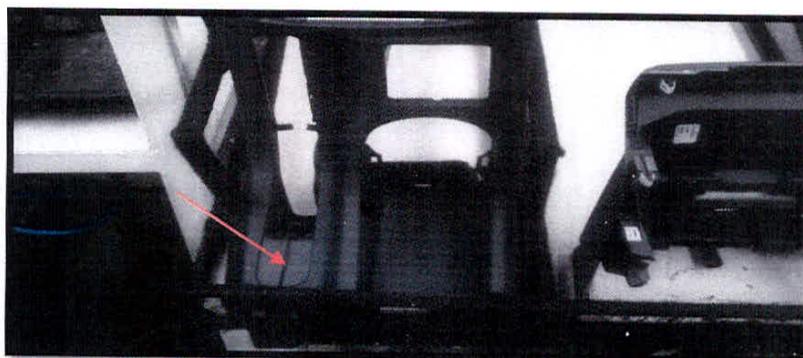


Fonte: Autor

6.8.3 Sensor de verificação do dimensional (Método de contato)

Para evitar que a peça 2 chegasse a etapa de montagem faltando um elemento, foi desenvolvido um sistema de leitura do dimensional, o qual foi instalado no kanbam que é utilizado no processo de montagem, este sensor é interligado ao circuito elétrico do dispositivo e impede o início do ciclo de montagem caso a peça 2 que está no kanbam esteja com o dimensional incorreto.

Figura 25 – peça 2 verificada no kanbam

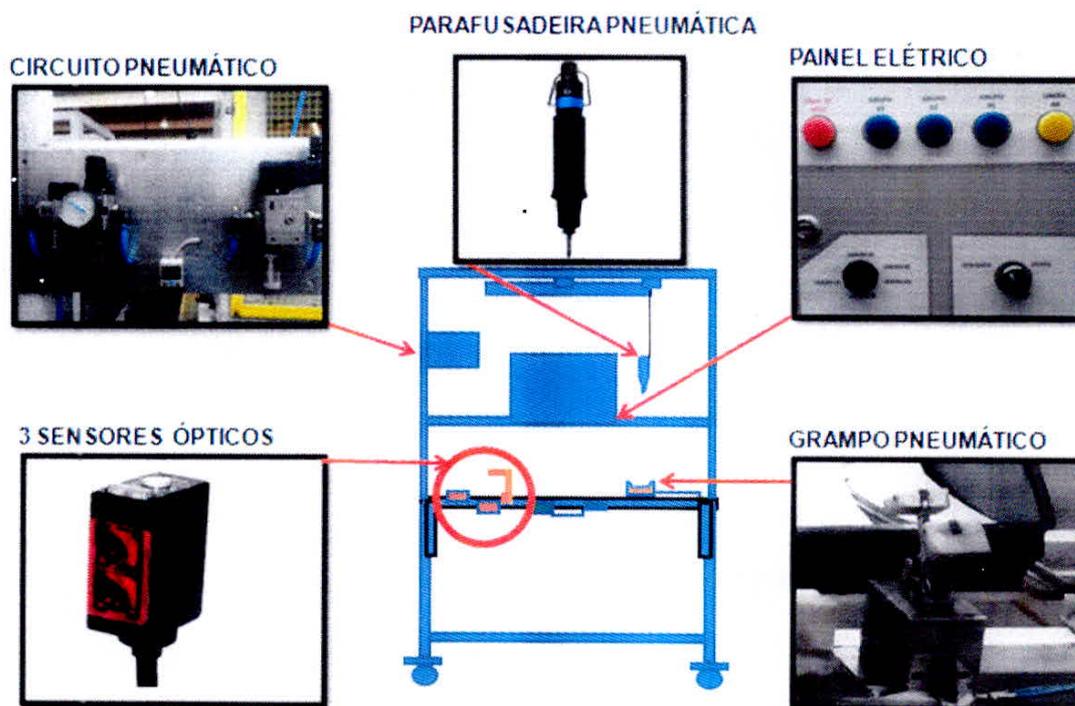


Fonte: Autor

6.8.4 Dispositivo de montagem poka yoke

Para exemplificar a distribuição dos dispositivos poka yokes utilizados na bancada de montagem, foi realizado um desenho esquemático com respectivos periféricos (figura 26).

Figura 26 – Bancada do dispositivo poka yoke desenvolvido



Fonte: Autor

Figura 27 – Dispositivos desenvolvidos

Item	Lista de defeitos apresentados no produto	Dispositivos desenvolvidos
1	Falta de parafusos	Parafusadeira contadora de parafusos (sinalizadores para grupo de parafusos)
2	Falta de peça 2	Sensor optico para ler peça 2 verificado por um PLC
3	Falta de peça 3	Sensor optico para ler peça 3 verificado por um PLC
4	Falta de peça 4	Sensor optico para ler peça 4 verificado por um PLC
5	Inserção de peça incorreta (variação)	Versões de montagem (chave seletora)verificadas por um PLC
6	Peça incompleta	Sensor para verificar a peça no kanbam, antes da montagem

Fonte: Autor

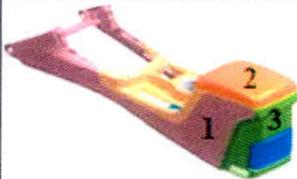
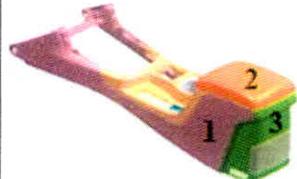
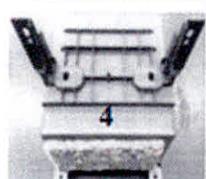
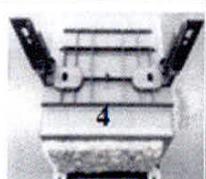
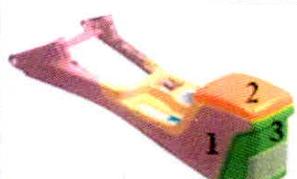
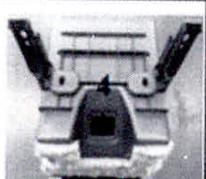
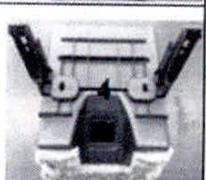
No início da montagem os grampos pneumáticos prendem a peça no dispositivo, no painel elétrico é feito a seleção da versão de montagem (início do processo) e verificação da contagem dos grupos de parafusos, os sensores ópticos verificam as variações de peça e o

CLP confere todos os poka yokes instalados, cortando a alimentação de ar da parafusadeira pneumática e liberando a peça no caso da montagem correta.

Caso ocorra alguma avaria na peça montada, será emitido um sinal luminoso (vermelho) indicando erro e evitando a liberação da peça montada até que seja encontrado o erro de montagem, o líder será alertado para liberar o dispositivo através de um reset utilizando uma chave dedicada.

Para apresentar as versões de montagens e expor as peças utilizadas no processo para montagem do produto final foi realizado um descritivo apresentado na figura abaixo.

Figura 28 – Versões e peças de montagem

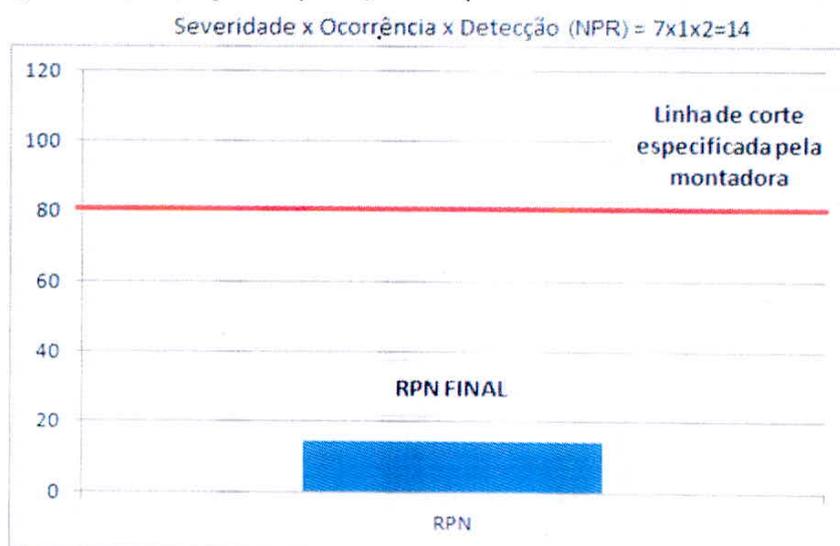
VERSÕES DE MONTAGEM		PEÇAS DE MONTAGEM	
Versão 1	Peça 1 - Única Peça 2 - Única Peça 3 - Com acessório e sem furo Peça 4 - Sem furo		
Versão 2	Peça 1 - Única Peça 2 - Única Peça 3 - Sem acessório e sem furo Peça 4 - Sem furo		
Versão 3	Peça 1 - Única Peça 2 - Única Peça 3 - Com acessório com furo Peça 4 - Sem furo		
Versão 4	Peça 1 - Única Peça 2 - Única Peça 3 - Sem acessório e sem furo Peça 4 - com furo		
Versão 5	Peça 1 - Única Peça 2 - Única Peça 3 - Com acessório e com furo Peça 4 - com furo		

Fonte: Autor

7 RESULTADO

Após a implantação do dispositivo poka yoke através da metodologia proposta, foi possível verificar que o (NPR) apresentou uma redução para 14 pontos, sendo que antes da aplicação do dispositivo o indicador apresentava um valor de 98, assim foi possível verificar por meio das peças produzidas um resultado bastante satisfatório, pois não ocorreu incidência de falhas no produto, e a qualidade pode ser garantida pela inspeção direta na fonte.

Figura 29 – (NPR) Após a implantação do dispositivo Poka Yoke



Fonte: Autor

Com a garantia da qualidade foi possível obter um aumento da produção em 14,28 %, pois o tempo de inspeção foi reduzido por não precisar verificar o produto durante a montagem do mesmo.

Foi possível encontrar um erro no fluxo do processo, propondo um dispositivo no kanban para evitar que uma peça chegue à montagem faltando algum elemento.

Para realizar o dispositivo com as mesmas funções por meio de uma empresa terceirizada, utilizando parafusadeira contadora de parafusos elétrica, foi realizada uma cotação, o que levaria a um custo de R\$ 25.000,00 Reais.

Com a finalidade de evitar o gasto e aplicar os conhecimentos adquiridos no curso de engenharia mecânica, a montagem do dispositivo foi realizada na mesma empresa, utilizando peças sucateadas de dispositivos inutilizados, dessa forma foi possível eliminar os defeitos de produção sem haver gastos com componentes.

8 CONCLUSÃO

Segundo o estudo realizado sobre a metodologia poka yoke, ao utilizar as fases para desenvolvimento de dispositivos a prova de erros, obteve-se um direcionamento de aplicação da metodologia, facilitando para encontrar a causa raiz do defeito, pois foi possível estabelecer a inspeção adequada para o processo e o melhor método a ser utilizado, após implantar o dispositivo ocorreu a validação do mesmo, podendo constatar um impacto positivo, pois conseguiu-se o objetivo principal que é atingir o zero defeito, reduzindo o (NPR) abaixo do estabelecido pelo Cliente, desenvolvendo o dispositivo proposto utilizando componentes reutilizados sem gerar custos, garantindo assim, a confiança do cliente, mas apesar dos resultados obtidos é necessário examinar e aperfeiçoar os meios de aplicação desta metodologia, na busca por melhores práticas e melhoria contínua. Apesar da obtenção do zero defeito no processo analisado é necessário lembrar na mudança de cultura e satisfação dos colaboradores e maior segurança do equipamento, sendo necessário um treinamento efetivo e comprometimento de todos, sendo este ponto uma das grandes dificuldades encontradas na efetivação do dispositivo, devido aos erros humanos relacionados à falta de experiência, teimosia, mal entendido e intencional.

REFERÊNCIAS

- CALARGE, F.A.; DAVANSO, J.C. Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura, **Revista de Ciência & Tecnologia** Piracicaba: UNIMEP, 2003.
- CROSBY, P. B. Qualidade é investimento: a arte de garantir a qualidade. Tradução: Áurea Weissenberg. Rio de Janeiro: Livraria José Olímpio S.A., 1999. Título Original: Quality is free.
- DIEDRICH, Hélio. Utilização do Sistema Toyota para melhoria de um processo produtivo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- DEMING, W. E. Qualidade: a revolução da administração. Tradução: Clave Comunicações e Recursos Humanos SC Ltda. Rio de Janeiro: Editora Marques Saraiva S.A., 1990.
- Descrição de tipos de sensores. Artigo publicado originalmente na revista Saber Eletrônica - Ano 42 - Nº405 - Outubro/2006. Disponível em: <
<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1532-todos-os-tipos-de-sensores>>. Acessado em: 04 de junho de 2014.
- FORMOSO, C. T., SANTOS, A., POWELL, J. A. An exploratory study on the applicability of process transparency in construction sites. *Journal of Construction Research*, v.3, n.1, p.35-54, 2002.
- GHINATO, P. O Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente o just-in-time. Caxias do Sul, Editora da UCS, 1996.
- GROUT, J. Mistake-proofing the Design of the Health Care Processes. Rockville, AHRQ, 2007.
- HIRATA, H. S. **Sobre o “modelo” japonês**: automatização, novas formas de organização e de relações de trabalho. São Paulo, Editora da USP, 1993.
- ISHIKAWA, K. Controle de qualidade total: à maneira japonesa. Tradução: Iliana Torres. Rio de Janeiro: Editora Campus Ltda, 1993. Título original: What is Total Quality Control?
- JURAN, J. M., GRYNA, F.M. Controle da qualidade: Conceitos, políticas e filosofia da qualidade. Tradução: Maria Cláudia de Oliveira dos Santos. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda, 1991. Título original: Juran's Quality Control – Handbook – 4th edition.
- LIKER, K. J., MEIER, D. O Modelo Toyota de Produção: Manual de aplicação. Tradução: Lene Belon Ribeiro. Porto
- MCGEE, D. Lean and Six Sigma: A Holistic Approach to process improvement. In.: ASQ- American Society for quality Congress, Proceedings... Denver, USA, nov. 2005.
- MOTA, E. B. -. Gerenciamento de Projetos. – GBA Global Business Administration – Fundação Getúlio Vargas – Rio de Janeiro – 2002.

Roberto, M. **Metodologia MIASP**: Curso de aplicação. Varginha: Apostila, 2012. 34 p.

SHINGO, Shigeo. Zero Quality Control: source inspection and the poka-yoke system. Oregon: Productivity Press, 1986.

CONSULTING GROUP, Setec. Análise dos modos de falha e seus efeitos (FMEA). 4 edição

SHINGO, Shigeo. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. 1ª ed., Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHINGO, S. Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996a.

SHINGO, Shigeo. **Sistemas de produção com estoque zero**: O sistema Shingo para melhorias contínuas. Porto Alegre: Bookman, 1996b.

TIGRE, J.C.; MENEZES, M.; TORRES, R. **A prevenção de falhas na prestação de serviços**. Cadernos Discentes, COPPEAD. Rio de Janeiro, n. 11, p. 110-130, 2002. Disponível em: http://www.coppead.ufrj.br/institucional/pesquisa/cadernos/caderno11/pdf/05_prevencao.pdf. Acesso em: 23. abr. 2014.

VIDOR, G.; SAURIN, T.A. Identificação de oportunidades de pesquisa sobre sistemas poka-yokes em sistemas de manufatura. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção _ PPGE/PPGEP/UFRGS, Porto Alegre, 2010.

ZIMMER, L. Get lean to boost profits. Forming and Casting Magazine, Michigan, 7 (2), 2000; Alegre: Bookman, 2007. 432p. Título original: The Toyota Way Fieldbook.