



Oli da Silva

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS À PROVA DE ERROS EM
PROCESSOS DE SOLDAGEM ROBOTIZADOS**

Horizontina

2015

Oli da Silva

**UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS À PROVA DE ERROS EM PROCESSOS
DE SOLDAGEM ROBOTIZADOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Vilmar Bueno da Silva, Mestre.

Horizontina

2015

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Utilização de sistemas à prova de erros em processos de soldagem
robotizados”**

Elaborada por:

Oli da Silva

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção

**Aprovado em: 05/11/2015
Pela Comissão Examinadora**

**Mestre. Vilmar Bueno da Silva
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Mestre Ivete Linn Ruppenthal
FAHOR – Faculdade Horizontina**

Engenheiro Mecânico. Marcelo R. Beck

**Horizontina
2015**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial à memória dos meus pais, que pelo exemplo de suas ações, foram os grandes professores responsáveis pela minha formação como cidadão, ensinando-me a conquistar os meus objetivos pelo fruto do meu trabalho e persistência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e colegas, que contribuíram tanto na formação acadêmica, quanto para minha evolução como ser humano. De forma especial também agradeço a minha esposa Carla e toda a minha família, que de alguma forma sempre estiveram presentes, me apoiando e reforçando a importância de nunca desistir dos sonhos.

“A vida está cheia de desafios que, se aproveitados de forma criativa, transformam-se em oportunidades. ”

Maxwell Maltz

RESUMO

A necessidade da indústria brasileira de tornar-se cada vez mais competitiva, diante de um modelo econômico globalizado, tem dentre os pontos-chaves o aumento da produtividade, atendimento de padrões internacionais de qualidade e custos de produção competitivos. A robotização é uma das tecnologias de automação que podem ajudar a indústria brasileira a ser mais competitiva. Neste trabalho foram pesquisados e apresentados dados especificamente sobre sistemas à prova de erros em soldagem robotizada, para demonstrar que ótimos resultados na implementação desse processo dependem, da análise de uma série de fatores para produzir com a qualidade e produtividade que tragam o retorno esperado pelas empresas quando se investe em tais equipamentos ou sistemas de produção.

Este trabalho foi realizado dentro de uma fábrica de máquinas agrícolas na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul e tem como objetivo, analisar e implementar sistemas à prova de erros, através de recurso de sensor de toque do robô de solda, denominado *wire touch sensing*, que combinado com sistemas mecânicos, podem evitar a produção de conjuntos soldados não conformes, quanto à correta localização de componentes soldados, ocasionado pela similaridade de componentes, quando são soldados mais de um conjunto na mesma ferramenta acoplada à célula robotizada. Dessa forma, se não observadas determinadas condições durante o processo, poderão ocorrer graves erros de fabricação, causando grande insatisfação dos clientes, como setores de montagem e até mesmo o cliente final, além de riscos de segurança, pela necessidade de atividades de retrabalhos realizados fora da estação de trabalho adequada, gerando aumento de custos e perdas de produtividade. Diante do exposto, a metodologia adotada para a realização deste trabalho foi o procedimento de pesquisa-ação, bem como a pesquisa exploratória e revisão de literatura. Os resultados obtidos quanto à possibilidade de montagem de um item que não pertence a um determinado conjunto soldado, quando o mesmo apresenta uma geometria muito similar a outro conjunto, foram totalmente eliminadas.

Palavras-chave: Soldagem robotizada. Sistemas à prova de erros. *Wire touch sensing*.

ABSTRACT

The need of the Brazilian industry to become more and more competitive, towards a global economic model, has as one of the key points the increase of productivity, meeting international standards of quality and reduction in the cost of production. The robotization is one of the automation technologies, which can help the Brazilian industry to be more competitive. In this paper, specific data about robotic welding was searched and presented to show that great results in the implementation of this process depend on a careful analysis of a series of factors to produce with quality and productivity, which provides the return expected by the companies, when investing in such equipment or production system. This study took place inside an agricultural machinery company located in the northwest of the state of Rio Grande do Sul and has as its aim to analyze and implement foolproof systems, through resources of touch sensors for robots, known as touch sensing, that along with mechanic systems, can avoid the production of not complying welded assemblies, regarding the correct location, which can be occurred due to the similarity of components, when more than one set in the same tool in the robotic cell is welded. In this way if determined conditions during the process are not observed, serious manufacturing errors may occur, causing great dissatisfaction of clients, as the assembly sectors and even the final client, besides safety risks because of the need of rework activities carried out outside the adequate station work, generating cost increase and loss of productivity. Based on the above considerations, the methodology adopted was the action search procedure, as well as the explanatory research and literature review to develop this paper. The results obtained regarding the possibility of assembly of an item that does not belong to a determined welded assembly when the same presents a very similar geometry to the other assembly were eliminated.

Keywords: Robotic welding. Mistake proofing. Wire touch sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Evolução histórica do número de robôs de seis eixos no Brasil	18
Figura 2- Principais componentes célula de solda robotizada MIG/MAG	19
Figura 3 - Elementos básicos de <i>FMEA</i>	25
Figura 4 - Diagrama de Ishikawa	26
Figura 5 - Gráfico comparativo custos de prevenção, avaliação e custo de falha	27
Figura 6 - Esquematização de níveis de sistemas à prova de erros.....	29
Figura 7 - Métodos de atuação dos dispositivos à prova de erros.....	30
Figura 8 – Sistema de segurança, método detecção	30
Figura 9 – Método de alerta	31
Figura 10 - Ferramenta à prova de erros, método posicionamento	32
Figura 11 – Ferramenta à prova de erros, método de contato	32
Figura 12 - Ferramenta à prova de erros, método de comparação	33
Figura 13 - Classificação de sensores	34
Figura 14 - Sensor de toque pelo arame de solda.....	35
Figura 15 - Vista superior dos produtos e características a serem controladas.....	39
Figura 16 - Sistema de posicionamento antes do sistema à prova de erros.....	40
Figura 17 - Análise de <i>FMEA</i> , antes do sistema à prova de erros.....	41
Figura 18 - Sistema localizador na ferramenta de solda	43
Figura 19 - Sistema à prova de erros, sensor <i>de</i> toque do robô.....	44
Figura 20 - <i>FMEA</i> após a implementação do sistema à prova de erros	45
Figura 21 – Sistema de inspeção do componente roscado	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	16
2.2 BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA E SOLDAGEM ROBOTIZADA.....	16
2.3 DADOS SOBRE UTILIZAÇÃO DE ROBÔS INDUSTRIAIS NO BRASIL E NO MUNDO.....	17
2.4 COMPONENTES DE UMA CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA MIG/MAG.....	18
2.5 RECOMENDAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA.....	20
2.6 CONCEITOS DE QUALIDADE.....	21
2.7 OBJETIVO DAS EMPRESAS NO CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL.....	22
2.8 AS SETE PERDAS.....	22
2.9 ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA (<i>FMEA</i>)	24
2.9.1 Tipos de <i>FMEA</i>	24
2.9.2 Elementos básicos de <i>FMEA</i>	25
2.9.3 Ferramenta utilizada para determinar correlação do efeito e suas causas.....	26
2.9.4 Benefícios mensuráveis de <i>FMEA</i>	27
2.10 MÉTODOS E DISPOSITIVO CONCEITO POKA YOKE.....	28
2.11 CLASSIFICAÇÃO DE SENSORES.....	34
2.12 SENSORES <i>WIRE TOUCH SENSING</i> USADOS EM ROBÔS DE SOLDAGEM.....	35
3 METODOLOGIA.....	36
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	36
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	38
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E ÁREA DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	38
4.2 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE CONTROLADAS E MODOS DE FALHA	38
4.3 FERRAMENTAL ANTES DO SISTEMA À PROVA DE ERROS	39
4.4 ANÁLISE DO <i>FMEA</i> ANTES DO SISTEMA À PROVA ERROS.....	40
4.5 AÇÕES RECOMENDADAS DE <i>FMEA</i>	42
4.6 ALTERAÇÃO EM FERRAMENTAL.....	42

4.7 ALTERAR PROGRAMA DO ROBÔ PARA USAR SENSOR DE TOQUE	44
4.8 ANÁLISE DE <i>FMEA</i> APÓS SISTEMA À PROVA DE ERROS IMPLEMENTADO.....	45
4.9 ELIMINAÇÃO DE ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR.....	46
4.9.1 Eliminação de atividade de inspeção manual.....	46
4.9.2 Eliminação do risco de retrabalho ou sucateamento do item por má qualidade	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

O processo produtivo das empresas tem como uma das métricas fundamentais, reduzir ao máximo os retrabalhos e sucateamentos de produtos gerados pela má qualidade, que influenciam diretamente nos custos de produção e índices de produtividade. “Os custos da má qualidade, que são os resultados provenientes de uma organização não produzir corretamente desde a primeira vez” (JURAN apud WEIMER, 2011, p. 30).

Produzir certo na primeira vez requer acima de tudo o desenvolvimento, aplicação e aprimoramento de técnicas, procedimentos e uma cultura de qualidade dentro das empresas, o que não depende somente da utilização de tecnologias, mas principalmente do treinamento e engajamento das pessoas, partindo da alta direção até o funcionário de menor nível hierárquico dentro da organização.

O presente trabalho, aborda a utilização de sistemas à prova de erros em processos de soldagem robotizados, com o uso da tecnologia de sensoriamento de toque dos robôs, denominada *wire touch sensing*, o qual atua através do arame de solda consumível ou de sistema laser, sendo que esse componente da célula robotizada permite que o robô faça o sensoriamento de toque, normalmente é vendido como um opcional. Dessa forma, é essencial entender como a tecnologia funciona, bem como a relação custo benefício.

A forma sobre como o sensor de toque atua, deve ser definida dentro da programação de soldagem, seja tocando as peças do produto soldado e/ou áreas específicas do dispositivo de solda. O dispositivo de solda é a ferramenta usada para o posicionamento e fixação das peças a serem soldadas pelo robô ou processo manual de soldagem, com a finalidade de assegurar padrões de repetitividade dimensional no produto soldado.

Essa tecnologia de sensoriamento pode ser utilizada também para evitar problemas de colisão entre o robô e componentes do produto ou ferramenta, como para corrigir a trajetória de soldagem previamente programada que pode ser necessário por variações dimensionais de componentes do produto soldados, principalmente por variações decorrentes de processos de corte e dobra de chapas metálicas na área de primários.

O tema principal deste trabalho combinará o uso da ferramenta de solda e tecnologia de sensoriamento de toque para evitar o risco de o robô iniciar o ciclo de

soldagem no produto errado, caso o operador selecione o programa de soldagem incorreto, em razão de um único dispositivo de solda produzir mais de um modelo de produto que tem peças com muita similaridade e que podem gerar graves problemas de não-conformidade considerando os custos envolvidos no processo apresentado neste trabalho.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho é a pesquisa-ação, bem como a pesquisa exploratória e revisão de literatura, onde buscou-se embasamento teórico para a análise e definição das técnicas empregadas neste trabalho.

Diante do exposto definiu-se o seguinte problema de pesquisa: “A aplicação de sistemas à prova de erros em processos de soldagem robotizados, com o uso da tecnologia de sensor de toque denominada *wire touch sensing*, possibilitam eliminar riscos de posicionamento incorreto de componentes soldados? ”

1.1 JUSTIFICATIVA

Diante do exposto na introdução, quanto à gravidade que o defeito pode gerar neste processo de fabricação, o trabalho justifica-se por explorar e aplicar o uso da tecnologia de sensores de toque em soldagem robotizada, para evitar que a empresa em questão tenha problemas como a insatisfação dos clientes e aumento de custos de produção pela má qualidade.

Também considerando a crescente utilização de processos de automação na indústria brasileira buscando a competitividade no mercado nacional e internacional, o trabalho justifica-se por buscar de forma simplificada, demonstrar a importância do entendimento de uma tecnologia de sensores de toque na área de robotização em processos de soldagem, que podem trazer excelentes resultados para corrigir variações de geometria nas juntas soldadas por processo de arco elétrico com deposição de material. A qualidade deste processo depende essencialmente da repetitividade dimensional dos componentes soldados ou da tecnologia que possa detectar e compensar essas variações dimensionais ou mesmo detalhes da geometria que possibilitam o posicionamento incorreto das peças antes da soldagem, gerando produtos defeituosos.

O processo de robotização em soldagem além de questões de segurança e qualidade, está sempre associado ao retorno financeiro, pelos ganhos em

produtividade, mas para que isso ocorra de fato todas as vantagens tecnológicas devem ser muito analisadas e empregadas desde que os dados de análise justifiquem a relação custo-benefício.

1.2 OBJETIVOS

Diante do modo de falha definido dentro da análise do *FMEA*, definiu-se o seguinte objetivo geral: pesquisar os recursos de sensores de toque existentes na célula de soldagem onde o trabalho foi realizado e aplicá-lo no desenvolvimento da solução de sistema à prova de erros.

Com o objetivo de atender o objetivo geral que é de desenvolver uma solução de sistema à prova de erros para o referido modo de falha, definido dentro do processo de análise do *FMEA*, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver sistema de localizadores móveis na ferramenta de solda que permitam a inserção do componente “a1” somente no conjunto “A” e componente “b1” somente no conjunto “B”, com baixo custo de implementação e que possa ser implementado conforme cronograma de lançamento dos novos produtos;
- Utilizar a tecnologia de sensores de toque do robô de solda para conferir se as condições acima estão sendo atendidas, caso contrário, o robô não prosseguirá até que a condição seja atendida;
- Comprovar os resultados e documentá-los para que possam ser usados em outras situações de soldagem robotizada, que apresentem níveis similares de modo e efeito de falhas ou mesmo otimizá-los incluindo novas tecnologias de sensores de toque que poderão ser usadas dependendo do grau de complexidade da junta ou mesmo eficiência requerida.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Echer (2001), destaca a importância da revisão da literatura em um projeto de pesquisa, para que seja realizada uma revisão bibliográfica acerca do tema de pesquisa, também para que haja uma delimitação da unidade de leitura, isto é, definir exatamente o que dentro do tema escolhido optamos por pesquisar. Neste trabalho será pesquisado sobre o processo e evolução da soldagem robotizada, métodos para definir modos e efeitos falhas, assim como sistemas à prova de erros, de forma mais específica em processos de soldagem *MIG/MAG* robotizado, que está ligado ao processo de uso de tecnologia de automação e inovação tecnológica.

2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A sobrevivência das empresas de uma forma geral, nesta nova ordem mundial, está em garantir a vantagem competitiva, sendo que a questão tecnológica é uma das molas mestras para o sucesso das organizações. Dessa forma, a competitividade tem como um dos seus pilares a tecnologia; contudo, a tecnologia só resulta em vantagem competitiva com a sua inovação e difusão. Ressalvando-se que a inovação deve ser também entendida como a adoção de novos processos de gestão, buscando a racionalização e a eficácia empresarial (FIEB, 2014).

As principais razões para a automação de um processo industrial, além de redução dos custos, são a melhoria da qualidade do produto e a realização de tarefas que são danosas ao ser humano, como as desenvolvidas em ambientes insalubres. Porém, essa mudança faz com que os profissionais e as empresas busquem programas de especialização, obtendo competências para o desenvolvimento de suas atividades (MARTINS apud FREITAS, PREDIGER & SILVEIRA, 2014).

2.2 BREVE HISTÓRICO DA ROBÓTICA E SOLDAGEM ROBOTIZADA

A palavra robótica oriunda do idioma tcheco, cuja tradução simplificada quer dizer trabalho forçado, foi utilizada pela primeira vez por Issac Asimov, em um livro de ficção científica, embora o termo genérico “*robot*” tenha sido empregado antes, em 1917, para associar a figura de um humanóide por Karen Capek. Robótica é um

conjunto de conhecimentos teóricos e práticos que permitem realizar, monitorar e automatizar sistemas baseados em estruturas mecânicas poli-articuladas, que possuem um determinado grau de Inteligência e destinados a substituição do homem em trabalhos repetitivos e em diversas tarefas perigosas. O primeiro robô data de 1958, desenvolvido pelos EUA, e já em 1962 era comercializado. (INFOSOLDA, 2015).

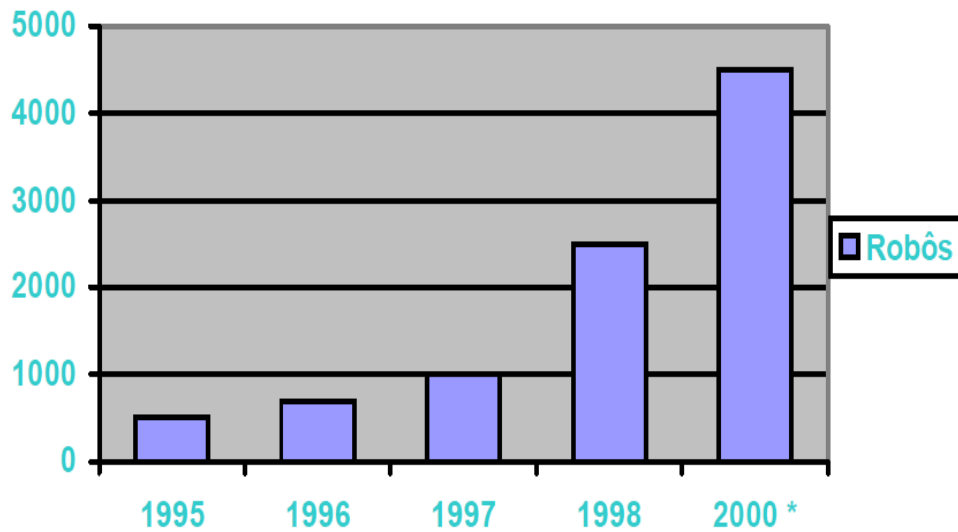
Ainda de acordo com a Infosolda (2015), os robôs industriais aplicados à soldagem tiveram início na década de 60 na indústria automobilística e eram utilizados na soldagem por resistência; na soldagem ao arco elétrico, a robotização teve um crescimento maior a partir da evolução das máquinas de soldagem, também dotadas de microprocessadores que permitem respostas rápidas aos parâmetros de soldagem. O sistema automatizado, incrementado por sensores que monitoram as funções, garante precisão e qualidade da solda; ausência de interferência humana nas possíveis correções feitas durante a soldagem.

2.3 DADOS SOBRE UTILIZAÇÃO DE ROBÔS INDUSTRIAIS NO BRASIL E NO MUNDO

O crescimento na área da robótica no Brasil tem números ainda baixos em comparação com países industrializados. Em 1995 existiam aproximadamente 550 robôs em operação nas indústrias brasileiras, já em 1998 esse número aumentou para em torno de 1800 robôs, sendo que 65% estavam instalados na indústria automobilística, no ano 2000 o número de robôs eram cerca de 5000, o que representava na época 0,6% do total dos robôs no mundo (BASTOS FILHO, 1999).

A figura 1, mostra um gráfico do histórico da evolução do número de robôs Industriais de seis eixos no Brasil

Figura 1- Evolução histórica do número de robôs de seis eixos no Brasil



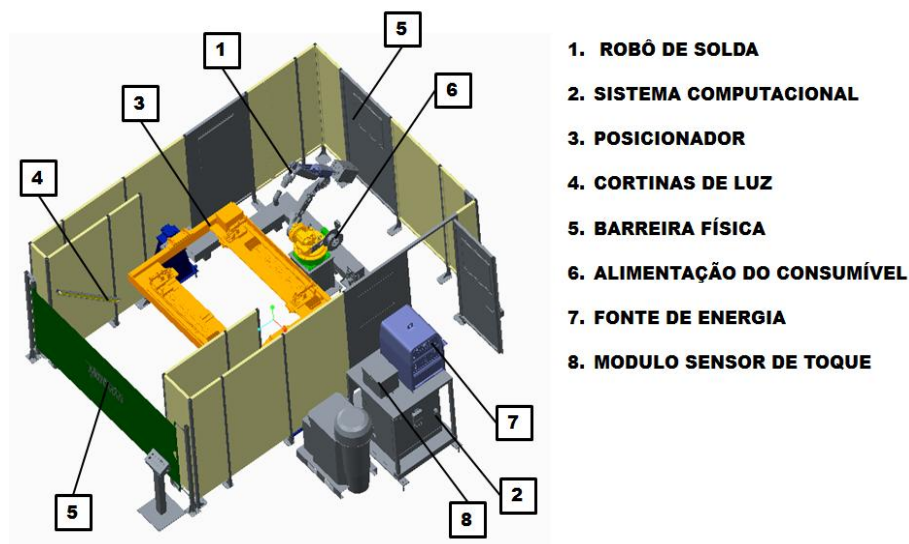
Fonte: Adaptado de Dutra e Romano, 2001, p.18.

Apesar do baixo percentual de robôs no Brasil em relação ao percentual global, pode-se observar que houve um acréscimo de 900% no número de robôs nos últimos cinco anos e a tendência é de crescimento (ROMANO apud DUTRA & ROMANO, 2001).

2.4 COMPONENTES DE UMA CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA MIG/MAG

A figura 2, mostra um sistema de soldagem robotizado, composto basicamente pelo manipulador ou robô de solda, além do sistema computacional, fonte de soldagem, sistema de alimentação do consumível de solda, dispositivos para posicionar e fixar os itens soldados e sistema de segurança, que compreendem barreiras físicas e dispositivos como cortinas de luz e scanners (ROMANO apud ALBA, 2013).

Figura 2- Principais componentes célula de solda robotizada MIG/MAG



Fonte: Adaptado da empresa pesquisada, 2015.

O quadro1, descreve a função de cada um dos subsistemas que compõem a célula de soldagem robotizada, esses subsistemas são interligados e permitem o processo de soldagem ser programado, para repetir os movimentos de aplicação da soldagem com os níveis de segurança e qualidade requeridos.

Quadro1- Descrição dos principais componentes célula robotizada MIG/MAG

Componentes	Descrição
Robô de Solda	Responsável pelo movimento de aplicação de soldagem, assegurando a repetição do movimento pré-programado de acordo com a geometria da peça a ser soldada
Controle computacional	Responsável pela linguagem de programação e seu armazenamento, além da interface entre robô e demais componentes da célula robotizada
Fonte de energia	Equipamento necessário para que sejam definidos os parâmetros elétricos/eletrônicos necessários para a aplicação da soldagem
Equipamentos acessórios	e Alimentador de solda, tocha de soldagem, cabos, sensores e sistema de segurança que impede o funcionamento do sistema quando o operador estiver em área definidas como área de risco de acordo com a NR12

Fonte: Adaptado de Romano apud Alba, 2013.

Estes subsistemas, são necessários para que ocorra o processo desde a programação de soldagem, que define a repetição de movimentos para a aplicação da solda, até o sistema de segurança que assegura que o processo seja executado dentro dos padrões de segurança (ROMANO apud ALBA, 2013).

2.5 RECOMENDAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DE SOLDAGEM ROBOTIZADA

Keibler (2003), vice-presidente de engenharia do Grupo Genesis, uma das grandes empresas especializada em sistemas de soldagem robotizados nos EUA, destaca na publicação da *American Welding Society*, que quando for considerado a hipótese de utilização de processo de soldagem automatizado, é fundamental um planejamento completo, para certificar-se de que as peças são ou não adequadas para a soldagem automatizada. Dentre os fatores destacados por Keibler, dois são de extrema importância para essa tomada de decisão:

- Desenho ou geometria: são condições básicas, para determinar o tipo de célula robotizada, incluindo principalmente a complexidade da ferramenta para posicionar e fixar os componentes soldados, além da necessidade ou não da utilização de sistemas de giro. O sistema de giro irá possibilitar o movimento da peça soldada em relação ao robô, sendo que, itens com geometrias que permitam soldagem na posição plana ou inclinação mínima, poderão eventualmente ser soldadas sem sistemas de giro, por outro lado, itens com geometrias mais complexas, poderão requerer a necessidade de sistemas de giro com múltiplos eixos para poder assegurar o correto posicionamento da peça, fatores que irão impactar diretamente na qualidade da soldagem e custo de implementação da célula de soldagem.
- Repetitividade na geometria das peças: são fatores fundamentais, normalmente a variação no posicionamento da junta soldada não deverá ser maior que a metade do diâmetro do arame consumível de solda, variações maiores na receptibilidade irão requerer sistemas acoplados ao robô para fazer a compensação dessas variações, entre eles o sistema de sensores, além de ferramentas de posicionamento e fixação mais complexas, o que torna o processo mais caro.

2.6 CONCEITOS DE QUALIDADE

Campos (1992), cita que o grande objetivo das organizações é atender às necessidades do ser humano na sua luta pela sobrevivência na terra, de forma que um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo as necessidades do cliente, de forma que pode-se dizer que temos que partir de um projeto e processo perfeito para produzir produtos que ofereçam segurança do cliente, sem defeitos, custo competitivo e entrega no prazo, local e quantidades certas.

Juran (1998, p. 9) cita sobre os significados da qualidade:

O dicionário oferece cerca de uma dúzia de definições da palavra “qualidade”. Dois deles são de grande importância para os gerentes. A característica do produto constitui uma dessas definições. Aos olhos dos clientes, quanto melhores as características do produto, mais alta a sua qualidade. A ausência de deficiências é outra importante definição de qualidade. Aos olhos dos clientes, quanto menos deficiências, melhor a qualidade. Alguns clientes, em especial os consumidores, não reconhecem necessariamente a existência de duas espécies bastante diversas de qualidade. Essa falta de clareza pode provocar comentários como “eu conheço quando vejo”. Porém, os gerentes precisam reconhecer essa distinção, uma vez que os respectivos impactos são sobre assuntos tão diversos como possibilidade de venda e custos.

Paladini (2009), escreve sobre a concepção moderna da qualidade, mas ele questiona sobre o significado dessa concepção moderna da qualidade, pois em geral esse termo de modernidade ou novo, nos tempos contemporâneos, momento em que vivemos, em pouco tempo pode estar ultrapassado. Dessa forma essa dependência em relação ao tempo causa preocupação com os setores produtivos competitivos que buscam inovações. Para isso é fundamental entender e aplicar os conceitos que refletem o momento em que vivemos e que devem ser levados em conta nos processos gerenciais de uma organização.

Também Paladini (2009, p. 20), cita que “definir qualidade de forma errônea leva a Gestão da Qualidade a adotar ações cujas consequências podem ser extremamente sérias para a empresa (em alguns casos, fatais em termos de competitividade).”

2.7 OBJETIVO DAS EMPRESAS NO CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL

Campos (1992) conforme quadro 2, salienta que, uma empresa honesta somente irá sobreviver dentro de uma sociedade, se contribuir para a satisfação da necessidade das pessoas, afinal esse deve ser o seu objetivo principal, pois se esse fato for tomado como premissa, a primeira preocupação da alta direção deve ser a satisfação das pessoas que são afetadas pela sua existência. Esse compromisso deve incluir primeiramente os seus consumidores e colaboradores, respeitando-os como ser humano, dando-lhes oportunidade de crescer como pessoa no seu trabalho, sendo feliz e tendo aporte de conhecimento.

Quadro 2 - Objetivo das empresas no controle da qualidade total

OBJETIVO PRINCIPAL	PESSOAS	MEIOS
Satisfação das necessidades das pessoas	CONSUMIDORES	Qualidade
	EMPREGADOS	Crescimento do ser humano
	ACIONISTAS	Produtividade
	VIZINHOS	Contribuição social

Fonte: Adaptado de Campos, 1992.

Também em uma sociedade de economia livre, obviamente a satisfação do acionista é outro compromisso chave da empresa, tendo uma empresa lucrativa e que possa gerar novas oportunidades, com expansão do negócio, para isso o fator produtividade é essencial para que possa existir a condição de lucratividade, que gera aporte de capital para ser reinvestido e atuar na geração de empregos e manter a empresa saudável. Finalmente, o respeito à sociedade onde a empresa está inserida, respeitando o meio ambiente e contribuindo com o desenvolvido da sociedade (CAMPOS, 1992).

2.8 AS SETE PERDAS

Shingeo (apud Kayser, 2001, p.10), destaca sobre a necessidade das organizações de trabalhar nos desperdícios e cita que “o sistema Toyota de produção é sustentado pela teoria que se baseia na priorização das melhorias na

função processo via eliminação contínua e sistemática das perdas nos sistemas produtivos.”

Shingeo (1996, p. 225), destaca sobre a eliminação dos sete tipos de perdas:

1. Superprodução
2. Espera
3. Transporte
4. Processamento
5. Estoque
6. Desperdício nos movimentos
7. O desperdício na elaboração de produtos defeituosos

Shingo & Ohno (apud LOPES, MARTINS E NUNES, 2009) definem as sete perdas de acordo com o Sistema Toyota de Produção:

- Superprodução que é classificada em dois tipos:
Produzir de forma antecipada, mantendo os produtos em estoque até serem usados no processo posterior.
Perda por produzir em excesso, além da demanda de mercado.
- Espera: tempo de espera do operador ou máquina, sendo que pode ocorrer em razão do operador ter que aguardar o processamento de um produto por uma máquina sem produzir nesse período, ou mesmo a máquina parar por falta de suprimento ou desbalanceamento do fluxo de produção;
- Transporte: procedimentos de transporte não agregam valor, portanto racionalizar esse processo é fundamental para diminuir perdas, reduzindo ao máximo os movimentos de levar um produto de um ponto para outro;
- Processamento: devemos perguntar a razão de fazermos determinado produto, assim como, o método de fabricação utilizado, no sentido de analisar o valor agregado. A engenharia de manufatura tem papel fundamental nesse processo de análise, utilizando por exemplo a ferramenta *VSM*, que em inglês significa *Value Stream Mapping*, usado para o mapeando do fluxo de valor das atividades no processo produtivo;
- Estoque: relação entre o período e volumes de produção em relação a demanda e prazos de entrega.
- Movimentação: movimentos desnecessários realizados pelos trabalhadores devem ser eliminados para que não afetam, principalmente o fator custo de produção e produtividade;

- Defeitos: produtos fabricados não conforme as especificações de projeto, que geram retrabalhos ou mesmo sucateamentos.

2.9 ANÁLISE DO MODO E EFEITO DE FALHA (*FMEA*)

Desenvolvido em meados da década de 60, o *FMEA* que é a Análise dos Modos e Efeitos de falhas, cuja sigla em inglês significa *Failure Mode and Effect Analysis*, é uma técnica que tem basicamente três funções distintas, sendo usada para prognóstico de problemas, desenvolvimento e execução de projetos ou diário do projeto, processo ou serviço (PALADY, 1997).

Palady (1997), define *FMEA* como uma ferramenta muito eficaz quando aplicada em grupo multifuncionais, que poderão identificar e eliminar as falhas potenciais, de sistema, projeto ou processo a partir, tem caráter preventivo e busca soluções eficazes em termos de custos para prevenir a ocorrência de problemas.

2.9.1 Tipos de *FMEA*

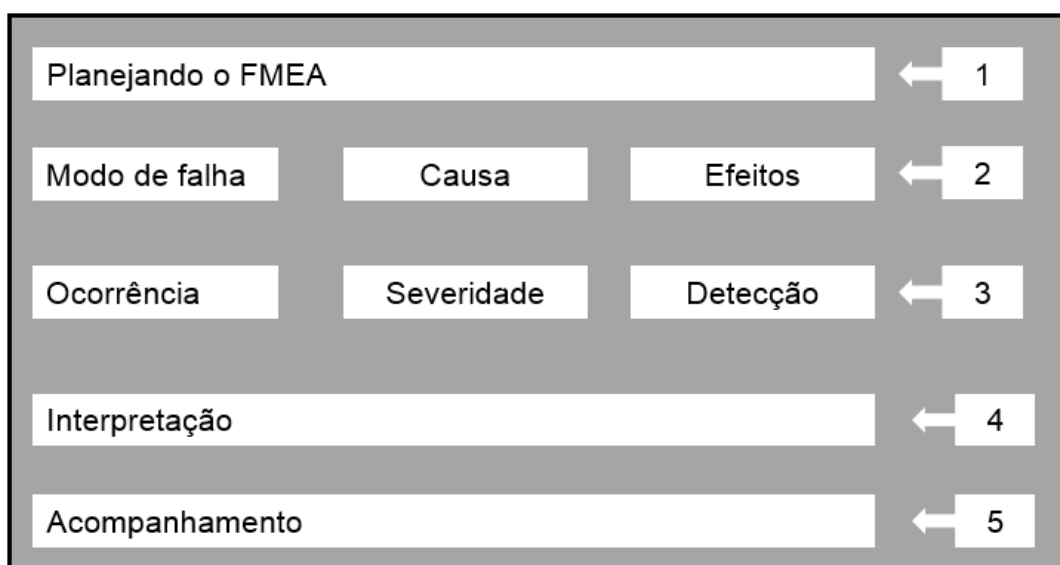
Palady (1997), destaca os dois tipos distintos *FMEA*, sendo um deles o *DFMEA*, *Design Failure Modes and Effect Analysis*, utilizado para *FMEA* de projeto e o *PFMEA*, *Process Failure Modes and Effects Analysis* utilizado para *FMEA* de processo. Ambos têm basicamente os mesmos elementos básicos para o alcance dos objetivos, embora cada uma delas tem dois objetivos bem diferentes, identificados através de duas perguntas:

- O *FMEA* de projeto deve perguntar como o projeto pode deixar de fazer o que deve fazer e o que devemos fazer para prevenir as potenciais falhas de projeto.
- O *FMEA* de processo deve perguntar como o processo pode deixar de fazer o que deve fazer e o que deve ser feito para prevenir os potenciais modos de falha, pois é sempre mais barato para a companhia identificar as falhas nas fases iniciais, seja de projeto ou de processo.

2.9.2 Elementos básicos de FMEA

De acordo Palady (1997), todos os tipos de FMEA devem ter 5 elementos básicos para que possam alcançar os objetivos em termos de qualidade e confiabilidade da análise, sendo que se um dos elementos não for considerado, a contribuição final do FMEA será muito pequena ou mesma nenhuma contribuição. A a figura 3, destaca os cinco elementos básicos para que o processo de análise possa ser feito de maneira que possa gerar os resultados esperados em nível de qualidade e confiabilidade, para determinar e eliminar os potenciais modos de falhas.

Figura 3 - Elementos básicos de FMEA



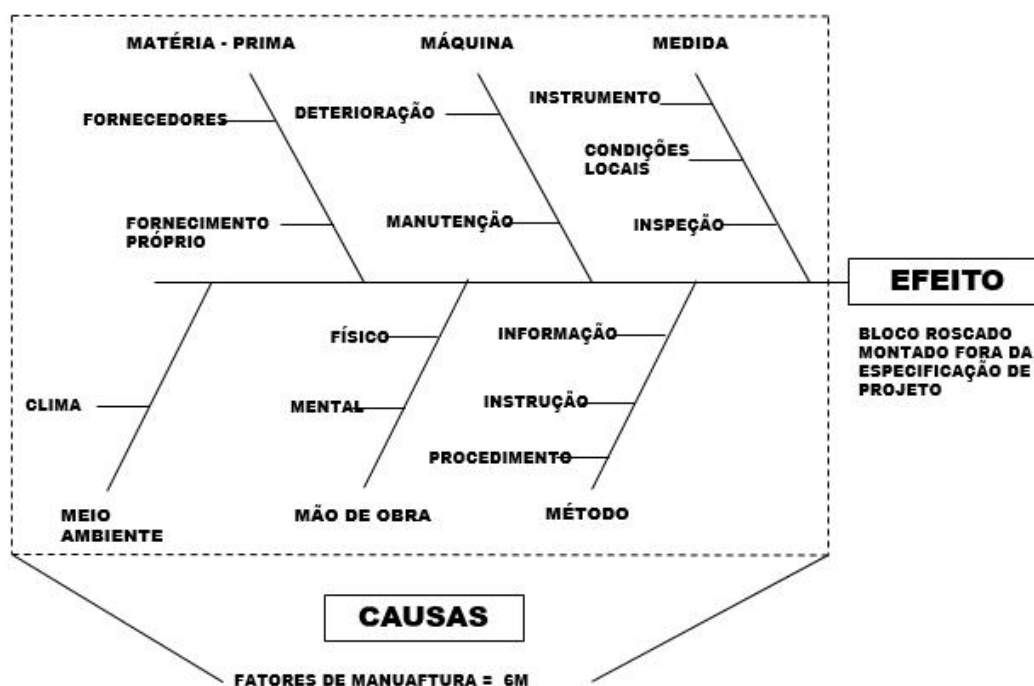
Fonte: Adaptado de Palady, 1997.

Os cinco elementos definidos na figura 3 acima, definem as condições básicas para que o processo de investigação, de um determinado modo e efeito de falha, sejam analisados com base principalmente na possibilidade de sua ocorrência e capacidade de detecção de um determinado processo, assim como, o quão severo esse efeito de falha pode ser. Com base nesses dados será definido um nível de priorização de risco, conhecido com RPN, cujo termo em inglês significa, *Risk Priority Number* e finalmente o acompanhamento é necessário para certificar-se de que as ações tomadas foram eficazes (PALADY,1997).

2.9.3 Ferramenta utilizada para determinar correlação do efeito e suas causas

Campos (1992), cita o diagrama de Ishikawa, para determinar a correlação do efeito e suas causas, sendo uma das sete ferramentas da qualidade que podem ser usadas para trabalhar em grupo multifuncional, conforme figura 4, para investigar e determinar as possíveis causas a serem trabalhadas.

Figura 4 - Diagrama de Ishikawa



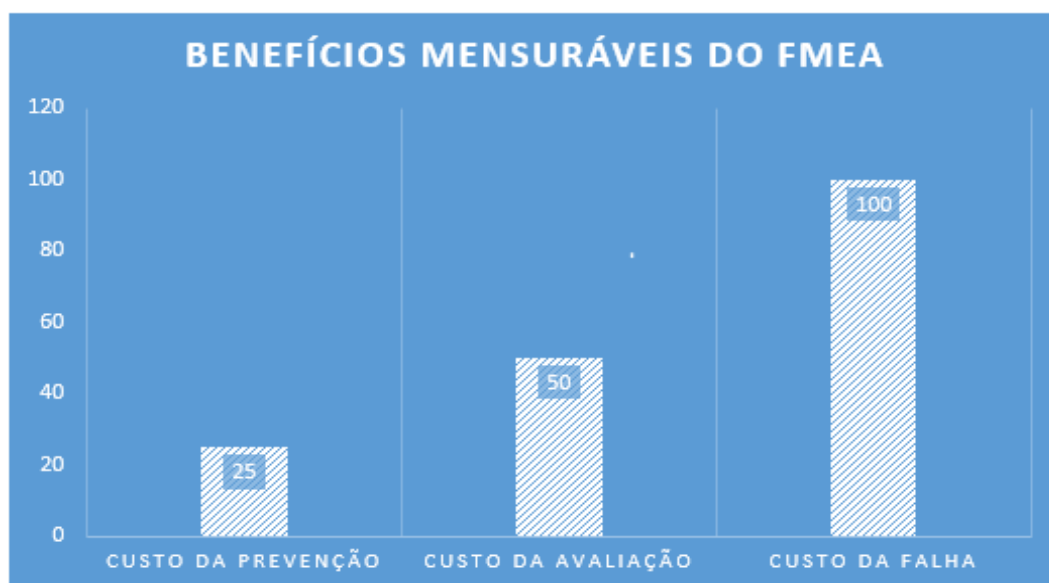
Fonte: Adaptado de Campos, 1992.

Observa-se, que as divisões em família de causas, definem que o processo pode ser considerado como um conjunto de causas, que podem provocar um ou mais efeitos, sendo que esse método proporciona, que grupos multifuncionais possam exercitar a separação dos fins de seus meios (CAMPOS, 1992).

2.9.4 Benefícios mensuráveis de *FMEA*

Palady (1997), cita que o *FMEA* tem um custo inicial para a organização, mas os retornos que ele pode trazer são muito significativos se executados de maneira adequada. O custo para a companhia, inclui principalmente o tempo dos membros das equipes de trabalho em reuniões, que precisam ser realizadas para a análise dos modos e efeitos de falhas, o retorno será principalmente um investimento que é percebido pelo cliente e é claro pela organização, através da redução de custos pela diminuição de retrabalhos, gastos com garantia e mesmo por perda de clientes, conforme figura 5.

Figura 5 - Gráfico comparativo custos de prevenção, avaliação e custo de falha



Fonte: Adaptado de Palady, 1997.

O processo de desenvolver e manter o *FMEA*, pode ser considerado inicialmente, como custos de prevenção e avaliação, mas que também podem ser considerados como um investimento, que será percebido tanto pela organização quanto pelo cliente, com redução das falhas, que sempre trarão transtornos maiores para ambos (CAMPOS, 1992).

2.10 MÉTODOS E DISPOSITIVO CONCEITO POKA YOKE

Dispositivos *Poka Yoke* constituem meios para assegurar a não ocorrência de defeitos, esses dispositivos também denominados sistemas de prevenção de erros, tem sua origem na indústria manufatureira Japonesa. Essa ideia foi sistematizada e aperfeiçoada por Shigeo Shingo como meio de se atingir o defeito zero e, eventualmente eliminar as inspeções para o controle das características de qualidade (SHIMBUM apud CALARGE & DAVANSO, 2004).

De acordo com Shingo (apud CALARGE & DAVANSO, 2004), verificou-se que as características de controle para um determinado produto eram conduzidas basicamente através de três técnicas baseadas em inspeção por julgamento, inspeção informativa e inspeção na fonte.

Inspeção por Julgamento: Neste tipo de inspeção, os produtos com defeito são separados dos produtos bons após o processamento, normalmente através de amostragem, revelando defeitos antes da entrega, mas que não diminui o índice de defeitos verificados.

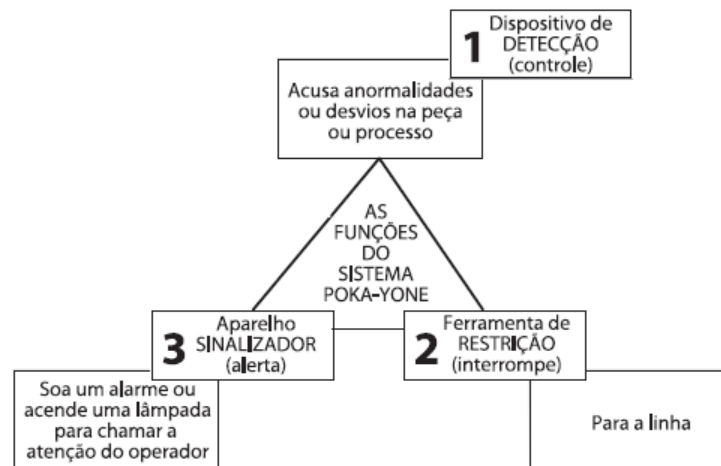
Inspeção informativa: como passo seguinte a inspeção por julgamento, investigam-se de forma estatística as causas dos defeitos e essas informações são transmitidas aos processos a fim de tomar medidas para reduzir os defeitos, o que com frequência não tem muita eficácia em razão da demora a checar na origem do problema e os defeitos continuam a ser produzidos.

Inspeção na Fonte: realizada na origem do processo, tendo um retorno imediato e evitando que os erros se transformem em defeitos. Essa inspeção é conduzida durante o tempo limitado em que a peça está sendo posicionada para uma operação, ou logo depois que ela sai da máquina, dessa forma, os erros podem ser corrigidos antes de se transformarem em defeitos.

Também Shingo (apud CALARGE & DAVANSO, 2004), define que a inspeção na fonte é ponto chave para que se elimine o defeito dos processos de manufatura, em busca do que se denomina de Controle de Zero Defeito, também quanto aos meios para se garantir a não ocorrência desses defeitos, tem nos sistemas conhecidos como *poka-yoke* ou mecanismos de prevenção de erros, uma ferramenta chave para eliminar as inspeções para o controle das características da qualidade.

Moura e Banzato (apud CALARGE & DAVANSO, 2004), destacam as funções básicas de um dispositivo à prova de erros dentro de um sistema produtivo, cuja função é controlar as características pré-estabelecidas do produto ou processo, além de sinalizar quando detectar anormalidades ou mesmo interromper o processo, dependendo do nível de atuação do sistema à prova de erro conforme figura 6.

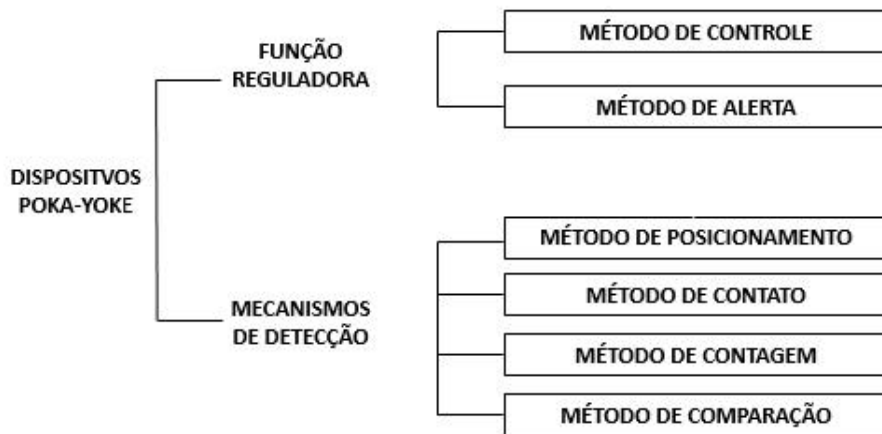
Figura 6 - Esquematização de níveis de sistemas à prova de erros



Fonte: Adaptado de Moura e Banzato apud Calarge & Davanso,2004.

Ainda conforme Moura e Banzato (1996), as funções são basicamente então de prevenir um defeito, impedindo sua ocorrência ou detectar após o evento e classificadas como função reguladora ou mecanismo de detecção conforme figura 7.

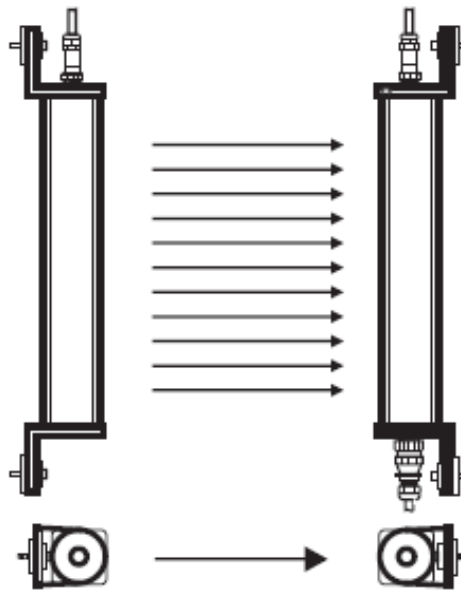
Figura 7 - Métodos de atuação dos dispositivos à prova de erros



Fonte: Adaptado de Moura e Banzato apud Calarge & Davanso, 2004.

- Métodos de controle ou detecção: quando ocorrem anormalidades, paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando a ocorrência de defeitos ou mesmo risco de acidente, no caso do sistema de segurança com cortinas de luz, conforme figura 8.

Figura 8 – Sistema de segurança, método detecção



Fonte: Adaptado de Manual do usuário, cortinas de luz para máquinas operatrizes, 2012.

- Métodos de alerta: Em caso de anormalidades, emitem sinais de alerta luminosos ou sonoros, indicando a necessidade de providências sem paralisar o equipamento ou interromper a operação, como no caso de alertas gerados no painel de veículos, no caso de esquecer as luzes ligadas, mas não garantindo totalmente que essa falha seja evitada, conforme figura 9:

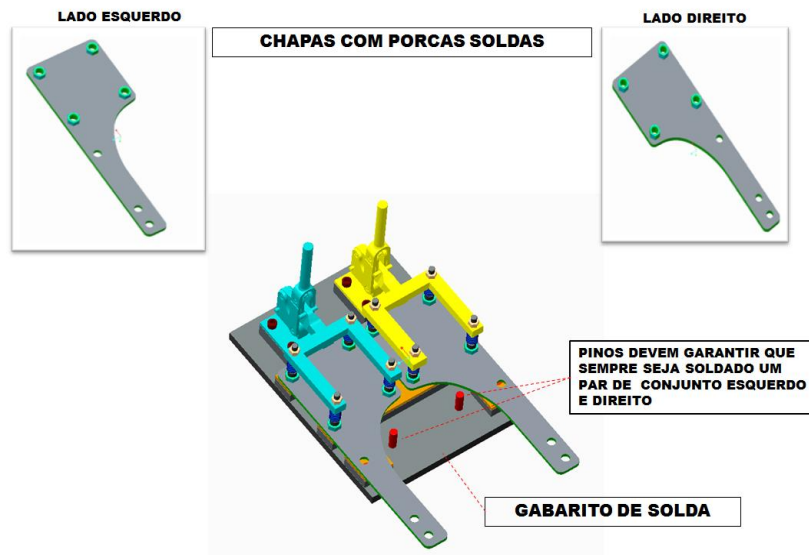
Figura 9 – Método de alerta



Fonte: Adaptado de Nogueira, 2010, p.9.

- Métodos de posicionamento: são dispositivos que permitem a condução da operação, somente quando do posicionamento correto do conjunto de elementos nela envolvidos, impedindo fisicamente a montagem incorreta. A figura 10, mostra um exemplo, onde uma ferramenta de soldagem deve assegurar, que o operador produza um conjunto lado esquerdo e direito por sequência de soldagem. Como as chapas soldadas tem geometrias idênticas, é necessário ter um elemento localizador nessa ferramenta, que causa uma interferência, caso as peças não forem encaixadas corretamente.

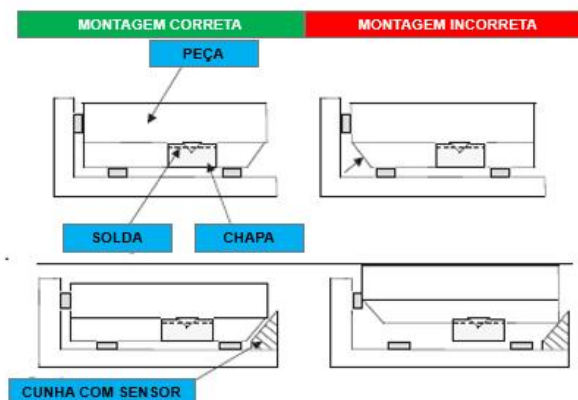
Figura 10 - Ferramenta à prova de erros, método posicionamento



Fonte: Adaptado da empresa pesquisada, 2015.

• Métodos de contato: libera a condução de uma operação a partir do contato de sistemas de sensores que indicam condição adequada para a operação. Na figura 11 é mostrado um exemplo onde uma chapa pode ser soldada em um conjunto em diferentes posições, mas apenas uma posição é a correta. Assim foi instalado um sistema de cunha com sensor, para identificar se a peça está na posição correta. Esse sistema à prova de erros, somente libera à máquina de solda se a peça estiver posicionada corretamente de acordo com a leitura do sensor.

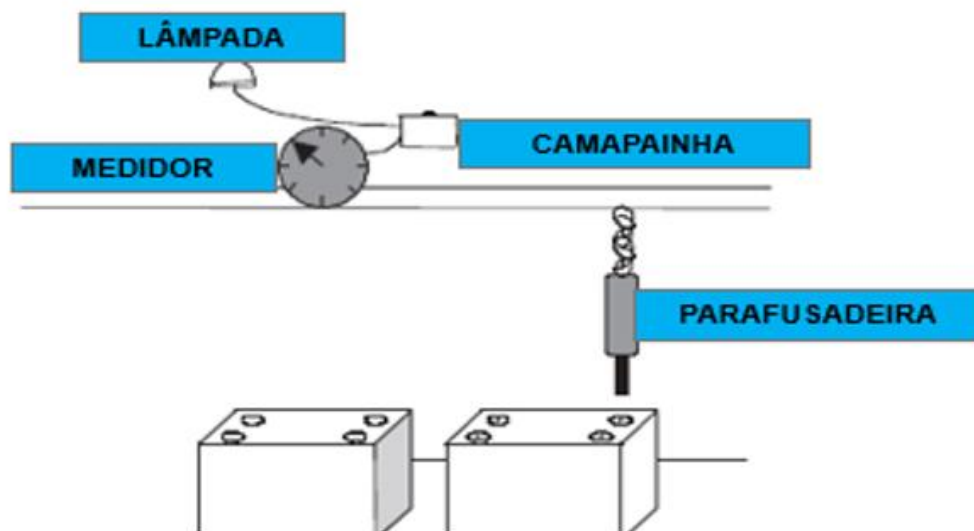
Figura 11 – Ferramenta à prova de erros, método de contato



Fonte: Adaptado de Moura e Banzato apud Calarge & Davanzo, 2004.

- Métodos de comparação: dispositivos que comparam grandezas físicas, como por exemplo temperatura e torque e impedem a continuidade da operação quando detectar uma anormalidade. Conforme figura 12, havia um problema de variação de pressão do ar comprimido na linha de montagem, a parafusadeira não garante o torque requerido. Foi instalado um medidor de pressão, que emite um alarme se a pressão não estiver adequada, travando o carro transportador da linha de montagem, até que seja estabilizada a pressão e o torque correto aplicado.

Figura 12 - Ferramenta à prova de erros, método de comparação

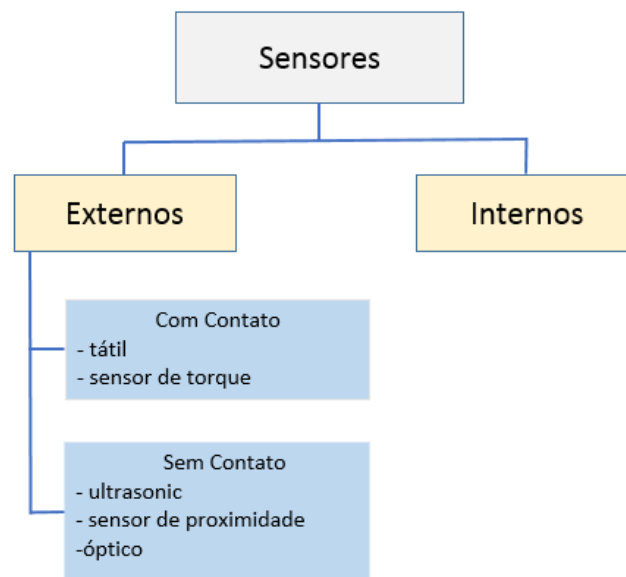


Fonte: Adaptado de Moura e Banzato apud Calarge & Davanso,2004.

2.11 CLASSIFICAÇÃO DE SENSORES

A demanda por melhores sistemas de controles na aplicação de soldagem, tem aumentado dentro dos processos de solda automatizados, isso requer controles de precisão para que os processos de soldagem automatizados tenham a produtividade e qualidade requeridas, com isso os sensores têm um papel crucial para o gerenciamento e controles dos sistemas de soldagem, a figura 13 mostra a classificação dos sensores (GARASIC, KOZUH & REMENAR, 2015).

Figura 13 - Classificação de sensores



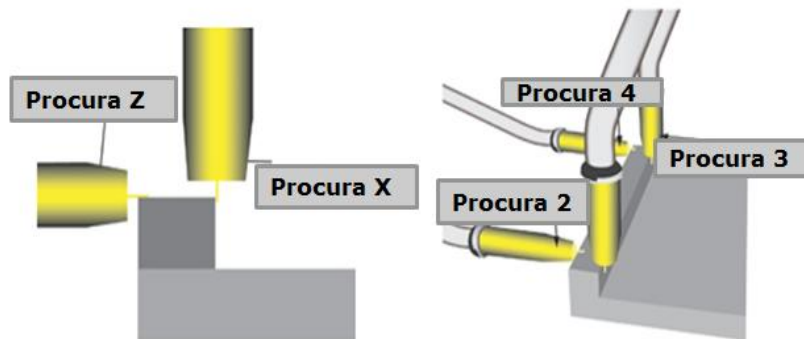
Fonte: Adaptado de Garasic, Kozuh & Remenar, 2015, p. 1069.

Garazic, Kozuh & Remenar (2015), destacam que a principal função dos sensores, é de fornecer ao sistema de controle computacional, as informações para que possam ser geradas ações apropriadas, para que um determinado processo ou produtos sejam realizados corretamente, a nível de qualidade e segurança. No processo de soldagem, os sensores fornecem dados, para que o sistema computacional possa integrar os subsistemas, de forma que a soldagem seja realizada com os parâmetros de soldagem adequados, correta localização, além de propiciar a comparação de geometrias.

2.12 SENSORES *WIRE TOUCH SENSING* USADOS EM ROBÔS DE SOLDAGEM

O sistema denominado sensor de toque ou *wire touch sensing*, conforme figura 14 é realizado pelo próprio arame consumível de solda e funciona através de um sensor de voltagem que é aplicado ao arame de solda, de maneira que o robô de solda é programado para mover-se para uma série de posições relativas para as juntas de solda. As posições da ponta da ferramenta ou tocha de soldagem é gravada quando o arame consumível toca a peça que está sendo programada para a soldagem e então a voltagem atinge o valor zero, após uma série de toques, o programa original é ajustado (GARASIC, KOZUH & REMENAR, 2015).

Figura 14 - Sensor de toque pelo arame de solda



Fonte: Adaptado de GARASIC, KOZUH & REMENAR, 2015.

O sistema de sensores de toque, dentro do programa de solda, é gerado uma rotina de gravação de pontos, para a localização da junta soldada ou de uma característica geométrica através do arame consumível de solda, onde circula baixa voltagem (24V), que através de pulsos elétricos armazena as coordenadas em (X, Y, Z) na memória do sistema controlador do robô. Os pontos registrados, são comparados nas rotinas subsequentes para corrigir trajetórias e podem gerar alarmes dependendo da faixa de procura definida na programação do robô de solda (GARASIC, KOZUH & REMENAR, 2015).

3 METODOLOGIA

A metodologia científica é o método ou caminho para chegar a um fim, ou seja, conjunto de regras e procedimentos estabelecidos para a realização de uma pesquisa científica, que devem ser adequados a obtenção dos dados e formulação de conclusões, de acordo com os objetivos predeterminados (TARTUCE apud GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Com base no objetivo proposto de implementar sistemas à prova de erros em processos de soldagem robotizada dentro de uma fábrica de máquinas agrícolas para eliminar retrabalhos, foi necessário a definição de métodos e técnicas para coletar os dados, fazer a sua avaliação e trabalhar na solução para assegurar que os resultados atinjam os objetivos propostos.

Como metodologia para a realização deste trabalho determinou-se a pesquisa-ação, que procura unir a pesquisa à ação ou prática, desenvolvendo o conhecimento e a compreensão como parte da prática, sendo que a pesquisa-ação é um método qualitativo que pode ser aplicado em qualquer ambiente onde estão envolvidos, pessoas, tarefas e procedimentos (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

De acordo com Tripp (2005), a metodologia da pesquisa-ação atende a quatro ciclos básicos de investigação-ação, os quais foram considerados neste trabalho conforme descrito abaixo:

- Planejar uma melhoria: nesta etapa, com o auxílio da ferramenta FMEA, observou-se o grande risco de montagem incorreta de dois modelos de peças roscadas devido à grande similaridade das mesmas, dessa forma decidiu-se trabalhar em uma solução que evite a montagem incorreta.

- Agir para implementar a melhoria planejada: após discutir a necessidade de implementar o sistema à prova de erros, juntamente com as áreas de Engenharias de Qualidade, Manufatura, Produto e Operações, investigou-se as tecnologias disponíveis no equipamento de soldagem robotizada, bem como as alterações de ferramentas, com base no cronograma de implementação do projeto.

- Monitorar e descrever os efeitos da ação: testes foram realizados após a alteração do programa de soldagem e montagem de componentes localizadores da ferramenta de solda, que neste caso de forma combinada permitem a utilização da tecnologia de sensores de toque do robô de solda para detectar se a montagem do referido componente está de acordo com a lista de materiais.

- Avaliar os resultados da ação: com resultado da ação observou-se que o risco da soldagem do componente incorreta foi eliminado em razão de quando posicionado o componente, o localizador somente permite a montagem se a geometria for adequada à lista de materiais correspondente, além disso antes de iniciar a soldagem o robô de solda faz uma nova checagem através do sensor de toque eliminando qualquer possibilidade de erro.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na apresentação e análise de resultados, foram utilizados os conceitos estudados na revisão de literatura, principalmente o *FMEA*, que atua na análise do modo e efeito da falha. Também, para atuar nas causas potenciais de erros, foram utilizadas as técnicas de sistemas à prova de erros, como ação recomendada para atuar no nível de detecção do modo de falha, de forma a eliminar o risco, de acordo com os padrões de qualidade requeridos na empresa onde o trabalho foi desenvolvido.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA E ÁREA DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

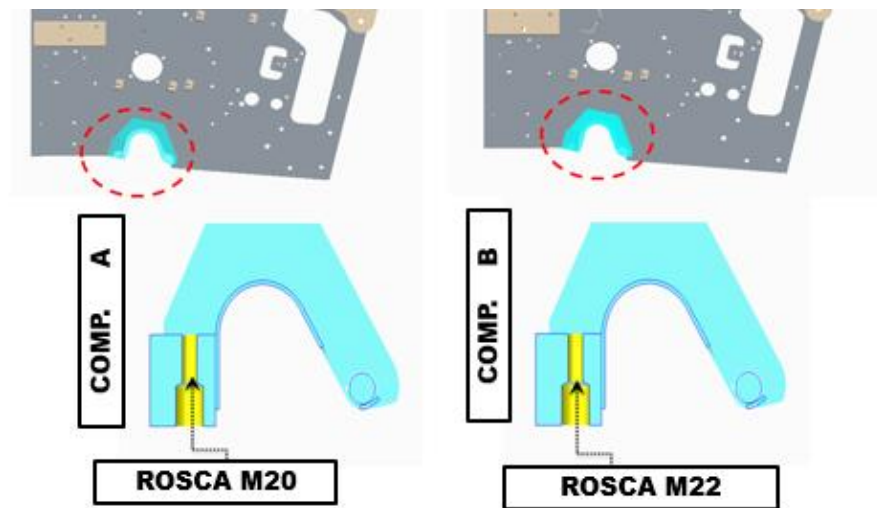
Empresa multinacional de grande porte, que no Brasil, mais especificamente na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, produz colheitadeiras, plantadeiras e plataformas de corte, para o mercado interno e exportação. Os produtos analisados neste trabalho, são estruturas metálicas soldadas dentro de um processo de soldagem *MIG/MAG* robotizado.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE CONTROLADAS E MODOS DE FALHA

A seguir são apresentadas as características que identificam os conjuntos soldados com seus respectivos modos de falha, que justificam a implementação de um sistema à prova de erros. De acordo com a figura 15, os produtos possuem grande similaridade geométrica em dois de seus componentes, denominados blocos roscados, onde um tem rosca M20 e outro M22.

Essa diferença de geometria dos componentes roscados, deve-se à postergação na implementação de um dos modelos de produto, gerando a necessidade de por um determinado período de tempo, trabalhar com modelos de peças com grande similaridade.

Figura 15 - Vista superior dos produtos e características a serem controladas



Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada

A diferença entre as dimensões das roscas e possibilidade de padronização, foi discutida durante o processo de análise do modo e efeito de falha, mas foi descartada, por se tratar de uma restrição de projeto. De acordo com a análise do *FMEA*, a montagem do componente incorreto, pode gerar defeitos com grande impacto em nível de custo de retrabalhos, dependendo em que estágio do processo o erro for constatado.

4.3 FERRAMENTAL ANTES DO SISTEMA À PROVA DE ERROS

O processo de posicionamento anterior à implementação do sistema à prova de erros, conforme figura 16, mostra que a ferramenta para posicionar os dois modelos de blocos roscados M20 e M22, localiza o bloco apenas pelo rebaixo usinado, anterior à rosca, sem levar em consideração a dimensão roscada do bloco.

Figura 16 - Sistema de posicionamento antes do sistema à prova de erros



Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada

Essa condição de posicionamento não assegura que o bloco rosca M20 e M22, seja posicionado no modelo de produto correto, podendo gerar uma não-conformidade e por consequência um retrabalho, que pode ser eventualmente percebido somente nas estações finais de trabalho, gerando grandes transtornos de produtividade e custos de produção.

4.4 ANÁLISE DO *FMEA* ANTES DO SISTEMA À PROVA ERROS

Como uma das fases de implementação deste produto, ocorreu uma reunião de *FMEA*, onde participaram representantes de todas as áreas envolvidas no processo. Foram envolvidas áreas de Engenharia de Manufatura, Produto, Qualidade e representantes de operações.

Conforme figura 17, nessa etapa são analisados conceitos de ferramentas e sequências de execução do processo, para identificar os modos de falhas, qual a possibilidade de ocorrência, detecção e a gravidade caso essa falha ocorra.

Figura 17 - Análise de *FMEA*, antes do sistema à prova de erros

PROCESS FMEA		CONJUNTO A/B		Severity of Effect		Likelihood of Occurrence		Process Control Detection		Priorização de risco		Ações recomendadas
Lider FMEA: Oli da Silva Participantes : Eng. Manufatura, Qualidade, Produto e Operações		PRODUTO: Itens soldado		S E V	Potencial causa da Falha	O C C	Prevention	Detection	D T	R P N	R P L	
Processo	Modo de Falha	Efeito da Falha	Potencial causa da Falha									Prevention
Preparar dispositivo												
Pegar Componente Roscado M20 no container	Pegar componente na embalagem errada (M22)	Montar peça errada no conjunto soldado, que pode gerar parada de montagem na linha principal de colheitadeiras ou retrabalhos	4	4	Sequencia de Eventos	1) No mesmo posto 2) Linha de Montagem	5	140	5	140	H	1) Criar sistema à prova de erros para mesmo que operador pegue a peça errada não seja possível soldar a peça errada
Posicionar e fixar componente roscado no dispositivo	Montar peça invertida	Montar peça errada no conjunto soldado, que pode gerar parada de montagem na linha principal de colheitadeiras ou retrabalhos	4	4	Projeto do dispositivo não garante o posicionamento correto	nenhuma	5	140	5	140	H	1) Criar sistema à prova de erros para mesmo que operador pegue a peça errada não seja possível soldar a peça errada 2) Especificar detalhe de posicionamento na Documentação de sequencia de eventos

Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada, 2015.

De acordo com análise de *FMEA*, o número de priorização de risco (RPN), chegou a um valor de 140, que significa um risco de ocorrerem falhas com uma frequência significativa, com aumento de custos de produção, em função dos retrabalhos ou sucateamento e mesmo custos de garantias.

Diante dessa condição, determinou-se trabalhar em uma solução para eliminar esse modo de falha, trabalhando em alterações de ferramental e uso de recursos de automação disponíveis dentro deste processo de soldagem, feito em célula de soldagem robotizada.

4.5 AÇÕES RECOMENDADAS DE *FMEA*

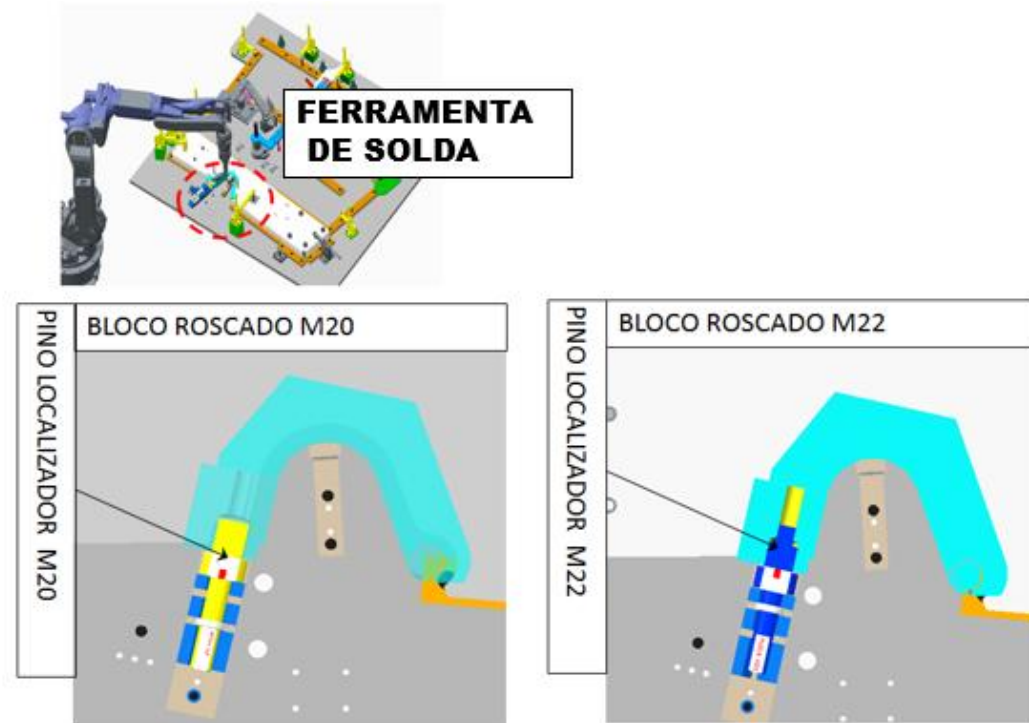
Com base nas ações recomendadas de *FMEA*, a área de Engenharia de Manufatura ficou responsável de apresentar ao grupo uma proposta de sistema à prova de erros, com o objetivo de evitar qualquer possibilidade de montagem incorreta. Considerando que esse processo de utilização de dois modelos de blocos roscados, seria somente por um período de tempo em torno de seis a sete meses, até que a Engenharia de Produto possa padronizar as peças, procurou-se trabalhar com baixos custos de implementação, usando recursos disponíveis na célula robotizada.

4.6 ALTERAÇÃO EM FERRAMENTAL

Conforme figura 18, a ferramenta de solda foi alterada, de modo a ter um pino localizador para cada modelo de bloco roscado. A geometria de um dos pinos localizadores, agora considera a diferença de profundidade do rebaixo anterior à rosca, para o modelo M20, que tem um rebaixo com profundidade maior. O outro pino, considera a diferença de diâmetro da furação da rosca para o modelo M22, de maneira que os pinos somente encaixam no modelo correto. Isso é possível também em razão de que, além das diferenças já mencionadas, o bloco onde cada pino é posicionado tem diferentes padrões de encaixe.

Dessa forma, quando o operador carregar o bloco roscado na ferramenta, primeiramente terá que observar quais dos pinos deverá usar e por consequência certificar-se se está montando a peça correta ou não, para isso o operador poderá consultar documentações de processo, que especificam o modelo de bloco roscado correto para cada conjunto soldado.

Figura 18 - Sistema localizador na ferramenta de solda



Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada, 2015.

Entretanto, como o perfil externo dos blocos roscados onde a solda é aplicada, são iguais, poderá ocorrer de ser usado o pino localizador e o bloco roscado corretos, mas carregados no conjunto soldado errado. Dessa forma adotou-se uma ação complementar, referente a ter um processo de verificação automatizada através de sistema de sensores de toque do robô de solda para confirmar se conjunto pino localizador e bloco roscados são os itens corretos para o conjunto específico.

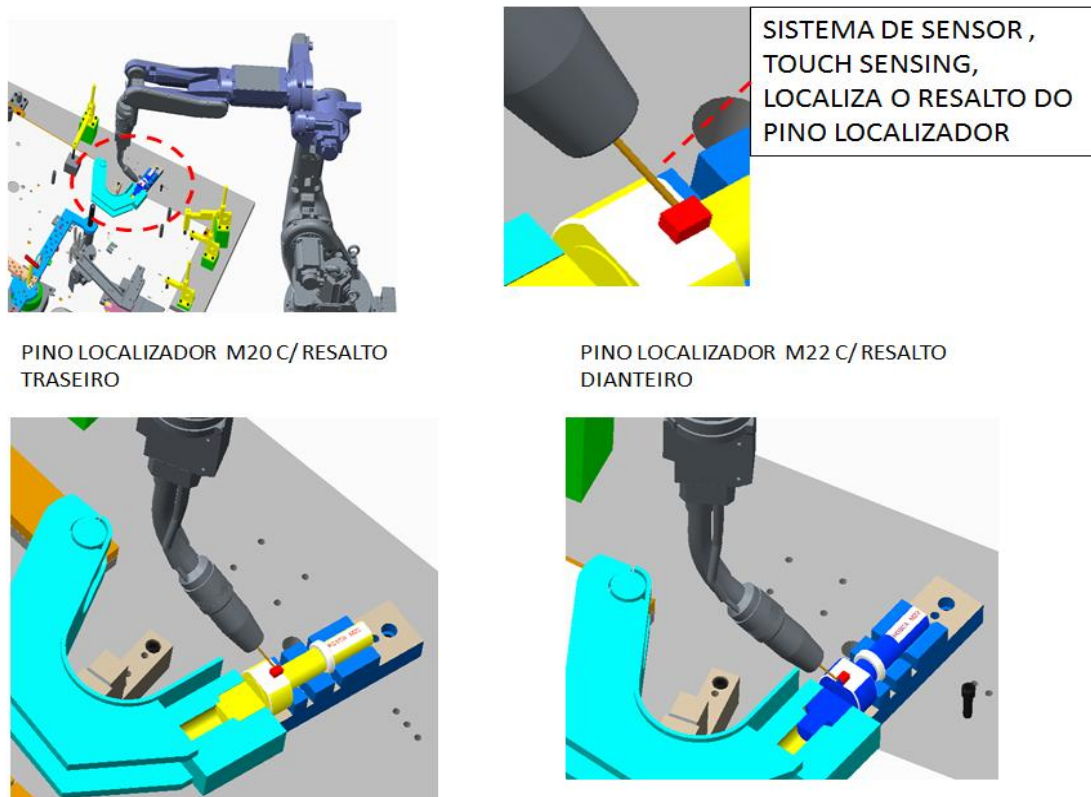
Também, a utilização dos pinos além do sistema sensores de toque é necessária, por dois fatores essenciais:

- Posicionar as peças na correta localização.
- O sensor de toque, não consegue atingir a região da rosca de forma direta, por restrições de espaço.

4.7 ALTERAR PROGRAMA DO ROBÔ PARA USAR SENSOR DE TOQUE

Em razão de somente o pino localizador não evitar totalmente a eliminação do modo potencial de falha, foi necessário fazer a alteração do programa de solda, para usar o recurso de sensor de toque do robô de solda de solda, conforme mostrado na figura 19. O sistema de sensor de toque, que através do próprio arame de solda faz a procura de uma região do pino, que como detalhado abaixo, o pino localizador M20 tem um ressalto na parte traseira e no M22 na parte dianteira. Essa diferenciação do local onde o sensor irá tocar o pino é necessária em razão de que estar ligada ao programa de solda específico para cada modelo de conjunto soldado.

Figura 19 - Sistema à prova de erros, sensor de toque do robô



Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada, 2015.

A programação do ponto de procura através do sistema de sensor com o arame de solda, está dentro da rotina de programação do conjunto soldado com

bloco roscado correspondente, então o programa para o conjunto soldado “A” somente prossegue a soldagem, se localizar essa combinação de ferramenta e peça correta, se não, o sistema de soldagem será interrompido e um será gerado um alarme, a mesma coisa ocorre com o programa de solda para o conjunto “B”.

4.8 ANÁLISE DE FMEA APÓS SISTEMA À PROVA DE ERROS IMPLEMENTADA

Após o desenvolvimento da proposta e implementação do sistema conforme figura 20, a análise do FMEA foi revisada com as mesmas pessoas do grupo do FMEA realizado anteriormente, de forma que a priorização de risco (RPN) foi reduzido de 140 para 3, que significa a eliminação do risco de ocorrerem falhas, em razão da capacidade de detecção do sistema passar de nível 3 para nível 1. Dessa forma, foi constatada a eficácia do sistema e recomendado para aplicações similares em outros projetos, em razão do objetivo de eliminação do risco potencial ter sido alcançado.

Figura 20 - FMEA após a implementação do sistema à prova de erros

RESULTADO DAS AÇÕES - FMEA							
Resp.	Data	Ações	SEV	O C C	D E T	R P N	R P N L
Oli da Silva	15/03/2015	Criado sistema à prova de erros nível 1, usando sensor de toque do robô de solda, combinado com pinos de posicionamento	3	1	1	3	L
Oli da Silva	15/03/2015	Criado sistema à prova de erros nível 1, usando sensor de toque do robô de solda, combinado com pinos de posicionamento	3	1	1	3	L

Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada, 2015.

A análise do FMEA após a implementação do sistema à prova de erros, mostra a eficácia do sistema em função da capacidade de detecção do sistema à prova de erros, onde o nível de priorização de risco foi reduzido de 140 para 3,

tornando o processo como sistema à prova de erros nível 1, eliminando o risco de erro na fonte.

4.9 ELIMINAÇÃO DE ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR

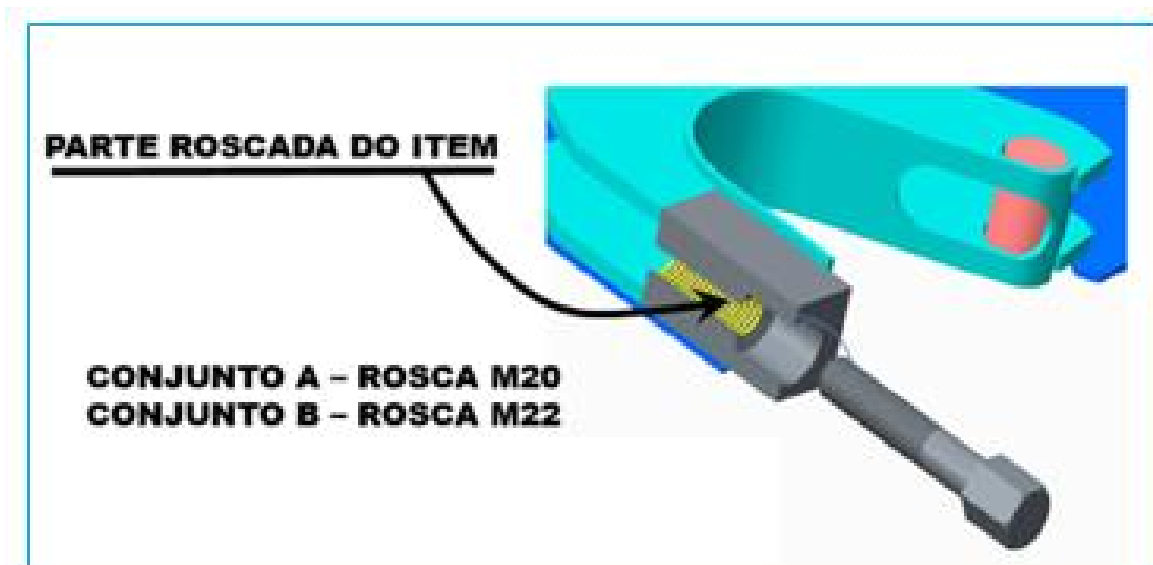
Dentre os custos evitáveis considerados como resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho, estão os custos de inspeção, custos de retrabalhos e de sucateamento de todo o conjunto soldado, caso o retrabalho não possa não ser executado, em razão de risco de segurança, por exemplo.

4.9.1 Eliminação de atividade de inspeção manual

Caso não fosse viável a implementação do sistema à prova de erros, tendo como uma das hipóteses, a não disponibilidade do recurso de sensor de toque nesta célula robotizada, uma das atividades recomendadas, seria posicionar e inspecionar a peça, através de um parafuso roscado, antes ou depois da soldagem, de maneira a confirmar se o item montado está correto para o conjunto de solda específico.

A operação de rosquear é uma operação que não agrega valor ao produto e mais demorada que a operação de apenas encaixar o pino específico para cada modelo de rosca, para possibilitar o uso do sensor de toque do robô. Outra consideração é que a atividade de inspeção não elimina a possibilidade de erros, apenas pode ser usado com um recurso de inspeção para mitigar o modo de falha.

Figura 21 – Sistema de inspeção do componente roscado



Fonte: Autor, adaptado da empresa pesquisada

4.9.2 Eliminação do risco de retrabalho ou sucateamento do item por má qualidade

Com a utilização do sistema à prova de erros nível 1, combinando a utilização do pino localizador e sistema de sensor de toque do robô, foi eliminado a possibilidade de retrabalhar ou mesmo sucatear o item, pois como mencionado somente o processo de inspeção não eliminaria a possibilidade de erro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de um mercado globalizado cada vez mais exigente em padrões de qualidade, principalmente quando se trata de produtos que têm um alto valor agregado, além de ser questão de sobrevivência para as empresas operarem com custos que garantam a sua competitividade no mercado, é essencial atuar na eliminação de desperdícios. Nesse sentido, ter processos produtivos robustos para depender menos do fator erro humano, é um dos requisitos chaves para produzir com qualidade e ter menores custos de produção.

Para eliminar desperdícios, um dos termos muito usado nas indústrias atualmente, é produzir certo da primeira vez, o qual tem um significado bastante amplo no que diz respeito à cultura das empresas na aplicação de metodologias de avaliação e tomada de ações, desde as fases preliminares de desenvolvimento do projeto do produto e processo, para que os potenciais modos de falha e efeito da falha sejam eliminados.

Com a realização deste trabalho, na fase de desenvolvimento de dois novos modelos de produtos, observou-se um modo e efeito de falha em componentes soldados através da metodologia *FMEA*, que poderiam implicar em aumento de custos e perdas de produtividade gerada pela má qualidade, em razão de que as características a serem controladas durante o processo produtivo são difíceis de serem percebidas apenas de forma visual e poderiam gerar produtos não conformes, sujeitos a retrabalhos.

Dessa forma, buscando a participação de todas as áreas envolvidas neste processo, foi trabalhado em uma solução para eliminar o referido modo e efeito de falha, sem depender totalmente do fator erro humano. Avaliou-se então as possibilidades de alterações de ferramentas e recursos tecnológicos disponíveis na referida área de produção, onde os itens são produzidos através do processo de soldagem robotizado.

Considerando que o problema da pesquisa está ligado a aplicação de sistemas à prova de erros em processos de soldagem robotizados, onde foi perguntado se a tecnologia de sensor de toque, denominada *wire touch sensing*, possibilitam eliminar riscos de posicionamento incorreto de componentes soldados, pode-se responder com as seguintes afirmações:

- Após implementado a utilização do sistema à prova de erros com o sistema de sensor de toque do robô de solda com nível 1, que elimina a possibilidade de erro na origem, não foi registrada nenhuma conformidade, dessa forma eliminando totalmente a possibilidade de erro.
- Baixo custo de implementação, considerando que a célula robotizada em questão já tinha o recurso tecnológico de sensores, apenas custo com a fabricação de novos pinos de posicionamento.
- A solução desenvolvida foi registrada, usando ferramentas de qualidade disponíveis na empresa pesquisada, para que possa ser usada em situações similares no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, D.R. **Influência dos parâmetros sobre a geometria dos cordões produzidos por soldagem MAG robotizada**. 2013. Monografia (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/.../000870998.pdf?...1>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

BASTOS FILHO, T. F. **Aplicação de robôs nas indústrias**. Disponível em: < <http://www.iwatufes.com/RobMov/robosindustriais.pdf> >. Acesso em: 9 set. 2015.

CALARGE, F. A.; DAVANSO, J. C. **Conceito de dispositivos à prova de erros utilizados na meta do zero defeito em processos de manufatura**. Santa Barbara d'Oeste, 2004, n. 21, abr. 2004. Disponível em: < www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct21art01.pdf >. Acesso em: 31 jul. 2001.

CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade Total (no estilo Japonês)**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1992.

DUTRA, M. S.; ROMANO, V. F. **Introdução à robótica industrial**. 2001. Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/~hermini/Robotica/livro/cap.1.pdf>>. Acesso em: 20 Out. 2015.

ECHER, I. C. A revisão de literatura na construção do trabalho científico, Porto Alegre, [s.d.] n. 2, jul. 2001. Disponível em: < <http://seer.ufrgs.br/RevistaGauchadeEnfermagem/article/view/4365> >. Acesso em: 31 jul. 2001.

FREITAS, E.P. de.; PREDIGER, D.; SILVEIRA, S.R. **Modelo de aplicabilidade de sistema RFID para rastreabilidade na indústria alimentícia**. [artigo científico]. Disponível em: http://w3.ufsm.br/cesnors/images/ModelodeAplicabilidadedeSistemaRFIDparaRastreabilidade_na_Ind%C3%BAstriaAliment%C3%ADcia.pdf> Acesso em 14 mai. 2015.

FIEB, (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DA BAHIA). **Tecnologia, competitividade e inovação da indústria brasileira**. Disponível em: http://www.fieb.org.br/apoio_a_industria/Noticia/2079/artigo--tecnologia-inovacao-e-competitividade-da-industria-brasileira-.aspx >Acesso em: 5 Julho. 2015.

GARASIC, I.; KOZUH, Z.; REMENAR, M. **Sensores e sua classificação na tecnologia de fusão de soldagem**. 2015. Disponível em: < <http://hrcak.srce.hr/file/211134>>. Acesso em: 21 Out. 2015.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. F. **Métodos de pesquisa**. [artigo científico]. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2015.

INFOSOLDA, (PORTAL BRASILEIRO DA SOLDAGEM). **Soldagem robotizada**. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/fundamentos/223-soldagem-robotizada.html>> Acesso em 05 Maio 2015.

JURAN, J. M. **A Qualidade desde o Projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços**. São Paulo: Editora Pioneira, 1998.

KAYSER, D. **Identificação e redução de perdas segundo o Sistema Toyota de Produção: um estudo de caso na área de revestimento de superfícies**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

KEIBLER, C. **Suas peças são adequadas para a soldagem robotizada?** Disponível em: <<https://app.aws.org/wj/2003/06/037/t>>. Acesso em: 9 ago. 2015.

LOPES, D. N; MARTINS, H. S. dos; NUNES, A. K. L. **Diagnóstico das perdas do Sistema Toyota de Produção no processo produtivo de sacolas plásticas em uma indústria de reciclagem**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Enegep, 29, 2009, Salvador. Bahia: 2009. p. 3.

MANUAL do usuário, Cortinas de proteção para máquinas operatrizes. São Paulo: Sensores Eletrônicos Instrutech, 2012. Disponível em: <<http://www.weg.net/.../WEG-cortina-de-luz-compact-safe-switch-cssb-manual-...>>. Acesso em: 21 out. 2015.

PALADINI, E. P. **Gestão da Qualidade**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

PALADY, Paul. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 1997.

SHINGEO, Shingo. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

TRIPP, D. **Pesquisa-ação**. Disponível em: <<http://pesquisaemeducaoufrgs.pbworks.com/w/file/81004754/pesquisa-a%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

WEIMER, R. **Percepção sobre custos da qualidade em indústrias: um estudo de caso**. 1982. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.