



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEMA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Dispositivo inteligente, aplicado para o estudo de falhas em processos artesanais de solda a ponto, em microempresas metalúrgicas.

Daniela Eugenia Silva Lopes
daniela.eugenia@prof.una.br
UNA/UNATEC

João Marcos de Castro Baker
joao.baker@prof.una.br
UNA/UNATEC

Maxwell Mendes Marciano
maxmendes.m@gmail.com
UNA/UNATEC

Alexandre de Jesus Fernandes
ajf84@hotmail.com
UNA/UNATEC

Felipe Augusto Alves Lopes
felipe.bhdesigner@gmail.com
UNA/UNATEC

Resumo: A procura por produtividade e qualidade tem sido a premissa para as organizações tornarem seus produtos diferenciados com o intuito de garantir a competitividade exigida pelo mercado da indústria metalomecânica. Inseridos neste painel, os pequenos negócios representam domínio do setor metalúrgico brasileiro, desempenhando expressivamente na geração de empregos e renda, especialmente as serralherias. No entanto muitos destes negócios estão fadados a um fraco nicho de mercado por não apresentarem produtos de qualidade - tampouco garantia dessa qualidade - devido à precariedade, ou mesmo completa ausência, de um sistema de gestão da qualidade, havendo, portanto, a necessidade e a preocupação para com o desenvolvimento e permanência dessas microempresas no cenário nacional. Este trabalho apresenta uma proposta de estudo sobre o reflexo da instalação da ferramenta de qualidade Poka-Yoke em linhas artesanais de soldagem a ponto em microempresas metalúrgicas situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, por meio de estudo de caso e análise de simulações em um protótipo mecânico inteligente desenvolvido para este fim.

Palavras Chave: Poka-Yoke - Calibrador por Atrib - Arduino - qualidade -



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEMA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



1. INTRODUÇÃO

É notório o aporte que as grandes corporações oferecem para as economias mundiais. Todavia a participação dos pequenos e médios negócios tem representado notável representação, apresentando uma importância apreciável no contexto socioeconômico, onde além da predominância no setor industrial nacional, contribuem expressivamente para a formação do produto nacional bruto, atua diretamente na preservação da economia de mercado, reduzem o desemprego e agregam diversidade às atividades econômicas.

Mas em um panorama globalizado, extremamente dinâmico e, conseqüentemente, arriscado, os pequenos negócios sofrem constantemente massiva competitividade: seja por concorrência entre empresas de mesmo porte, ou ainda, concorrência direta com grandes corporações, dotadas dos mais diversos recursos, onde pequenas falhas de gestão podem falir o empreendimento.

Para resistirem a esse cenário requerem domínio e inovação da tecnologia, dos processos e de estratégias gerenciais para garantir a produção de bens e serviços de alta qualidade, capacitando-se por meio de um sistema de gestão da qualidade que permita guiar os negócios avaliando crítica e iterativamente suas atividades produtivas, aumentando com isso a satisfação do cliente, dominando cada vez mais suas necessidades, atendendo e as superando.

As microempresas dominam o setor metalúrgico, que no Brasil, exercem um papel importantíssimo com geração expressiva de emprego e renda, havendo, portanto, a necessidade e a preocupação para com o desenvolvimento e permanência dessas microempresas no cenário nacional.

Para o desenvolvimento deste estudo, empreendimentos de pequeno porte voltados para a fabricação em série de produtos do ramo metalúrgico na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) foram visitados.

O Poka-Yoke - termo japonês que significa à prova de erros (*error proofing* ou *mistake proofing* em inglês) - surgiu no Japão no início do século XX. O primeiro dispositivo que pode ser considerado um Poka-Yoke foi desenvolvido por Sakichi Toyota, sua finalidade é prevenir erros e defeitos. Sua utilização é direcionada para o controle da produção e qualidade, visto que ele diminui a possibilidade de erros na produção, acelera o processo e também reduz os custos, desperdícios e retrabalhos, sendo capaz de otimizar o tempo consumido nos processos industriais, visando reduzir o número de refugos e peças rejeitadas por falhas humanas, o Poka-Yoke surgiu inovando toda a indústria, visto que, é uma solução barata e eficaz e bastante versátil.

Este trabalho tem com finalidade desenvolver e testar um protótipo simulador de dispositivo de soldagem automatizado, destinado a estudar processos artesanais de soldagem a ponto em microempresas do ramo metalúrgico com o intuito de aperfeiçoá-los, baseando-se na ferramenta de qualidade Poka-Yoke largamente empregada nas grandes indústrias do mesmo ramo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O PROCESSO DE JUNÇÃO NA FABRICAÇÃO MECÂNICA

Através de uma multiplicidade de materiais completamente distintos e suas possíveis combinações, tais como metais, plásticos, madeira, têxteis ou papel, que podem ser empregados como peças a serem submetidas a um processo de junção, que pode ser tanto direto (soldagem e brasagem) quanto sob a ação de elementos adicionais de fixação e junção, como; parafusos, rebites e anéis de cravação (BATALHA, 2003).



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGeT
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



2.2. SOLDA A PONTO

A soldagem por pontos é um processo em que as superfícies são unidas por meio de um ou mais pontos sobre os quais são aplicados calor e pressão; o calor é gerado pela resistência a uma corrente elétrica que passa através das peças mantidas em contato durante um curto período de tempo; o processo utiliza baixa tensão, alta intensidade de corrente e pressão. Quando a intensidade de corrente cessa, a pressão é mantida enquanto o metal se solidifica. Os eletrodos são afastados da superfície depois que se realiza cada ponto. As dimensões e formas das soldas são limitadas, principalmente em função das dimensões e contornos das faces do eletrodo. A soldagem por pontos utiliza eletrodos cilíndricos e a corrente de soldagem é concentrada num ponto na junta (ZIEDAS, 1997; TATINI, 1997 APUD INFOSOLDA, 2013).

Parâmetros de soldagem são condições combinadas necessárias a um ponto de solda para efetivar uma junta. Em soldagem a ponto por resistência existem três parâmetros principais: Corrente de soldagem, Força do eletrodo e Tempo de soldagem os quais são aplicados em um ciclo de soldagem. A resistência elétrica da peça não é um parâmetro, mas tem muita importância, pois ela é responsável pela geração de calor devido à oposição à passagem da corrente - efeito Joule (IMZ USINAGEM, [s.d]).

2.3. O EFEITO DO DESALINHAMENTO DO ELETRODO NA QUALIDADE DA SOLDA

De acordo com o site IMZ Usinagem [s.d], idealmente os eletrodos devem ser alinhados durante a soldagem visto que um desalinhamento induz uma característica desfavorável do processo e qualidade da solda. O desalinhamento, seja axial ou angular, pode causar formas irregulares e medidas reduzidas do ponto de solda resultado de assimétricas distribuições da aplicação da força do eletrodo e da passagem de corrente. Um desalinhamento pode resultar de uma deflexão sob uma força aplicada durante o processo ou pode estar presente mesmo na aparência de eletrodos alinhados sem carga ou muito pouca carga. Tal desalinhamento é geralmente ignorado na prática, mas ocasiona uma redução na área de contato o que afeta na densidade de corrente e uma errada distribuição de pressão devido à deflexão induzida um desalinhamento de 40% do eixo dos eletrodos a área de contato diminui aproximadamente 50% da área total da face do eletrodo.

2.4. LEAN SEIS SIGMA NA GESTÃO DA QUALIDADE DE PROCESSOS DE SOLDA A PONTO

2.4.1. LEAN MANUFACTURE: TPS - SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O conceito TPS-*Toyota Production System* (Sistema Toyota de Produção), ou também conhecido como *lean manufacturing*, ou manufatura enxuta, é uma referência mundial para sistemas de manufatura, em diversos tipos de mercado. De forma resumida, a manufatura enxuta é uma filosofia que busca reduzir o tempo entre a ordem de pedido do cliente de um processo de manufatura e a entrega do produto, eliminando o desperdício. O desperdício é qualquer coisa que não adiciona o valor ao produto na perspectiva do cliente (BARROS, 2006). Apesar de ser um sistema concebido originalmente para processos manuais de manufatura, o TPS prevê que é praticamente impossível uma conversão de um sistema de produção convencional para um sistema enxuto sem um mínimo nível de automação (HARIS, 2002 apud BARROS, 2006).



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



2.4.3. POKA-YOKE

Um dispositivo Poka-Yoke é qualquer mecanismo que evite que o erro seja cometido ou que faça com que seja óbvio à primeira vista, para que seja facilmente detectado e corrigido (WERKEMA, 2015). Segundo Shigeo Shingo (1986, p.82 apud WERKEMA, 2015, p.15) que criou o Poka-Yoke na década de 1960, “defeitos surgem porque erros são cometidos; os dois têm uma relação de causa e efeito... Contudo, erros não se tornarão defeitos se houver feedback e ação no momento do erro”.

Ainda de acordo com Shigeo Shingo (1996) a base do sistema Toyota de Produção engloba uma série de cuidados para a sua eficácia e tem como característica o princípio da redução de custos. Essa redução de custos pode ser atingida com o uso do Poka-Yoke, sendo que sua essência baseia-se em, “projetar o seu processo, para que os erros sejam impossíveis ou facilmente detectados e corrigidos” (SHINGO, 1996).

Existem duas maneiras de fazer uso do Poka-Yoke: a de controle e de advertência. A de controle acontece quando a linha de produção pára no momento em que a causa do erro é detectada. Já a de advertência emite um alarme ou sinalização para que os operadores possam tomar as devidas providências (FIORIO; HENRIQUE, 2013).

O Poka-Yoke tem como objetivo eliminar as falhas humanas, por meio de elementos de máquinas muitas das vezes de baixo custo, ele permite ainda o zero defeito e o crescimento da qualidade (IMAM TREINAMENTOS, [s.d]).

Para Gonçalves [s.d] existem três métodos de utilização do Poka-Yoke de controle, são eles:

- a. *Método de posicionamento*: consiste em determinar peças a serem montadas em uma posição tecnicamente correta. Assim é instalado um pino de interferência com a função do Poka-Yoke.
- b. *Método de Contato*: este método evita que peças sejam soldadas de forma incorreta, desta forma é instalada uma cunha com a função de sensor, o qual é o Poka-Yoke, que impede ou libera o funcionamento da máquina de solda.
- c. *Método de Comparação*: consiste em instalar um medidor de pressão para realizar a análise de variação de pressão do ar na linha de produção, comparando com a pressão pré-determinada. Neste caso o Poka-Yoke é o medidor, em caso de danos ou falhas é disparado um sinal sonoro para que a produção seja paralisada.

Werkema (2015) menciona o uso de Poka-Yokes em situações cotidianas como: a trava eletrônica na porta de automóveis que possui um dispositivo Poka-Yoke para fechar a porta automaticamente quando a velocidade do veículo excede 30 quilômetros por hora; o furo próximo à borda da pia é um dispositivo Poka-Yoke que ajuda a evitar transbordamentos; o pen-drive possui uma ranhura, de modo que só é possível inseri-lo no computador se ele estiver na posição correta.

2.4.3. Poka-Yoke No Dispositivo De Soldagem

De acordo com Corazza (2015), os dispositivos de soldagem permitem uma grande redução no tempo de produção com uma melhoria significativa na qualidade dos conjuntos soldados. Eles podem ser fabricados para o posicionamento e fixação de diversos tipos de conjuntos mecânicos em coordenadas matemáticas (TECH-WISE, 2009) para diversos tipos de soldagem principalmente solda a ponto, onde a montagem pode ser para bancada, cavaletes ou para robôs. Aos dispositivos podem ser incorporados diversos níveis de automação: Fixação mecânica, fixação pneumática, sensoriamento de controle, etc.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGeT
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Os dispositivos Poka-Yoke são como “guias”, que orientam o movimento do operador, por exemplo, evitando que haja falha de montagem, ou de posicionamento dos pontos de solda (SOUZA, 2006).

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido utilizando os seguintes métodos de obtenção e análise de dados:

- a) **Pesquisa de campo** estruturada - através de visita técnica - no estudo de caso de processos artesanais de soldagem a ponto empregados em microempresas metalúrgicas situadas na região metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais;
- b) **Pesquisa teórica** embasada em literaturas e registros científicos, desenvolvida para fundamentar uma solução baseada na construção de um protótipo simulador de dispositivo de solda para fabricação de peças por soldagem a ponto em microempresas;
- c) **Pesquisa empírica** designada para validar a intervenção proposta - através de análise de testes e simulações de situações hipotéticas - quanto à sua eficácia em substituir procedimentos artesanais de soldagem a ponto por técnica inspirada no sistema produção enxuta.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. ESTUDO DE CASO

Investigou-se nas microempresas visitadas a necessidade da inserção da ferramenta Poka-Yoke na produção contínua de peças. Perante as múltiplas técnicas combinadas de produção notadas, os processos de soldagem a ponto mostraram maiores potenciais para implantação de Poka-Yokes devido ao processo ter características artesanais imprecisas, vagarosas e com elevados riscos de acidentes.

4.2. SIMULAÇÃO

Para se estudar a necessidade e a viabilidade de uma intervenção nos processos artesanais fabris de soldagem a ponto pelo uso de tecnologia Poka-Yoke, integrando-se esta ferramenta a um sistema automatizado de inspeção, desenvolveu-se um protótipo simulador de dispositivo de solda.

Para a elaboração e análise do protótipo considerou-se um caso hipotético de manufatura artesanal de peças metálicas, preparado com base nas características dos principais métodos de soldagem a ponto e nos principais problemas da gestão da qualidade destes processos.

Para estudar situações típicas que podem induzir um cliente a desqualificar uma pequena empresa como fornecedora, abordou-se as seguintes condições hipotéticas:

- a) A empresa fornecedora (objeto de estudo) é microempresa do tipo serralheria, e tem pouco rigor em seu controle de qualidade;
- b) A fornecedora utiliza de técnicas artesanais em suas etapas de fabricação;
- c) A empresa cliente é de porte maior que a fornecedora e estipulou curto prazo para atendimento das seguintes alterações a serem aplicadas no próximo pedido:
 - Redução brusca nos limites de tolerância para aprovação dos produtos;
 - Alteração no projeto do produto;



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



- A quantidade do pedido será dobrada;
- d) Por consequência das alterações no projeto do produto, haverá no estoque de matéria prima do fornecedor prejuízo com insumos obsoletos;

4.3. DESCRIÇÃO DO CASO HIPOTÉTICO

Uma microempresa (fornecedora) do tipo serralheria tem contrato com uma empresa de médio porte (cliente) - especializada em personalizações automotivas - para fornecer peças metálicas estruturais, onde diariamente a serralheria produz, para este cliente, um lote com 300 unidades da peça cujo modelo é catalogado com o nome “Suporte para travessa ST-01”.

A peça “Suporte para Travessa ST-01”, é um quadrado perfurado confeccionado por meio da soldagem a ponto de quatro componentes quadrados distintos, catalogados como componentes ST-01/A, ST-01/B, ST-01/C, ST-01/D de chapas de aço previamente cortados e perfurados seguindo os requisitos fornecidos pelo cliente. E para garantir a produção mínima diária a serralheria mantém um estoque de componentes 4 vezes maior que a produção diária da peça final.

A produção da peça “suporte para travessa ST-01” será substituída pela versão “ST-02” cuja demanda diária será dobrada.

Diferença entre os modelos do suporte: 4 furos alinhados ao centro da peça. Apesar da semelhança entre as peças, o processo de fabricação deverá ser mais rigoroso, para garantir os novos requisitos de tolerância para o modelo ST-02.

A duplicação da produção e a inclusão dos furos centrais na peça de modelo ST-01 implicam à serralheria investimentos em recursos humanos, *layout*, equipamentos e insumos, e paralelamente geram perdas pela duplicação dos índices de refugos, retrabalhos e incidência de paradas não programadas. Esta situação pode desqualificar a serralheria como fornecedor e gerar o encerramento do contrato com a empresa cliente.

A tabela 1 descreve a projeção de manufatura e estocagem para a peça “Suporte para travessa ST-02”.

Para desocupar o estoque de componentes ST-01 sobressalentes, os componentes de modelo ST-02 iniciais serão confeccionados perfurando-se a peça “suporte para travessa ST-01”, os demais receberão o furo nos processos iniciais de estampagem sem alterações significativas na velocidade desta etapa de fabricação em função da adição de novos furos.

Produção (unidades/dia)	Limite mínimo do estoque (unidades/dia)			
	ST-02/A	ST-02/B	ST-02/C	ST-02/D
C	ST-02/A	ST-02/B	ST-02/C	ST-02/D
600	2400	2400	2400	2400

Tabela 1. Relação de estoque mínimo diário de componentes em função da produção diária do modelo reformulado da peça final.

4.4. PROTÓTIPO SIMULADOR

Nestas condições, inspirando-se o método *DMAIC* das *8 Etapas para a criação de um dispositivo Poka-Yoke*, elaborou-se um dispositivo de solda para simulação da confecção das peças modelo “Suporte para Travessa ST-01” e “Suporte para travessa ST-02”, considerando-se os requisitos de dimensões e tolerâncias expressos pelo cliente hipotético.

O protótipo simula um dispositivo de solda industrial como o apresentado na figura 1. As peças a serem soldadas (previamente cortadas, perfuradas e conformadas em processos de estamparia) são posicionadas em suportes e Poka-Yokes e presas sob a compressão de



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGTe
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEPA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



grampos manuais de fecho rápido, aonde sensores de presença e posição interagem com os Poka-Yokes para detectar falhas (falhas de sequência de montagem; presença, alinhamento e modelo corretos de peças; falhas críticas do processo de estamparia como erro de dimensionamento, repuxos, empenos e ausência de furos, dobras e cortes).

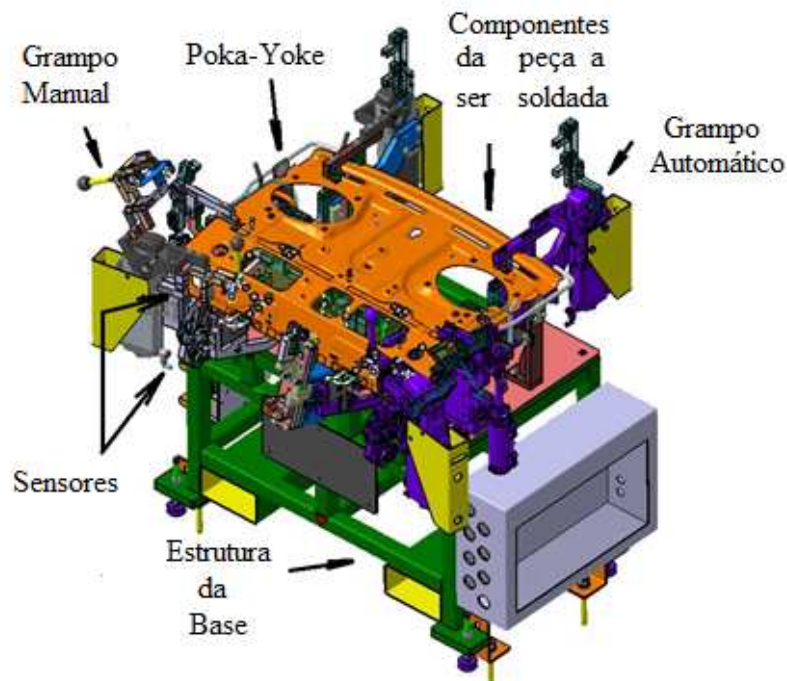


Figura 1: Projeto de dispositivo de solda a ponto com grampos automáticos para indústria automobilística. Fonte: MDA Projetos [s.d], (adaptado).

Na condição de todos os sensores não detectarem erros, grampos mecânicos automáticos complementares são habilitados, cujo acionamento é controlado pelo operador (soldador) através de um painel afixado próximo ao dispositivo (o equipamento de solda também é habilitado neste momento). Os grampos automáticos garantem o posicionamento contínuo de todas as peças perante as vibrações e demais tensões de afastamento geradas na etapa de soldagem no processo.

4.4. 1. PARTES CONSTITUINTES DO PROTÓTIPO

4.4.1.1. BASE

Para simular as estruturas metálicas de um dispositivo real, usou-se madeira tipo MDF, onde guias permitem o livre deslizamento da máquina de solda impedindo desvios transversais à região de cada ponto no plano da superfície da peça final.

Os pinos acoplados na base do dispositivo coincidem com os furos específicos de cada peça, interferindo assim em sua montagem reprovando mecanicamente o encaixe de um componente errado ou defeituoso. Os pinos são removíveis, permitindo: substituição quando danificados, alternância rápida de produção entre modelos de peça ST-01 e ST-02 usando o mesmo dispositivo, e garante também flexibilidade para modificações futuras nos projetos das peças modelo ST-01 ou ST-02 (mudança na posição e/ou dimensão de furos) para uma possível variante “modelo ST-03”.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEPA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Adaptou-se guias alinhadoras dedicadas à perfuração (pós-soldagem) dos furos centrais na peça ST-01 pra transformá-la em *Suporte para Travessa ST-02*, permitindo o aproveitamento de estoque sobressalente de componentes ST-01 (as Guias Alinhadoras funcionam em conjunto com as Guias de Perfuração presentes na trava).

4.4.1.2. TRAVAS

Para os grampos manuais de fecho rápido usou-se hastes de madeira rígida montadas em articulações de pressão presas na base do protótipo.

Havendo algum componente erguido por falha de encaixe em qualquer ponto da base, a trava mecânica também não encaixará corretamente, esta condição é monitorada automaticamente por um sensor de fim de curso (sensor de presença) que detecta um campo magnético gerado por um ímã embutido na haste somente se esta for perfeitamente travada.

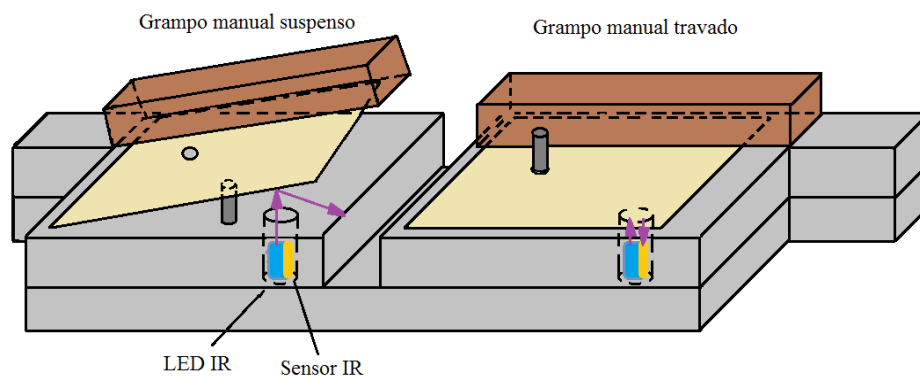


Figura 2- Interação de sensores e Poka-Yokes mecânicos: possíveis inclinações de componentes impedem o travamento dos grampos mecânicos.

Usou-se na simulação de grampos automáticos conjunto de hastes plásticas acopladas a servomotores cujos movimentos de trava e destrava são controlados por um sistema embarcado instalado no painel.

Guias de perfuração montadas na haste de uma trava combinam-se com as *guias de alinhamento* acopladas na base do dispositivo.

Dessa forma se pode controlar, de forma automática, a tolerância de posicionamento dos furos durante perfuração posterior aos processos de estamparia, ao passo que as guias controlam o ângulo de perfuração da broca da máquina perfuratriz.

4.4.1.3. SENSORES

Sensores magnéticos e sensores por impedância são mais usados em ambientes de soldagem por serem mais robustos perante sujidades e demais ruídos gerados na produção. Simulando esses sensores usou-se no protótipo detectores óticos (inertes à luz ambiente) no interior de cavidades perpendiculares à superfície da base do protótipo que recebe os componentes.

Foram montados com um emissor infravermelho em conjunto com um fototransistor IR (receptor infravermelho): o emissor transmite continuamente um feixe infravermelho que é refletido pela superfície do componente - quando corretamente posicionada na base. O sinal ótico refletido é então captado pelo fototransistor que o converte em sinal elétrico, este é

transmitido, via barramento, para o microcontrolador do painel que processa digitalmente a leitura do dado obtido.

Como sensor de fim de curso para verificar se as travas manuais foram corretamente acionadas usou-se *Reed Switch* (interruptor de lâminas) cujo modelo é “normalmente aberto”. Este sensor, conhecido também por *chave magnética* ou *relé magnético*, é sensível ao campo magnético de um ímã preso no corpo da trava mecânica. No momento em que a trava toca completamente a superfície da base, há a detecção do campo (que pode penetrar o material dos componentes), assim os contatos são fechados e um sinal é continuamente lido numa porta de entrada digital do microcontrolador até o momento de destrava, onde a intensidade do campo magnético não é mais suficiente para manter os contatos unidos.

4.4.1.4. LED’S INDICADORES

Como Poka-Yoke de advertência usou-se LED’s de indicação no corpo do dispositivo e também no corpo do painel. Estrategicamente posicionou-se os LED’s de indicação no painel sobre um pequeno mapa do dispositivo simulador, definindo com isso a localização de um possível problema ocorrente.



Figura3 - LEDs indicadores permitem o acompanhamento dos ciclos de operação e de manutenção do dispositivo diretamente pelo painel.

4.4.1.5. PAINEL

O acionamento das travas é efetuado pelo operador através de botoeiras e um interruptor geral afixados no painel. Ainda no corpo do painel encontram-se o circuito elétrico dotado de entrada de energia, saída para retífica, e fonte de tensão para alimentação do controlador. A unidade de controle e processamento, cujo compartilhamento de dados com o dispositivo de soldagem é transmitido pelos barramentos de comunicação, atuando como o CLP - *Controlador Lógico Programável* - industrial. Para o processamento e leitura de dados dos sensores, e automação dos indicadores e demais atuadores, usou-se um microcontrolador Arduino Mega 2560 R3.



Figura 5- Vista externa do painel. LEDs azuis correspondem ao estado de travamento dos grampos manuais e os LEDs verdes correspondem à presença de componentes.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGeT
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento

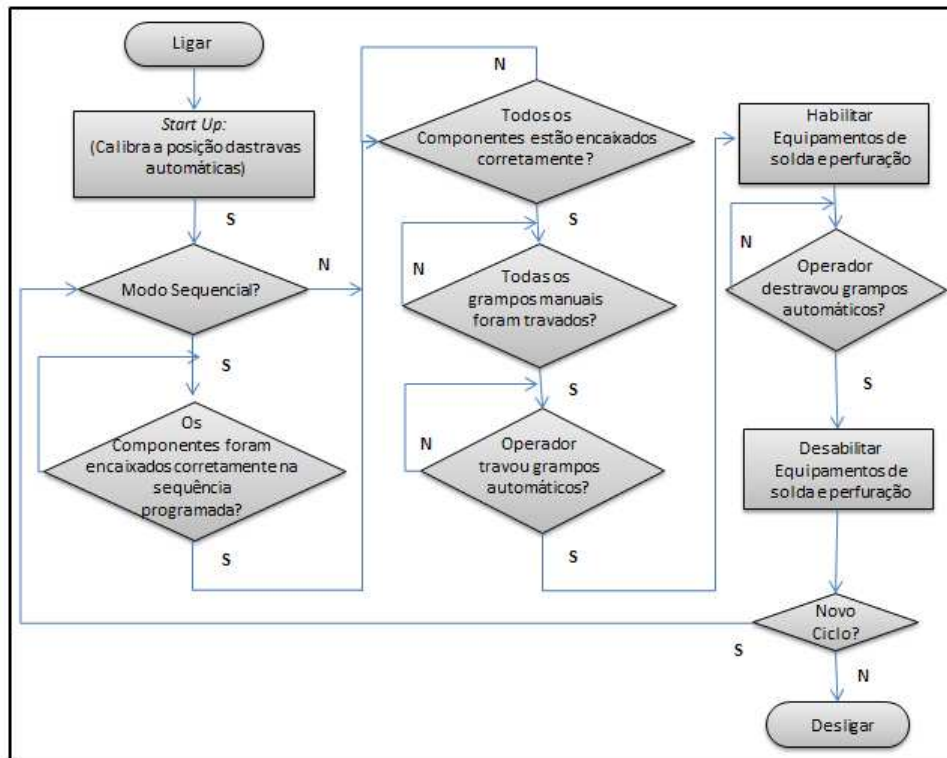
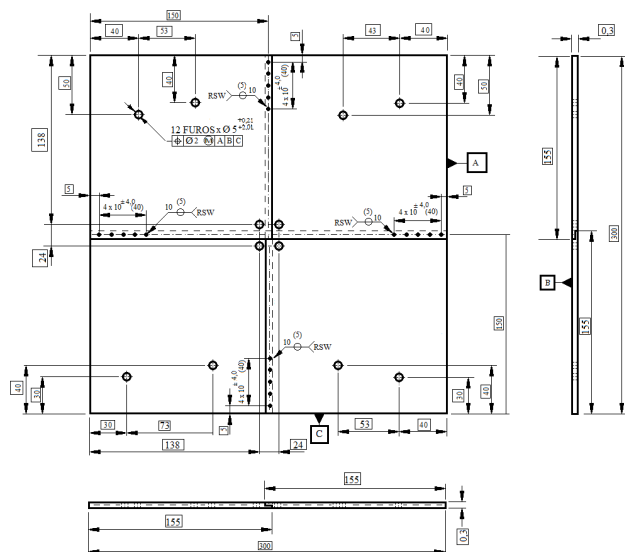


Figura 6- Fluxograma de funcionamento das operações de controladas no Painel.

4.4.1.6. INSUMOS: COMPONENTES

Simulando chapas de aço, usou-se folhas de papel cartão cortadas e perfuradas. Para favorecer a ocorrência de erros de montagem, causados por erros de logística de produção e/ou distração do operador agregou-se semelhanças visuais aos diferentes modelos de componentes: mesma cor nas duas superfícies, mesmo formato (quadrado com lados medindo 155 mm), furos cujos deslocamentos de centro são curtos comparando-se um componente com o outro.

4.4.1.7. PRODUTO FINAL: PEÇA FINAL





28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGTe
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEMA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Figura 7- Requisitos geométricos da peça Suporte pra Travessa ST-02. Para simulação os componentes serão confeccionados em papel cartão e os pontos de solda serão substituídos por grampos de papel.

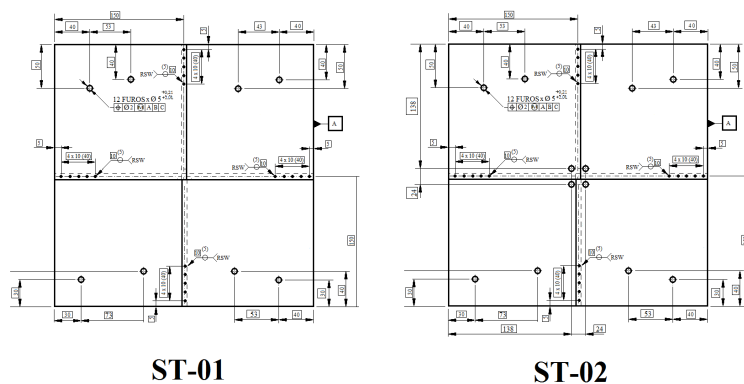


Figura 8 - A diferença entre os modelos ST-01 e ST-02 se dá pela adição de quatro furos centrais na peça ST-01.

4. 4. 1.8. GABARITOS: CALIBRADORES POR ATRIBUTO (PASSA NÃO-PASSA)

Para a análise das peças montadas usou-se de um gabarito calibrador *passa não-passa* construído considerando-se as faixas de tolerância de comprimento final dos lados de cada peça, e também o diâmetro e a posição dos furos.

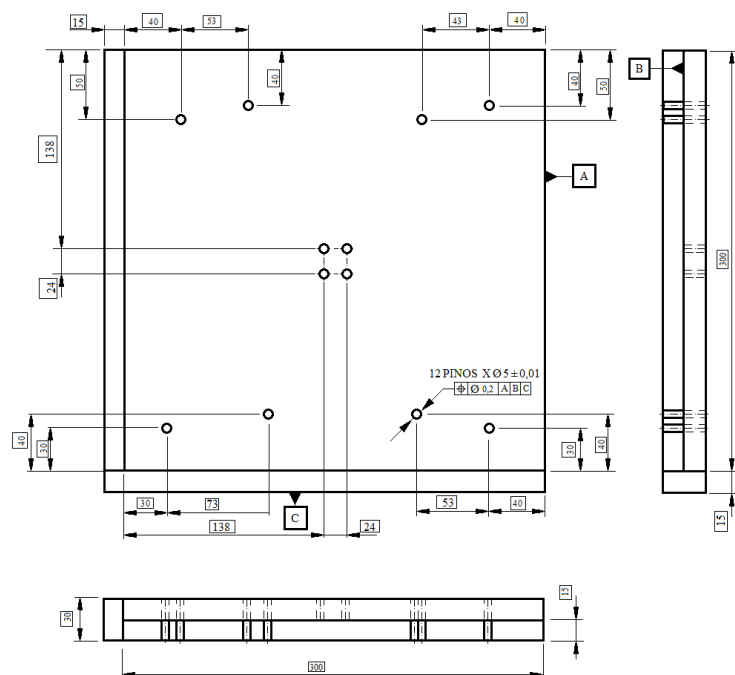


Figura 9- Vistas principais do gabarito calibrador. As peças conformes encaixam-se livremente no calibrador, havendo não conformidades de posição, diâmetro (limite mínimo) de furos, ou também comprimento final de qualquer lado da peça superior a 300 mm a peça não se encaixa corretamente no gabarito (“não passa”).

4. 4. 1.9. MÁQUINA DE SOLDA A PONTO



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGeT
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEPA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Para as simulações de solda usou-se um grampeador de papeis, simulando pinças manuais de soldagem a ponto por resistência, típicas de micro empresas metalúrgicas. Assim cada grampo representa um ponto de solda. O comprimento do grampo representa o diâmetro, sendo o ponto médio entre suas extremidades equivale ao centro de um ponto de solda, referência utilizada para análise de desvios. Como o grampeador não se trata de um equipamento eletro/eletrônico, não se automatizá-lo, mas usou-se um led intermitente (azul/vermelho) para simbolizar. O acionamento da minirretífica é controlado pelo Arduino através de uma interface elétrica.

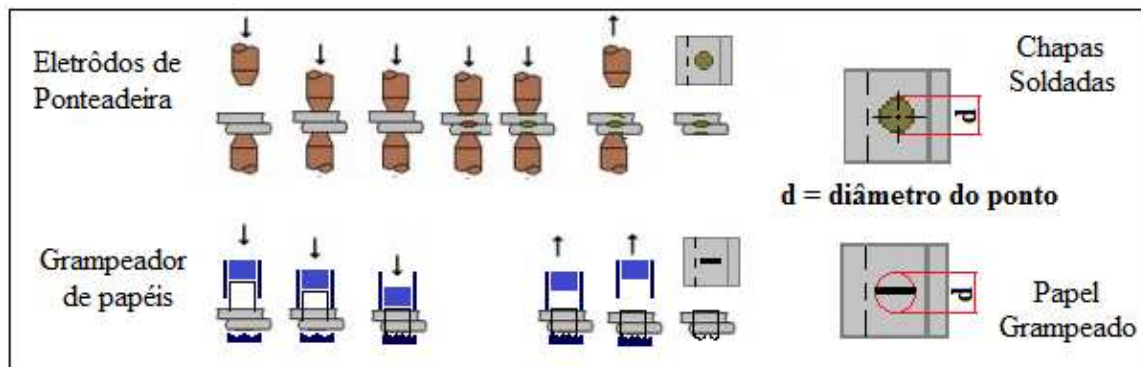


Figura-10. Grampeador simulando ponteadeira(equipamento de solda a ponto por resistência).

5. ANÁLISE DE DADOS

5.1. ANÁLISE DE VISITAS TÉCNICAS

Visitou-se 18 pequenos empreendimentos metalúrgicos sediados na região metropolitana de Belo Horizonte (6 autônomos informais, 1 artesão, 4 microempreendedores individuais formalizados, 4 microempresas e 3 pequenas empresas).

Selecionou-se para estudo de caso o processo de solda a ponto, avaliando – por meio dos testes submetidos ao protótipo simulador - os efeitos da ferramenta Poka-Yoke na solução dos principais problemas elucidados nas visitas técnicas.

5.2. ANÁLISE DE SIMULAÇÕES

Verificou-se que o protótipo aperfeiçoa o processo interferindo nas causas de falha, como descrito na tabela 2.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



PROBLEMAS OBSERVADOS NAS VISITAS		INTERVENÇÃO DO PROTÓTIPO	
Falha	Causa	Efeito	Resultado
Absenteísmo e demais perdas com acidentes	Desatenção, desmotivação, condições e atos inseguros	Organização, eliminação de contato manual durante a etapa de solda, padronização do processo	Melhores e mais seguras condições de operação, maior produtividade
Erros de logística durante a montagem	Troca ou ausência de componentes	Alerta de erros e parada da produção por Poka-Yokes de controle mecânico	Erros de logística não afetam o produto final, não gerando assim retrabalhos e refugos por este motivo
Elevado tempo de treinamento	Processo artesanal não padronizado	Padronização do processo	Maximiza a eficiência do treinamento e reduz o tempo necessário para aprendizagem operacional
Lentidão desnecessária do processo			
Furos, rebarbas, pontos fracos, folgas e empenos	Desalinhamento de componentes	Etapa de ajuste manual eliminada	Melhor condição de alinhamento da máquina de solda; adequação dos desvios geométricos para com as faixas de tolerância admitidas pelos clientes; redução de refugos e retrabalhos por esta causa
Refugos e retrabalhos			
Desvios geométricos fora das faixas de tolerância admitidas pelos clientes			

Tabela 2- Efeito do protótipo simulador nas causas das principais falhas observadas.

Em termos de eficiência em reprovar erros verificou-se que o Poka-Yoke de controle é mais influente que o de advertência, pois interrompe o processo até que a anomalia seja corrigida, tornando obrigatória a correção do erro, sendo assim indicado para prevenir erros cujos defeitos gerados são impossíveis de serem corrigidos ou que produzam defeitos continuamente, até a ocorrência de uma intervenção humana ou mecânica. Para prevenção de erros pouco frequentes e que gerem defeitos passíveis de correção, os Poka-Yokes de advertência tem boa aplicabilidade por não gerarem parada não programada nos processos, podendo também ser usados como medida preventiva redundante, reforçando a eficiência dos Poka-Yokes de controle.

5.3. EFEITOS DA FERRAMENTA POKA-YOKE NA SUSTENTABILIDADE



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGeT
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



O baixo custo é uma das premissas de construção de Poka-Yoke, para isto esta flexível ferramenta pode ser desenvolvida com os próprios recursos presentes nas microempresas. Investimentos maiores podem ser necessários tratando-se da adoção e manutenção de sistemas automatizados, caso seja necessário: esta relação de investimento e retorno deve ser considerada na etapa de planejamento da construção dos Poka-Yokes.

Não se pode subestimar a ferramenta Poka-Yoke por sua simplicidade ao se pensar em seus efeitos no contexto da sustentabilidade.: em primeiro plano esta ferramenta pode ser usada no progresso da qualidade de vida em função da melhora de condições ocupacionais, reduzindo ou até eliminando causas de acidentes ou problemas ergonômicos na fabricação, maximizando paralelamente a produtividade e qualidade de produtos. Quanto à questão energética, a diminuição no consumo pode surgir da redução de paradas não programadas e da redução de operações desnecessárias; e a respeito da questão ambiental a redução de retrabalhos e refugos ocasiona um desconto na produção de detritos decorrentes da produção: diminuindo a quantidade de material perdido, diminui-se conseqüentemente a demanda de extração e beneficiamento de matéria prima de construção mecânica (como os metais e os polímeros, por exemplo), contribuindo de forma sinérgica, na preservação de recursos naturais.

6. CONCLUSÕES

Todos os objetivos deste trabalho foram atingidos ao se responder à pergunta problema: *“Baseando-se no Sistema Toyota de Produção, como a ferramenta de qualidade Poka-Yoke pode beneficiar processos artesanais de solda a ponto em microempresas metalúrgicas que exercem produção em série?”*.

Para isso apresentou-se neste trabalho o uso da ferramenta Poka-Yoke empregada em dispositivos de solda em funilarias de indústrias de grande porte, analisando-se, por meio de estudo de caso, a aplicação dessa tecnologia em microempresas metalúrgicas que empregam processos artesanais de produção mecânica em série, salientando como exemplo crítico as falhas geométricas causadas por imprecisas e inseguras técnicas manuais de alinhamentos de componentes.

Como resposta à pergunta problema, propôs-se um estudo de intervenção através de um protótipo simulador de dispositivo de solda industrial, munido de Poka-Yokes de controle e advertência, no qual uma etapa de encaixe de componentes de montagem anula as técnicas de alinhamentos artesanais. Em simulações operacionais submetidas ao protótipo através de um jogo, validou-se o melhor desempenho da aplicação do protótipo comparando-se com a produção executada em modo artesanal.

O protótipo atendeu aos resultados esperados, provando que a ferramenta Poka-Yoke pode beneficiar eficientemente os métodos artesanais de soldagem a ponto padronizando os métodos de montagem mecânica, reduzindo de forma inteligente e sustentável possíveis retrabalhos e refugos, maximizando a produtividade e a qualidade (principalmente em termos de metrologia) do produto, melhorando também as condições ocupacionais de operação, favorecendo assim aos pequenos negócios, a obtenção de certificados de qualidade e a ascensão (bem como recursos de sobrevivência) a mercados mais competitivos e rentáveis.

Pode se concluir que de fato as empresas, independentemente de seu porte, deverão investir recursos (humanos, tecnológicos e administrativos) para integrar harmonicamente as soluções fundamentais de concorrência como a metrologia a normalização e o controle de conformidade, valendo salientar que para implantar, certificar e manter os sistemas de gestão da qualidade, aprimorando continuamente os processos das organizações é necessário o interesse e dedicação de todas as partes envolvidas.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
— TEHA 2015 —
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Apesar do baixo custo de construção, a elaboração de dispositivos Poka-Yokes exige amplo conhecimento técnico em mecatrônica, proporcionando dessa forma rentáveis e sustentáveis oportunidades de negócios para os profissionais desta área no ramo de adequação de processos mecânicos de pequenas empresas metalúrgicas para certificações de qualidade.

8. REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino: Introduction**. [s.d.; s.l.]. Disponível em: <<http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em 07 de junho de 2015.

BARROS, Marcelo R. A. **Estudo da Automação de Células de Manufatura para Montagens e Soldagem Industrial de Carrocerias Automotivas**. São Paulo: 2006. Disponível em: <http://www.soldaaautomatica.com.br/index_arquivos/Arquivos/Estudo%20da%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20de%20C%C3%A9lulas-Marcelo%20Ramos.pdf>. Acesso em 05 de junho de 2015.

BATALHA, Gilmar F. **Processos de Fabricação: junção, soldagem e brasagem**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo: 2003. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pmr2202/arquivos/aulas/soldagem_brasagem.pdf>. Acesso em 04 de junho de 2015.

CORAZZA. **Dispositivo de Solda**. [s.l.] 2015. Disponível em: <<http://www.corazza.ind.br/produtos/11/1562>>. Acesso em 06 de junho de 2015.

FIORIO, Vivian; HENRIQUE, Fábio. **O Que é Poka-Yoke?** [s.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/o-que-e-poka-yoke>>. Acesso em 04 de junho de 2015.

GRUPO WERKEMA. **O Que é Lean Seis Sigma**. São Paulo: 2008. Disponível em: <<http://www.werkemaconsultores.com/inside.php?ident=6>>. Acesso em 05 de junho de 2015.

IMAM TREINAMENTOS. **Poka-Yoke: métodos a prova de falhas**. [s.d.; s.l.]. Disponível em: <<http://www.imam.com.br/cursos/treinamento/aberto/?c=poka-yoke-metodos-a-prova-de-falhas&i=467>>. Acesso em 26 de maio de 2015.

IMZ USINAGEM. **O que é Solda a Ponto**. [s.d.; s.l.]. Disponível em: <<http://www.mzusinagem.com.br/especificacoes/o-que-e-solda-ponto>>. Acesso em 05 de junho de 2015.

INFOSOLDA. **Soldagem por Resistência: tipos de soldagem por resistência**. 2013. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/185-soldagem-por-resistencia-tipos-de-soldagem-por-resistencia.html>>. Acesso em 04 de junho de 2015.

ZIEDAS, Selma; TATINI, Ivanisa, **Soldagem: coleção tecnologia**. SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, 1ª ed., São Paulo: 1997.

RIGONI, José Ricardo. **Poka-Yoke, que é isso?** [s.l.], 2011. Disponível em: <<http://www.totalqualidade.com.br/2011/05/poka-yoke-que-e-isso.htm>>. Acesso em 04 de maio de 2015.

SOUZA, André R. de. **Metrologia**. [s.d.]. Universidade Federal da Paraíba. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA0nsAC/metrologia>>. Acesso em 06 de junho de 2015.

SOUZA, Itamar A. **Prevenção de Falhas em Projetos Nascentes – Uma Aplicação do FMEA**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Juiz de Fora: 2006. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2005_3_Itamar.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2015.

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

TECH-WISE. **Máquinas e dispositivos industriais**. [s.l.], 2009. Disponível em: <http://www.techwisemaquinas.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=65:dispositivo-de-solda&catid=38:trabalhos-realizados&Itemid=65>. Acesso em 06 de junho de 2015.

WERKEMA, Cristina. **Seis Sigma: como evitar erros utilizando o Poka-Yoke**. Revista Banas Qualidade. São Paulo: ano XXIV, maio de 2015, p.14-17.