

DESENVOLVIMENTO DE UMA CELULA DE MANUFATURA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA PARA INDÚSTRIA DE AUTOPEÇAS

Antonio José Barbosa de Lima

UNITAU - Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, 12060-440, Taubaté - SP – Brasil
alima@bighost.com.br

João Sinohara da Silva Sousa

UNITAU e CEFETSP – Centro Federal Educação Tecnologia de S. Paulo, São Paulo – SP - Brasil
sinohara@unitau.br

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma célula de manufatura de soldagem robotizada que envolve sistemas flexíveis de manufatura (FMS) em uma indústria de autopeças. O trabalho foi desenvolvido no período de janeiro de 2004 a agosto de 2005 e concluído no segundo semestre de 2005. Na verdade, dadas às características de mercado tal como elevada concorrência, produtos definidos em parte pelos clientes, exigência crescente de qualidade e mais baixo custo, as empresas tendem a produzir por encomenda e não arriscam grandes estoques. Pelos motivos apresentados, a aplicação de células robotizadas é um tema que tem recebido uma grande importância na área de automação industrial e robótica. A célula implementada é constituída de robôs manipuladores, máquinas de solda a ponto por resistência, dispositivos de solda, automação com controladores lógicos programáveis (PLC), interface homem-máquina (HMI) e um sistema de supervisão. Os vários sensores e atuadores instalados comunicam-se com o PLC, robôs e computador de controle central usando tecnologia de rede local. Os aspectos de hardware e software da célula de manufatura (FMS) foram desenvolvidos para garantir o controle e rastreabilidade do processo de soldagem de subconjuntos de peças. Portanto, a exploração e cumprimento dos requisitos técnicos exigidos, devem garantir a produtividade e qualidade para que a empresa atenda um nível de operação satisfazendo o cliente a fim de atender suas expectativas de crescimento, demanda e diversidade de produtos.*

Palavras chaves: *FMS, robótica, automação industrial, processo de soldagem.*

1. INTRODUÇÃO

A utilização de células de manufatura de soldagem robotizadas em um ambiente industrial não é ao contrário do que muita gente pensa, um tema resolvido ou uma mera questão de integração, colocando muitos desafios interessantes que constituem uma vasta área de investigação e desenvolvimento (Black⁽¹⁾), na qual podem resultar processos de alta tecnologia. Esses desafios são motivados pela necessidade de se fazer mais por menos, interagir interfaces entre homens e máquinas, visto que ambos terão de coexistir e cooperar em um ambiente industrial.

Um outro desafio é o da agilidade. Isso significa ter vantagem de forma eficiente, da flexibilidade inerente aos equipamentos modernos de automação industrial (Romano⁽⁵⁾). Não é uma tarefa fácil quando se está projetando uma célula, pois exige que se explorem os vários equipamentos e soluções aparentemente disponíveis, distribuindo e coordenando tarefas para um melhor desempenho.

Neste artigo é apresentado o projeto que motivou o estudo de caso envolvendo áreas como, sistemas flexíveis de manufatura, engenharia de processo, projetos, automação de células robotizadas, soldagem e produção. O projeto consiste no desenvolvimento de uma célula de manufatura robotizada para soldagem de subconjuntos de peças automotivas.

Baseado em Black⁽¹⁾, um dos critérios ou exigências chaves de um projeto funcional para uma célula de manufatura é a flexibilidade. Assim, para ser flexível o sistema de manufatura deve ser capaz de ser atualizado facilmente, bem como lidar com mudanças no projeto do produto ou em projetos para novos produtos.

1.1 Sobrevivência da Indústria Automobilística

As montadoras de veículos estão constantemente buscando desenvolver projetos de novos carros com melhor relação custo benefício para todos que estejam envolvidos em sua cadeia de valor (Womack et al.⁽⁷⁾). Atualmente, isto representa buscar parcerias com as autopeças, na crença infundável de otimizar seus custos e benefícios para a fabricação de peças que equiparão seus novos lançamentos.

Por outro lado, as autopeças têm como objetivo definir suas disputas sobre o melhor projeto, processo, orçamentos para fabricação de peças, para que seus benefícios possam sustentar seus custos.

1.2 A Necessidade da Montadora de Automóveis

As montadoras possuem o conceito que necessitam para projetar e montar um carro. Porém, o quebra cabeça de peças para se chegar ao carro, depende de sua aprovação frente às disputas comerciais e de engenharia das autopeças, que desenvolverão os fluxos de processos e subseqüentemente, suas células de manufatura e montagem.

1.3 O Desafio da Indústria de Autopeça

Dentro do melhor fluxo do processo de fabricação, as diversas áreas de competência dentro de uma autopeça são acionadas para desenvolver, produzir, garantir e expedir suas peças fabricadas, como segue o exemplo (Figura 1).

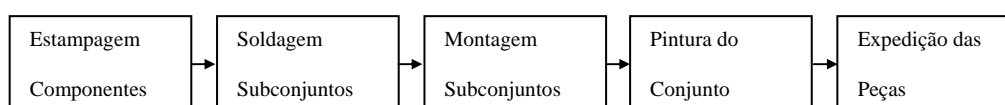


Figura 1. Fluxo do processo de manufatura.

1.4 A Soldagem dos Subconjuntos

A célula de manufatura projetada é para integrar 10 tipos de peças, onde seus subconjuntos devem ser soldados, montados e inspecionados formando um conjunto de peça. A célula projetada é robotizada e solda um subconjunto (conjunto central ou lâminas) e após, solda dois subconjuntos simultaneamente (conjunto de apoio ou *crash box* esquerdo e direito), como mostrado na (Figura 2).

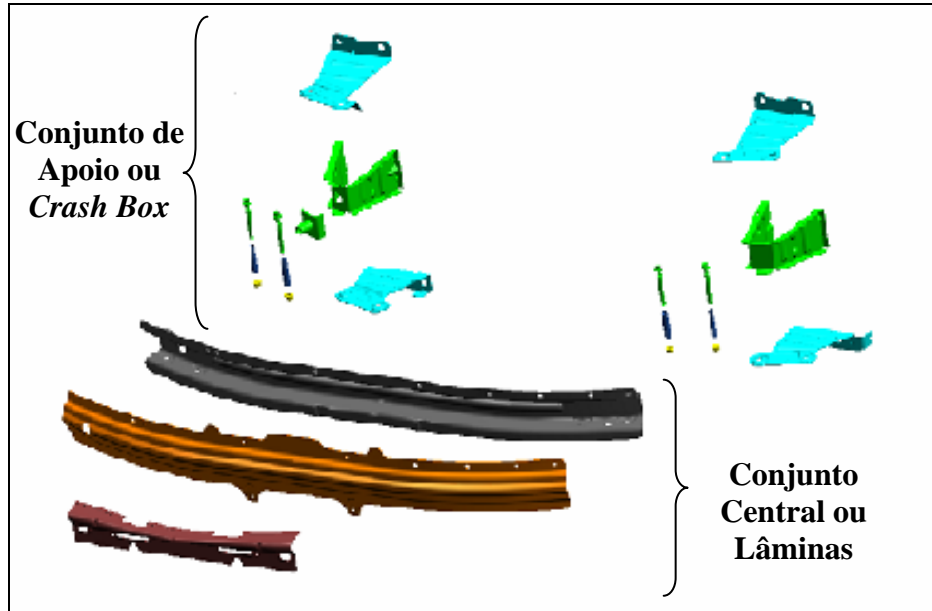


Figura 2. Subconjunto de peças a serem soldadas.

Os subconjuntos são montados em dispositivos automáticos onde um operador tem a função de inserir as peças de subconjuntos para serem processada em estágios e retiradas após a soldagem, colocando-as a espera nas guancheiras, para que continuem o fluxo do processo de manufatura.

1.5 Objetivo do Artigo

O presente artigo teve como objetivo principal apresentar o desenvolvimento de um projeto e processo de uma célula de manufatura de soldagem robotizada, que atenda a demanda de produção de 74.000 conjuntos de peças soldadas e montadas por ano, mostrado na (Figura 3), para atender a montadora de automóveis.

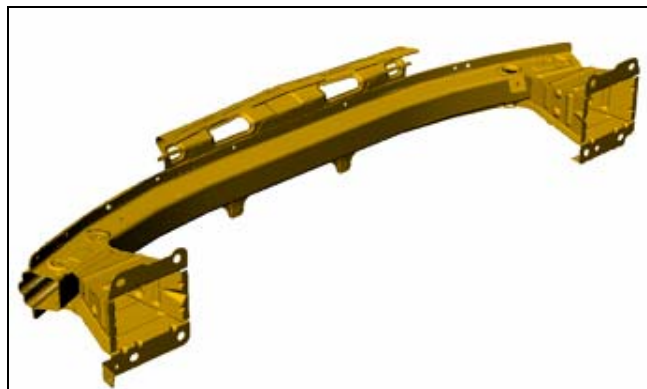


Figura 3. Conjuntos de peças soldadas e montadas.

2. O PROJETO DA CÉLULA DE MANUFATURA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA

Baseado em Lima (2006), a autopeça em estudo adotou seu próprio objetivo de sistemática para satisfazer as necessidades de projeto na identificação dos fatores para definir a qualidade do projeto e processo, melhor relação de fluxo, planejamento do layout e ciclo de operação. Com estes fatores, fornecedores foram desenvolvidos para o projeto, construção e montagem da célula.

O perfil dos fornecedores no processo de seleção teve pontos importantes a considerar, tais como, a demonstração de interesse ao projeto, capacidade de realizar trabalhos em diferentes sites fabris, domínio do processo e projeto do objetivo exposto, “*Know How*” tecnológico, suporte para solução de eventuais problemas, capacidade e velocidade no atendimento em todo o ciclo do projeto (Gasnier⁽²⁾) e assistência técnica.

Em relação ao processo para modelagem da célula, a engenharia buscou ter os seguintes fatores no seu projeto, como segue:

- Maior Simplicidade e Economia: menor número de equipamentos, baixo custo de manutenção, domínio tecnológico interno, célula compacta, equipamentos adequados às condições de operação, melhor fluxo de materiais e pouca necessidade de treinamento externo.
- Melhor Ergonomia: menor movimentação do operador durante os trabalhos na célula.
- Maior Velocidade (Produtividade): menor movimentação dos equipamentos (Robôs) e operador, baixo índice ou zero de tempo morto e melhor tempo de ciclo.
- Menor Periculosidade (Operador): baixo ou zero risco de acidentes, sistema de segurança e proteção do operador e restrição ao acesso à célula.
- Maior Segurança (Qualidade): sistema de automação para garantir controle, rastreabilidade e “POKA YOKE” (Black⁽⁴⁾) para prova de erros.

Estes fatores foram aprovados, para atender as necessidades da autopeça e as exigências da montadora (Cliente).

2.1 Nível de Qualidade de Solda KPC (Característica Chave do Produto)

A garantia do projeto da célula dá-se pela sua eficiência no processo de soldagem, o qual é classificada pelo sistema QCOS (Controle de Qualidade do Sistema Operacional). O QCOS classifica os seguintes pontos para garantir a operação da célula, conforme (Tabela 1).

Tabela 1. Pontuação e Classificação para Operação de Soldagem

Pontos de Controle	Equipamento de Solda	Prova de Erros	Controle de Processo	Inspecção	Auditoria de Processo
3	Equipamento / Máquina com controle automático de no mínimo 4 parâmetros de processo de solda	Linha ou processo pára no caso de ocorrer qualquer desvio em 4 parâmetros de processo de solda	Teste não destrutivo de acordo com plano de controle Ok/ñOk + verificação mensal de no mínimo 2 processos de solda adicionais	Inspecção visual contínua, com registro do defeito, conforme plano de controle + teste destrutivo conforme o plano de controle.	Mínimo 1 por turno
2	Equipamento / Máquina com controle automático de no mínimo 2 parâmetros de processo de solda	Linha ou processo pára no caso de ocorrer qualquer desvio em 2 parâmetros de processo de solda ou soar um alarme caso haja desvio de 3 parâmetros de processo de solda	Teste não destrutivo de acordo com plano de controle Ok/ñOk ± verificação mensal de no mínimo 1 processo de solda adicional	Inspecção visual contínua, com registro do defeito, conforme plano de controle ou aplicação de tinta na peça com registro da falha, conforme plano de controle + teste destrutivo conforme o plano de controle.	Mínimo, 2 vezes por semana para todos os turnos.
1	Equipamento / Máquina de solda com controle automático de no mínimo 1 parâmetro de processo de solda Ponto adicional: TPM – lista dos parâmetros – documentação das ferramentas de soldagem	Linha ou processo pára no caso de ocorrer qualquer desvio em 1 parâmetro de processo de solda Ponto adicional: Mínimo – sinal visual no caso de peças em posição errada	Teste não destrutivo de acordo com plano de controle Ok/ñOk Ponto adicional: O processo é confirmado 2 vezes por mês para cada turno de produção ou através da auditoria documentada da célula	Aplicação de tinta na peça com registro da falha, conforme plano de controle.	Mínimo, 2 vezes por semana para todos os turnos.

Fonte: Quality Control Operation System for GME Plants

Com base nesta tabela, as seguintes classificações e pontuações foram consideradas para que a célula atendesse os requisitos da montadora que exige no mínimo pontuação 9 e ao mesmo tempo definisse para o fornecedor as características chave do produto e principalmente do projeto da célula, conforme seguiu na avaliação:

1 – Pontuação para Equipamentos de Solda: Avaliada em 3, porque se busca controle automático de 4 parâmetros (Corrente, Pressão, Posição e Quantidade).

2 - Pontuação para Prova de Erros: Avaliada em 3, porque se busca a parada do processo no caso de ocorrer variação em qualquer um dos quatro parâmetros citados no item 1 e haverá o descarte manual da peça em uma caixa vermelha com sensor que será responsável por liberar o processo automaticamente.

3 – Pontuação para Controle de Processo: Avaliada em 1, porque se busca a confirmação de no mínimo 1 parâmetro de processo (ex: Corrente), através de registro documentado na estação de trabalho, a cada turno de produção.

4 – Pontuação para inspeção: Avaliada em 2, porque se busca contemplar no plano de controle, um teste destrutivo com o ensaio de arrancamento por tração.

5 - Pontuação para Auditoria de Processo: Avaliada em 1, porque se busca realizar auditoria no mínimo duas vezes por semana para todos os turnos, no início do processo.

Assim, com a somatória dos pontos, a classificação e pontuação para o QCOS soma 10 pontos, atendendo os requisitos da montadora e para o projeto do fornecedor da célula.

2.2 Fluxograma de Operação

Com os fatores mencionados no item 2, perfil e modelagem do que é necessário para atender o processo, o caminho de operação do projeto aparece na modelagem do melhor fluxo de operação de uma célula hipotética. O fluxo realimentará a concepção da célula, seu tempo de ciclo e por fim a escolha do fornecedor que atenda os requisitos. A (Figura 4) mostra o fluxograma básico da operação robotizada da célula implantada.

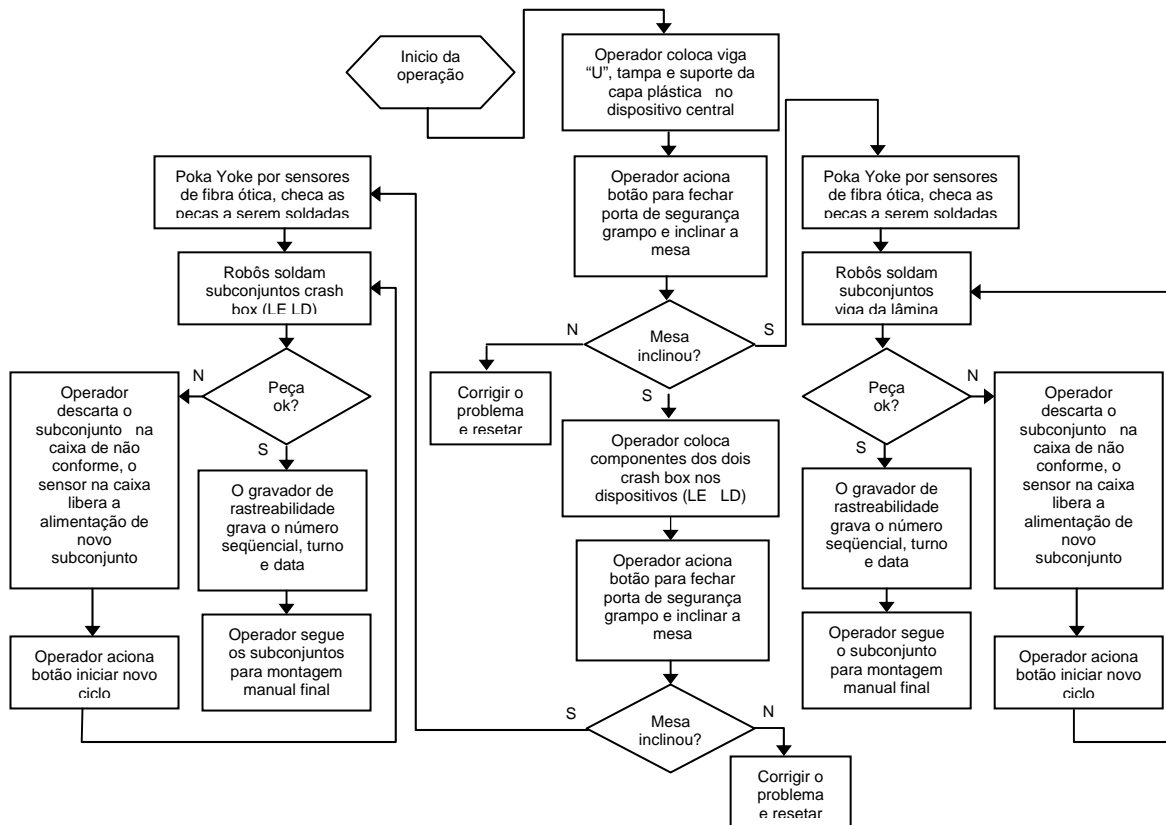


Figura 4. Fluxograma básico de operação.

2.3 Lay out da Célula

Vários modelos de fluxo de operação foram encontrados, porém o fluxograma da Figura (4) gerou o planejamento sistemático do projeto (Muther⁽⁴⁾) que envolveu três relações básicas: 1) As relações entre as diversas funções ou atividades, 2) O espaço em uma determinada quantidade e o tipo para cada atividade, seja ela manual ou robotizada e 3) O ajuste deste, dentro do planejamento do projeto do lay out para executar o processo de operação da soldagem dos subconjuntos, que segue na (Figura 5).

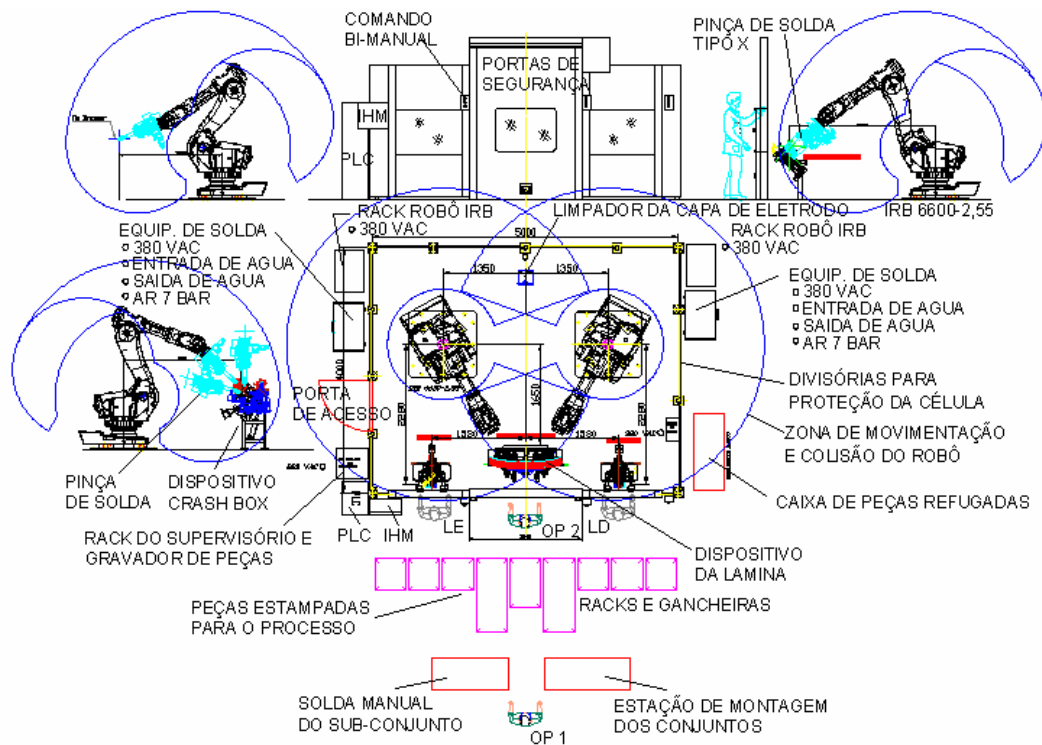


Figura 5. Projeto do layout da célula robotizada.

2.4 Ciclo de Operação da Célula

O projeto da célula conforme Figura (5), mostra as nuances de posicionamento e movimento dos robôs, pinças de soldagem e operador. Neste ponto uma descrição básica operacional deste projeto se faz necessário para integrarmos a conceituação dos componentes de robótica, automação industrial e soldagem.

O ciclo completo para a soldagem dos subconjuntos de peças até a montagem do conjunto se desenvolve da seguinte forma:

- Solda Manual:

- 1) O operador 1 retira os componentes da embalagem, posicionando-os na mesa de solda manual Mag (processo de solda);
- 2) O operador 1 solda pelo processo Mag alguns pontos dos subconjuntos;
- 3) O operador 1 transporta os subconjuntos das lâminas montados, para a mesa de carregamento na estação de solda automática.

- Solda Automática:

- 1) O operador 2 alimenta o dispositivo com o subconjunto da lâmina + 2 peças;
- 2) O operador 2 pulsiona o bimanual, a porta se fecha e os 2 robôs iniciam o processo de solda a ponto;
- 3) Caso haja falha de solda, a “HMI” (Interface Homem Máquina) informa a falha de solda. O operador pulsiona o bimanual, a porta se abre e o mesmo retira o “scrap”, que será

- colocado em uma caixa com tampa móvel. Após descarte do produto, o sistema libera um novo ciclo;
- 4) O processo de solda finalizado com sucesso, os robôs se deslocam para a “home position”, inicia-se a gravação do número da peça para a rastreabilidade e a porta se abre para retirada do produto;
 - 5) Enquanto o processo de soldagem das lâminas está em curso, o operador alimenta as estações do “crash box” direito e esquerdo;
 - 6) O operador 2 pulsiona o bimanual, as portas se fecham e os 2 robôs iniciam o processo de solda a ponto no “crash box”. O robô direito processa o lado direito e robô esquerdo processa o lado esquerdo;
 - 7) Caso haja a falha de solda, a “HMI” informa a falha de solda. O operador 2 pulsiona o bimanual, a porta se abre e o mesmo retira o “scrap”, que será colocado em uma caixa com tampa móvel única para os 2 lados. Após o descarte do produto, o sistema libera um novo ciclo;
 - 8) Os processos depois de finalizados com sucesso, os robôs se deslocam para a “home position”, inicia-se a gravação do número da peça para a rastreabilidade e a porta se abre para a retirada do produto.
- Montagem e Controle:
- 1) O operador 1 retira os subconjuntos dos dispositivos e realiza os processos de aparafusamento do conjunto, utilizando o dispositivo de montagem;
 - 2) O operador 1 retira do dispositivo de montagem e coloca no dispositivo de controle o conjunto completo;
 - 3) Após o controle de aprovação, o processo é terminado.

3. SOLUÇÃO IMPLANTADA DO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO

O conceito de modelagem e criação da célula de soldagem robotizada se materializa na sua máxima eficiência de trabalho, quando se alinha produtos e equipamentos capazes de fornecer através de suas tecnologias desenvolvidas, garantias de disponibilidades, confiabilidade, precisão e segurança em seus processos de automação nas áreas de competência como elétrica, eletrônica, mecânica, informática e robótica, que impulsiona a criação na busca do estado da arte mecatrônica (Rosário⁽⁶⁾). A (Figura 6) mostra o nível de automação industrial a que levou este projeto com características técnicas que representam as modernas células robotizadas de soldagem que estão em constantes desenvolvimentos para atender as exigências do mercado automobilístico.

Um breve escopo do hardware e software descreve basicamente as Figuras (5) e (6). Sendo assim, a célula foi concebida basicamente por dois robôs ABB Industrial IRB 6600 M2000 de 6 eixos, alcance máximo de 2550 mm e capacidade de carga de 175 Kg. Incorporado aos robôs, temos os painéis de operação e comando com cabos de interligação com 7 metros de comprimento, suportados por interfaces de programação “Teach Pendant” e software “Robot Ware”. Instalado em seus eixos, os robôs suportam duas pinças de solda a ponto por resistência do tipo “X” que são comandadas por duas estações de solda “Weld 332”. Foi desenvolvido três dispositivos para fixação de peças com grampos pneumáticos e sensores indutivos e fotoelétricos por fibra ótica para presença de peças. Estes componentes são suportados por placas de I/O remotas interligadas pela rede de comunicação Interbus, que também interligam as portas de segurança, sistema de sinalização, aos robôs e a placa controladora IBS S7-300 da Phoenix Contact.

O controlador lógico programável PLC S7-300 é suportado pelo software de programação “Step 7” da Siemens, e por sua rede com interface Multipoint (MPI) que é interligado a estação de operação OP270 e ao PC Industrial para aquisição de dados do processo.

Outro nível de comunicação estabelecido para tráfego de dados, é a rede Industrial Ethernet, que conecta através de portas de chaveamento os robôs, as interfaces e módulos das unidades de gravação e o PC Industrial (Supervisório de rastreabilidade do processo).

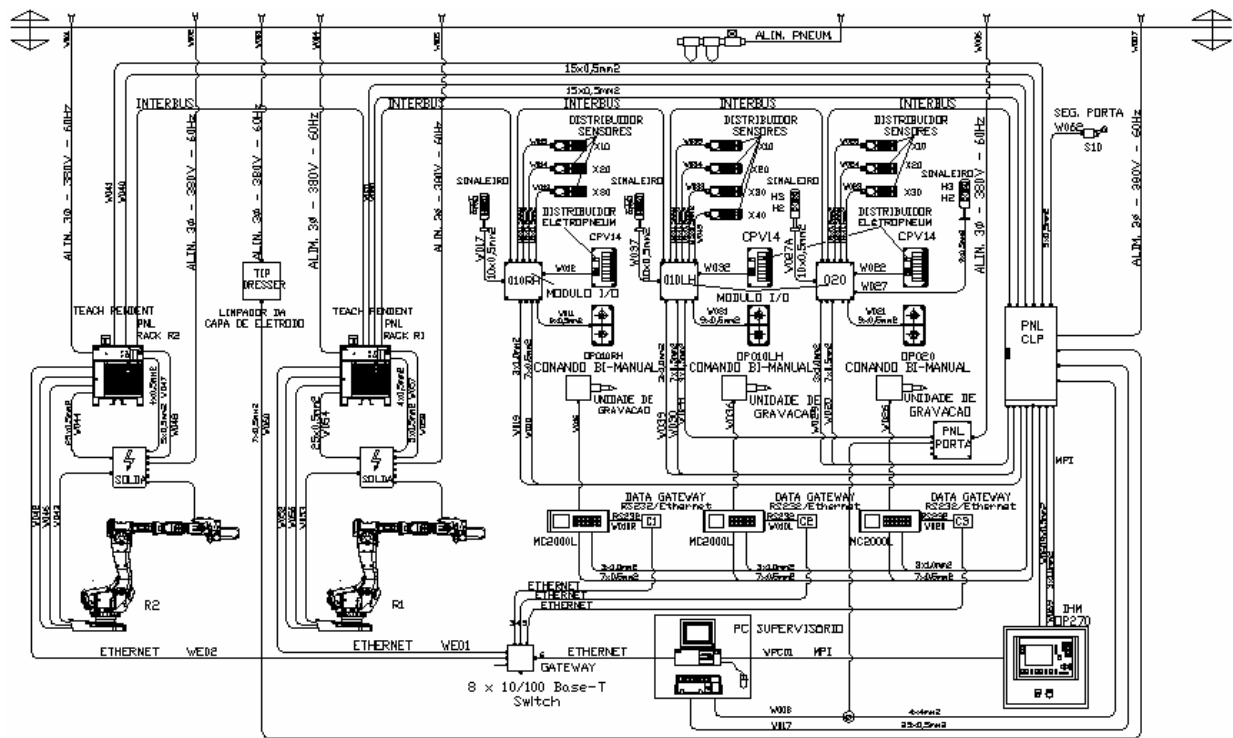


Figura 6. Diagrama da automação industrial e robótica da célula.

4. SOLUÇÃO IMPLANTADA DO PROCESSO DE SOLDAGEM

É importante destacar que dentro da automação embarcada nesta célula, o processo de solda a ponto por resistência nos mostra uma tecnologia para a análise de corrente. Em resumo, a solda a ponto por resistência é a aplicação da energia fornecida pelo calor e pressão para produzir a solda. Os termos “soldagem por resistência” provem do fato que a propriedade elétrica de resistência ao fluxo de corrente no material sendo soldado, causa aquecimento gerado quando a corrente passa por ele. Esta é a origem da energia de calor em uma soldagem por resistência (Rosário⁽⁶⁾). Sendo assim, o sistema do controle de qualidade dos pontos de solda será via painel de solda, o qual emitirá um bit de falha ao painel do robô, que poderá ou não, efetuar a resoldagem do ponto. Caso o erro persista, o sinal de falha será enviado ao PLC (Controlador Lógico Programável) e por consequência, para o PC industrial (Supervisorio), que armazenará a coordenada do ponto com defeito.

Este controle só foi possível ser realizado com o desenvolvimento de um circuito eletrônico para trabalhar junto ao comando de solda, o qual através do processo de soldagem se coleta e realimenta o sistema para que o mesmo compense automaticamente os distúrbios encontrados no processo pela variação de corrente e tempo de solda. Em resumo, o leitor de corrente é ativado durante o processo de solda, sendo assim, os parâmetros (corrente e tempos) são monitorados e analisados dinamicamente do início ao fim do tempo de solda de cada ponto (exemplo: ponto de solda 1, conforme (Figura 7)) e em caso de desvios dos parâmetros provocados por uma grande variação de resistência de contato (diferença de potencial), uma resoldagem é aplicada neste mesmo ponto (exemplo: ponto de solda 2, conforme Figura (7)) e caso a variação de resistência persista o processo de soldagem é interrompido e a peça é descartada.

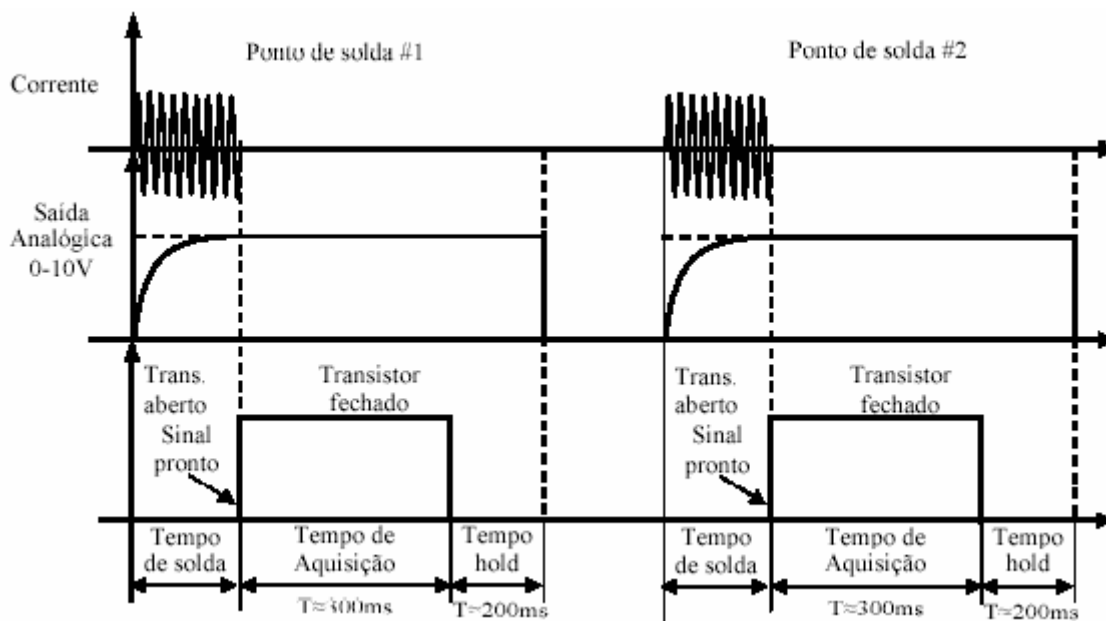


Figura 7. Curva de tempo do ponto de solda para análise de correção.

5. RESULTADOS

Especificamente, esta célula para atender o objetivo exposto, foi concebida conforme apresentado no ciclo de operação e então modelada em planilha de estudo de ciclo e capacidade produtiva (Harrel et al.⁽³⁾). O melhor resultado do modelamento mostrou que o projeto e o processo da célula robotizada, é para executar o trabalho em 2,5 turnos, num total de 19,5 horas diárias com uma eficiência de produção de 85%. Com um Fator de Ocupação de 98% a célula atende o programa de produção de 74.000 conjuntos soldados por ano e com estes resultados os objetivos expostos foram atingidos e mostrados conforme (Tabela 2).

Tabela 2. Objetivos e resultados alcançados

Produto / Programa de Produção	Ciclo de Trabalho (seg.).	Produção Horário p/ 85%	Fator de Ocupação
Lâmina / 74.000/ano	104,6	16 pç's	98%
Suportes / 74.000/ano	85,6	16 pç's	98%

6. CONCLUSÃO

A célula de manufatura de soldagem robotizada da Figura (5) para atender a fabricação de peças das Figuras (2) e (3) na indústria de autopeças, foi implantada com sucesso e todos os requisitos de projeto e processo foram atendidos.

7. REFERÊNCIAS

Livros

1. Black, J. T.. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Bookman, Porto Alegre, 1998.
2. Gasnier, D. G.. **Guia Prático para Gerenciamento de Projetos**. 3 ed. IMAM, São Paulo, 2003.
3. Harrel, C. R., Mott, J. R. A., Bateman, R. E., Bowden, R. G., Gogg, T. J.. **System Improvement Using Simulation**. 5 ed. Promodel Corporation, 2002.
4. Muther, R., Wheeler, J. D.. **Planejamento Sistemático e Simplificado de Layout**. 1 ed. IMAM, São Paulo, 2000.
5. Romano, V. F.. **Robótica Industrial – Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo**. 1 ed. Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2002.
6. Rosário, J. M.. **Princípios de Mecatrônica**. 1 ed. Prentice Hall, São Paulo, 2005.
7. Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D.. **A Máquina Que Mudou o Mundo**. Campus, Rio de Janeiro, 2004.

Dissertação

Lima, A. J. B.. **Projeto de uma Célula de Manufatura de Soldagem Robotizada para Indústria de Autopeças**. 2006. 63f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté, 2006.

Procedimento Técnico

GM Europe. **Quality Control Operation System for GME Plants**. Procedure D-11 Quality & Reliability, 2003, 23 p.

MANUFACTURING CELL DEVELOPMENT OF ROBOTIZED WELDING FOR AUTOMOTIVE INDUSTRY

Antonio José Barbosa de Lima

UNITAU - Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, 12060-440, Taubaté - SP – Brasil
alima@bighost.com.br

João Sinohara da Silva Sousa

UNITAU e CEFETSP – Centro Federal Educação Tecnologia de S. Paulo, São Paulo – SP - Brasil
sinohara@unitau.br

***Abstract.** This paper presents the manufacturing cell development of robotized welding that involves flexible manufacturing systems (FMS) in an automotive industry. This project was developed in the period of January from 2004 to August of 2005 and ended in the second semester of 2005. Actually, given market features such as high competition, partly customer defined products, a growing demand on quality associated to an ever lowering cost have led companies toward assigned order manufacturing rather than risking on large size stocks. Due to these presented reasons, the robotics work cells application is a subject that has been receiving a great importance in the industrial automation and robotics area. The cell that will be implemented is composed of robots manipulators, resistance spot welding machines, welding devices, automation with programmable logical controllers (PLC), human machine interface (HMI) and a supervision system. The various sensors and actuators installed can communicate with PLC, robots and central control computer using local network technology. The hardware and software aspects of manufacturing cell (FMS) were developed to guarantee the control and traceability of the operation process and welding of subset parts. Therefore, the exploration of the presented technical requirements, it should guarantee the productivity and quality for the company to assist an operation level satisfying the customer in order to assist their growth expectations of the market demand.*

Keywords. FMS, robotics, industrial automation, welding process.