

*Marcos Antonio Tremonti (1\*)*

## **Resumo**

Hoje, no Brasil, a robotização apresenta-se como uma técnica alternativa, capaz de revigorar a competência produtiva e qualitativa de nossas empresas industriais de soldagem a arco elétrico com proteção gasosa. Sendo assim, é importante que se revejam as técnicas e recursos destinados à implantação da automação.

Daí a pertinência deste trabalho, que visa a análise dos possíveis impactos da implantação da robótica no processo de soldagem a arco elétrico, na medida em que poderá trazer uma contribuição efetiva, ao prevenir as empresas industriais quanto às implicações, aos riscos e cuidados indispensáveis, envolvidos na técnica em discussão.

O grande impulso no Brasil, rumo à automação e robotização, vem de pequenas e médias empresas industriais, que começaram a investir, nesse sentido, com o objetivo de se tornarem mais competitivas: capacitando-se melhor para atender aumento de demanda e, ao mesmo tempo, aperfeiçoando a qualidade de seus produtos.

Provavelmente, o interesse dessas indústrias pela automação tenha sido estimulado ainda mais pela queda acentuada nos custos necessários à implantação da robótica aplicada à soldagem a arco, ocorrida nos últimos dez anos.

Cabe discutir, no entanto, como essas empresas industriais devem se preparar para a mudança, e quais as dificuldades que encontrarão ao incorporarem a nova tecnologia.

É importante que se pense sobre a necessidade de haver ou não um “modelo” regulador, que dê uma diretriz para as empresas que não possuem, em seu histórico, experiência em automação.

Deve-se levar em conta, sobretudo, que, quando a aplicação da robótica no processo de soldagem segue procedimentos inadequados, as conseqüências refletem-se em resultados muito pouco animadores: utilização de tempo excessivo para a implementação da técnica, perda de insumos, e qualidade incompatível com os padrões esperados.

Um estudo de caso com sucesso é apresentado neste trabalho, para ratificar as etapas de implantação da robotização da soldagem a arco elétrico com proteção gasosa, e os resultados satisfatórios obtidos com esta tecnologia. Assim, servindo de elemento orientador a demais empresas.

## **Introdução**

O contexto empresarial da atualidade <sup>3</sup>/<sub>4</sub> caracterizado pelo surgimento incessante de novos modelos organizacionais em associação à dinâmica introduzida pela microinformática <sup>3</sup>/<sub>4</sub> impõe às empresas uma predisposição à renovação de seus sistemas tradicionais de organização industrial, tendo em vista sobretudo o atendimento às necessidades do mercado consumidor.

Sem tal predisposição, corre-se o risco de perda de poder competitivo no mercado em que se atua.

Alguns estudiosos vêem na capacidade de inovar um dos fatores essenciais para o desenvolvimento do capitalismo, sistema no qual a economia progride por meio de “ciclos de inovação”, avançando de forma acelerada à medida que uma novidade técnica vai se disseminando.

Quando a novidade se esgota, o ciclo tem seu fim, o que provoca na economia, ou em alguns de seus setores, um estado de estagnação, que dura até o início de um novo ciclo.

Paul Romer é um autor que acredita na relação direta entre o crescimento econômico e a inovação. Nesse sentido, afirma que quanto mais recursos financeiros e empenho forem aplicados no aperfeiçoamento técnico da produção, mais rapidamente crescerão os índices de produtividade e, conseqüentemente, a economia se desenvolverá com maior vigor.

Assim, as mudanças provenientes da globalização, ao exigirem novas formas de organização e estabelecerem regras de competitividade bem diversas das tradicionais, levam-nos a refletir sobre o modo como as empresas no Brasil vêm se colocando diante da nova realidade.

Se avaliam sua real capacidade de aprendizagem e de adequação organizacional, mediante os desafios implicados na incorporação de novas tecnologias, e se têm procurado promover uma integração entre os processos de decisão e produtivo, de modo a tomarem inteligente e racional toda informação da qual dispuserem.

Este trabalho particulariza a questão, procurando chamar a atenção para as possíveis conseqüências da implantação da robótica no processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa. Processo, que, por sua natureza e característica, requer um controle muito rígido das variáveis que nele interferem, exigindo das indústrias que o utilizarem controle e preparo bem maiores do que os demandados por outros processos de soldagem.

A inexistência de estratégias bem elaboradas, direcionadas ao enfrentamento das dificuldades inerentes à utilização de novas ferramentas, pode levar à frustração das expectativas. De acordo com Martucci (1991), “A aplicação da automação exige na maioria dos casos a adequação dos procedimentos operacionais da empresa à nova realidade a ser implantada”.

Nesse sentido, temos em vista, por um lado, sistematizar o conhecimento sobre a soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, e, por outro, dar visibilidade às estratégias utilizadas por algumas organizações que estão buscando superar, com êxito, os desafios advindos da incorporação de mudanças tecnológicas. Mais especificamente trataremos das inovações implicadas na automação.

O emprego da robótica tem o poder de incrementar a produtividade e melhorar a qualidade de uma indústria, desde que se façam ajustes, a fim de que o investimento alcance de fato o resultado esperado. As adequações relacionam-se, inicialmente, aos objetivos da empresa frente à decisão de robotizar suas operações.

### **Materiais e métodos**

A palavra robô origina-se do tcheco robota e significa “trabalho forçado”. A expressão foi utilizada, pela primeira vez, pelo escritor tcheco Karel Čapek, em uma novela intitulada Opilec. Três anos mais tarde, em 1920, seu uso se difundiu graças à peça Rossum’s Universal Robots, do mesmo autor.

Em 1939, o escritor de ficção científica Isaac Asimov começou a escrever uma série de contos sobre robôs, nos quais introduziu o termo “robótica”. Asimov descreve os robôs como máquinas de aparência humanóide, que raramente falham e auxiliam a humanidade no desempenho de suas tarefas. Graças às histórias desse autor, os robôs se tornaram parte do imaginário popular, como personagens de ficção científica.

No entanto, só em 1958, nos EUA, o primeiro robô do mundo real seria construído. Apenas quatro anos mais tarde, em 1962, os modelos da Unimate (Universal Automation) e da Versatran (Versatile Transfer) já estavam sendo comercializados.

No Japão, a robótica teve início em 1967, com a importação de robôs americanos e o licenciamento da Kawasaki Heavy Industries, obtido junto à então líder americana Unimation, para fabricação de robôs em território japonês.

A pressão da crise do petróleo de 1973 acarretou uma corrida desesperada das indústrias à redução de custos. Foi então que a aplicação de robôs apareceu como uma solução perfeita para a racionalização da produção.

A partir de então, o uso da robótica tem apresentado um crescimento constante, interrompido apenas pela profunda crise econômica que o mundo tem vivido desde os primeiros anos da década de 80.

Para que se pense a robótica como uma ferramenta a serviço do processo de soldagem, é preciso, antes, que se visualize o conjunto de operações envolvidas no processo: das funções que exigem completa interferência do operador até aquelas que se resumem a uma simples monitoração à distância.

Tanto na soldagem manual como na semi-automática, o soldador interfere plenamente, e seu julgamento será o responsável pela mudança ou correção da soldagem durante a execução. Nesses tipos de soldagem, o soldador pode deslocar-se ao longo da peça, ou, em alguns casos, pode ainda fixá-la em dispositivos posicionadores. Realizada a soldagem, ele retira a peça e o ciclo se reinicia.

Tendo-se em vista a redução dos riscos na introdução da robotização industrial, pode-se optar por uma solução intermediária (automação de baixo custo).

Nesse caso, a introdução de robôs na fábrica ocorreria gradativamente, de maneira tal, que dependeria de cada empresa a velocidade da mudança, até chegar na plena automação, ou seja, na robotização completa do processo de soldagem.

Fatores de grande importância, que devem ser considerados com muito cuidado, nesse momento de definições, são: a escolha do produto a ser fabricado, bem como a avaliação correta dos recursos financeiros a serem empregados. Além disso, é fundamental que se estudem maneiras de otimização dos processos de fabricação e preparação das peças que compõem o produto (corte, prensagem, dobramento).

Estarão em foco, na implantação da nova tecnologia, muitos outros aspectos, que dizem respeito a uma nova forma de organizar, planejar e monitorar a produção, já que os sistemas de controle produtivo, tradicionalmente utilizados na soldagem manual, são insuficientes para a soldagem robotizada.

### **Critérios utilizados na escolha do robô**

A soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa apresenta especificidades frente a outras operações - como paletização, deslocamento de peças etc. -, relacionadas a variáveis que interferem diretamente na qualidade da solda, e que devem ser definidas previamente, no momento em que os procedimentos são estabelecidos.

Dessa forma, a soldagem a arco elétrico impõe algumas restrições ou constrangimentos à robotização.

A utilização de robôs industriais na soldagem teve início na década de 60, na indústria automobilística, dirigindo-se inicialmente à soldagem por resistência.

Por sua vez, o uso da soldagem a arco elétrico foi incrementado a partir da evolução das máquinas de solda, quando estas foram dotadas de microprocessadores, que passaram a propiciar respostas rápidas às condições de soldagem (corrente e tensão), permitir a manutenção da estabilidade de arco, além de atuarem em outros aspectos importantes, como no controle das falhas de arco e no contato da tocha na peça.

Levando-se em conta as especificações disponíveis no mercado, alguns conceitos básicos devem orientar a escolha do robô de soldagem mais adequado para as aplicações na indústria metal-mecânica. Como lembram Santos & Quintino (1992), optar por um tipo de equipamento não é uma tarefa fácil para o engenheiro ou técnico que atuará com o robô.

As características do processo de soldagem ou aplicação a que se destina o equipamento: são estes os parâmetros fundamentais, os fatores que de fato devem ser considerados no momento da escolha do robô de soldagem mais adequado, como se pode depreender da figura abaixo.



Figura 1: Principais parâmetros orientativos para escolha do robô de soldagem

### **Avaliação da soldagem robotizada Requisitos técnicos e organizacionais**

A proposta e avaliação técnica, para a escolha do equipamento apropriado, não deve observar apenas as características do robô - abordadas anteriormente -, mas precisa levar em conta todas as melhorias que o sistema pode oferecer e o avanço que ele pode representar para a produção.

É aconselhável, que sejam considerados, também, os seguintes aspectos:

#### **Flexibilidade do Sistema:**

- Redução do número de dispositivos para as peças sem a interferência de outro elemento que não esteja integrado a este.
- Aumento do número de famílias a serem soldadas no dispositivo.
- Possibilidade, por meio da unidade de controle do robô, de programar livremente a seqüência de produção e a estratégia de controle das operações do sistema.

#### **Produção:**

- Quantidades de peças produzidas, Ciclo de trabalho para cada peça, Tempo de movimentação entre estações de trabalho, Número de turnos, Soldagem de diferentes tipos de peças em qualquer seqüência, Previsão de parada para manutenção.

#### **Qualidade:**

- Plano de inspeção em conformidade com as exigências, Inspeção visual, Resistência. Redução do volume de respingos de metal oriundos do arco elétrico, Garantia de compatibilidade entre fontes de solda e robô.

**Treinamento:**

- Programação por Pontos e de Lógica - treinamento oferecido a técnicos e engenheiros, Programação por Pontos e de soldagem - treinamento oferecido a soldadores, Manutenção, Instalação. Segurança - treinamento oferecido a todos.

**Dispositivos:**

- Quantidade de dispositivos para atingir níveis de produção projetados, Participação do fornecedor do robô no projeto dos dispositivos, Nível de complexidade.

**Área Ocupada:**

- Redução da área atual para a nova área a ser ocupada,

**Try-out:**

- Sempre que possível, aconselha-se propor ao fornecedor do robô uma demonstração prática da soldagem, que confirme a possibilidade real de se introduzir a robótica, permitindo uma análise técnica mais próxima da realidade.

**Redução de insumos de solda para a produção:**

- Arame de solda, Gás de proteção. Mudança de procedimento quanto à soldagem: tipo ou diâmetro de arame de solda, tipo de gás de proteção e vazão, velocidade e posição de soldagem.

**Preparação de peças:**

- Garantia de peças em conformidade com as exigências dos desenhos, Sistemas x Sistemas:
- Comparar o sistema em uso (manual / semi- automático) com o robotizado.

**Custos:**

- Dispositivos e equipamentos de soldagem, Arame de solda, Gás de proteção, Mão-de-obra direta, Despesas anuais de manutenção, Energia elétrica.

#### **Reposição de peças e manutenção do robô:**

- fornecedor deve orientar o cliente em relação ao plano de manutenção e as principais peças que se deve manter em estoque, bem como oferecer garantia de assistência técnica e atendimento quanto a peças que não possua em estoque.

#### **Benefícios Indiretos:**

- Programação de novos turnos, de acordo com a conveniência, Qualidade assegurada, eliminando-se inspeções intermediárias, horas extras podem ser dispensadas, Marketing.

#### **Como o Japão escolhe e implanta a automação**

Para a automação de um determinado processo, as empresas japonesas se organizam por meio de formação de grupos de trabalho, coordenados pela Engenharia da Produção e envolvendo técnicos das seguintes áreas: Pesquisa e Desenvolvimento; Engenharia de Produto; Engenharia de Processo (Manufatura); Engenharia de Produção; Equipamentos e Ferramentas.

Os trabalhos relativos à implantação da automação no processo produtivo duram, em média, um ano.

Os grupos se reúnem também a posteriori para a elaboração de um follow-up e avaliação crítica do sistema implantado.

Assim, ao final do processo de introdução da nova tecnologia, não só há o aumento da capacitação tecnológica da empresa, como também o desenvolvimento da capacitação pessoal e coletiva dos técnicos, na base de informações disponíveis da empresa (learning by doing).

Após o sucesso da implantação, a empresa japonesa não se acomoda com os resultados já alcançados.

Outros objetivos passam a ser perseguidos, quais sejam: aperfeiçoamento do produto inicialmente considerado; desenvolvimento de outros produtos; desenvolvimento de novos processos e aplicações.

Esta estratégia permite que as empresas equacionem adequadamente o problema do deslocamento da mão-de-obra afetada pela introdução da automação no sistema de produção.



Os trabalhadores que perderam suas funções serão transferidos para atuarem em atividades geradas pelo próprio processo de automatização: fabricação de máquinas e ferramentas, engenharia e mesmo na área de planejamento e desenvolvimento.

### **Parâmetros Envolvidos na Opção de Mudança: da Soldagem Manual para a Robotizada**

No momento em que se decide pela mudança do processo de soldagem manual ou semi-automático pelo robotizado, é preciso ter em mãos alguns parâmetros objetivos e gerais, como os que seguem:

- Produtividade, Exequibilidade, Qualidade, Economia de matéria-prima e Set-up.  
Verificada a viabilidade da aplicação da robótica, deve-se avaliar o sistema robotizado como um todo, para que a decisão se baseie nas reais necessidades da empresa, que deverão ser, entre outras:

- Controle de qualidade mais consistente
- Aumento da produção
- Célula flexível
- Suprimento da escassez de trabalho especializado
- Eliminação de áreas insalubres ou perigosas
- Economia de mão-de-obra

O aspecto qualidade, como parâmetro objetivo, relaciona-se aos níveis de exigência cada vez maiores impostos pelo mercado da atualidade: os produtos devem ser cada vez mais bem feitos e, em geral, vendidos a preços cada vez menores. A redução de desperdício que a robotização proporciona, pode representar reduções significativas em seus índices, que podem passar de 10 para 1%.

É preciso ter em mente que a soldagem consiste em etapa crítica da confecção de um equipamento soldado e que a robotização dessa fase da produção pode aumentar significativamente a qualidade do produto, de modo a que tanto os custos sejam reduzidos - por meio de um controle adequado das variáveis do processo -, como a possibilidade de erro humano.

O volume de produção e a quantidade de modificações que o produto sofrerá ao longo de seu período de vida são fatores que também podem influenciar a opção por robotizar a soldagem.

Deve-se questionar a viabilidade de robotizar, tendo em vista:

- 1-Quantos soldadores trabalham ou se pretende que trabalhem na soldagem dos produtos a serem produzidos;
- 2-Quantos turnos de trabalho são utilizados ou se pretende utilizar;
- 3-Qual a qualidade e dimensão das soldagem a se realizar;
- 4-Quantos conjuntos são necessários por ano
- 5-Qual a frequência de modificações nos produtos (modelos, alterações de projetos e outros).

Vale citar ainda que o espaço ocupado pode ser considerado custo de produção e ser avaliado também como parâmetro objetivo.

Assim, se a soldagem manual, via de regra, ocupa mais espaço que a robotizada - pois faz uso de um número de soldadores, de maior quantidade de ferramentas, e de maior movimentação de peças -, depreende-se que o processo robotizado permite que a soldagem seja mais criteriosa, com um planejamento mais adequado da fabricação e redução do número de subconjuntos necessários.

A soldagem manual impõe ao soldador o trabalho num ambiente insalubre e hostil, com muito ruído, poeira e calor.

A robotização não só reduz os riscos de acidentes a que o soldador está sujeito, como também pode aliviá-lo da execução de tarefas repetitivas, o que aumentará sua produtividade.

Se a empresa estiver localizada numa região onde há dificuldades de se encontrar mão-de-obra especializada, a localização geográfica poderá ser fator determinante no que diz respeito à adoção ou não do processo robotizado.

Também a análise da relação custo- benefício deverá ser cuidadosamente considerada, exigindo muitas vezes reformulação de conceitos econômicos e financeiros em vigência na empresa.

A precisão da trajetória da junta vai depender, em grande parte, da qualidade da preparação das juntas a serem soldadas ou da intercambialidade do conjunto de peças.

Tendo em vista que as operações realizadas numa dada fabricação são, normalmente: Corte, Dobragem, Estampagem e Forjamento, deve-se considerar que, na soldagem por robô, os cuidados têm de ser redobrados e os sistemas de preparação destas operações reavaliados.

Para isso, podem ser necessários investimentos que precisam ser avaliados logo no início do projeto.

As corretas preparação e montagem das peças a serem soldadas também condicionarão o sucesso da robotização.

Entre outros fatores a serem considerados, citamos ainda:

**Acessibilidade** - A montagem deve permitir o livre acesso à junta pela tocha.

**Rigidez** - A montagem deve ser suficientemente rígida para assegurar um posicionamento preciso e estável dos diversos elementos.

**Alternativas** - As células robotizadas para soldagem devem permitir uma transferência para outro posto de trabalho, como, por exemplo, no caso de avaria ou disfunção do robô.

Depreende-se, de tudo o que foi levantado neste segmento de nosso estudo, que a opção pela robotização no processo produtivo implica na observação de uma gama muito grande de parâmetros bem objetivos, que começam no conhecimento que a própria empresa tem de seu potencial e limitações, assim como na definição clara de objetivos, sejam eles relacionados ao aumento dos seus índices de produtividade, à diminuição de custos em produção, ao aperfeiçoamento de seus produtos, entre outras metas possíveis.

É preciso, sobretudo, que a inovação tenha como ponto de partida um conhecimento muito consistente do processo em vigor e que se deseja modificar.

É nesse sentido, que é aconselhável que a empresa tenha em seu horizonte avanços pequenos mas contínuos, de modo que a nova tecnologia seja integrada aos poucos.

A sintonia entre os diferentes setores será fundamental, na medida em que todo o pessoal sentir-se-á envolvido com as mudanças e estimulado a aperfeiçoar suas funções em função delas.

## **Estudo de caso**

Este trabalho dedicou-se à elaboração do estudo de caso, realizado isoladamente, com o objetivo de observar as variáveis envolvidas na implantação de robôs no processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa.

Uma empresa metalúrgica de grande porte de origem norte-americana, pertencente ao segmento metal-mecânico, estabelecida há vários anos no interior do estado de São Paulo, a Caterpillar Brasil Ltda. e a empresa A. Pedro, empresa nacional, Localizada no município de São Caetano – Grande São Paulo – Segmento de autopeças.

A pesquisa teve como base informativa um questionário (roteiro de entrevista), que contemplou seis grupos de temas:

- 1) dados institucionais;
- 2) aspectos financeiros;
- 3) características comerciais;
- 4) questões técnicas (relativas especificamente a robôs);
- 5) fatores de ordem organizacional, e 6) aspectos da produção.

Aqui será destacado as questões da robotização.

A partir das informações fornecidas pelos questionários, foi possível chegar a um quadro interpretativo, mediante o qual visualizamos tanto as singularidades organizacionais da empresa estudada, como a diferença de atitudes assumidas em consequência da aplicação de robô em seu processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa. Tal interpretação reforça os conceitos que vem sendo discutidos ao longo deste trabalho.

### **Caterpillar Brasil Ltda** **Características gerais da empresa**

A Caterpillar Brasil Ltda. é uma empresa de origem norte-americana, localizada no interior do estado de São Paulo, na cidade de Piracicaba; apresentando, como produtos principais de sua linha de fabricação, motoniveladoras e pás-carregadeiras.

A unidade brasileira da empresa adotou, há cerca de dez anos, a robótica aplicada à soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, em substituição ao processo de soldagem semi-automático da caixa de transmissão da motoniveladora.

Instalada no Brasil desde 26 de outubro de 1954, a Caterpillar trabalhou inicialmente com o objetivo único de dar atendimento de peças e manutenção às máquinas em operação no país, na época.

Devido ao fechamento da economia brasileira naquele momento, que se encontrava sob um regime de substituição de importações, não existia muito espaço para a competitividade internacional, havendo inclusive a imposição de índices de nacionalização altíssimos para produtos manufaturados em nosso país. Era esse, portanto, o contexto econômico delicado que a Caterpillar encontrou no Brasil, em seus momentos iniciais.

Como quinto país do mundo em extensão territorial, sexto em densidade populacional e ocupando o posto de nona economia, nosso país apresenta 120 milhões de toneladas de reservas minerais ainda inexploradas, 260 mil hectares de terra arável e mais de 1,5 milhão de quilômetros de rodovias, das quais apenas 10% são pavimentadas.

Todo esse cenário em aberto, cria grandes expectativas em relação ao crescimento da demanda pelos produtos fornecidos por empresas do setor de bens de capital, como é o caso da Caterpillar.

### **Tecnologia do Robô**

Temos em vista, nesta parte do trabalho, tratar as questões de ordem técnica, que dizem respeito ao tipo e às características do robô utilizado pela Caterpillar Brasil, no processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa.

O robô responsável pela soldagem da caixa de transmissão da motoniveladora, conhecida como “caixa tandem” foi implantado no processo (desde outubro de 1988), de tecnologia japonesa (Hitach), apresenta uma concepção de forma construtiva articulada, de acionamento elétrico, possuindo seis graus de liberdade, ou seja, de movimentos independentes que permitem deslocamento rápido do robô e facilidade do posicionamento da tocha de solda - o que garante maior precisão com relação à junta ou peça a ser soldada e ainda oferece a vantagem de redução ou simplificação dos dispositivos periféricos posicionadores.

O posicionamento adequado das partes a serem soldadas deve estar assegurado pelo dispositivo posicionador, por sua vez a precisão deve obedecer às tolerâncias dimensionais de fabricação e o posicionamento referencial dos robôs.

Neste caso prático, a principal exigência em relação à soldagem e à montagem da engrenagem na caixa de transmissão, é de que sejam à prova de vazamento.

São fatores considerados na seleção do equipamento posicionador: capacidade de carga, centro de gravidade, número de eixos, tipo de acionamento do motor, programação ou servo controle e mobilidade do robô.

É preciso estar atento para o fato de que quanto maior a complexidade do dispositivo, maior o custo do sistema, além de que há a possibilidade de ocorrerem limitações nos movimentos do robô.

A Caterpillar utiliza formas diversificadas de organização da produção. Determinados setores, como aquele em que atua o robô, operam em células de trabalho chamadas "grupos semi-autônomos", na montagem e ainda o chamado "WorkTeams" ou "Times de Trabalho" instituído desde o ano de 1985.

Os "Times de Trabalho" são criados em função das necessidades de projetos que implicam em maiores ou mais profundas mudanças nas diversas áreas da empresa como : administrativas, produtiva e manutenção.

Os grupos são formados por profissionais de diversas áreas para que se tenha uma visão detalhada de todo processo. Quando necessário, são convocados fornecedores e clientes para se atingir o objetivo esperado.

Na prática, estes grupos, surgindo de idéias chamadas "embrião" se desenvolvem com objetivos definidos e agilizam as soluções para empresa. Atualmente a Caterpillar possui aproximadamente 200 "Times de Trabalho" atuando em todas as áreas.

### **Motivos que Levaram a Caterpillar Brasil à Robotização.**

A Caterpillar Brasil optou pela robotização de seu processo de soldagem a arco elétrico, com o objetivo de aumentar a produtividade e o nível de qualidade das peças por ela produzidas, tendo em vista que a inserção de um único robô no processo de soldagem de equipamentos é capaz de promover sua estabilização, e, conseqüentemente, a garantia da repetibilidade.

Apesar de não haver um modelo específico, que a empresa pudesse seguir, destinado à orientação em relação à introdução da robótica, a Caterpillar buscou, na experiência prática das "fábricas irmãs", em outros países, os principais critérios para a escolha do equipamento que iria usar.

Da mesma forma, observou atentamente os resultados advindos da aplicação da robótica, nos processos de produção dessas indústrias.

### **Requisitos Organizacionais para Incorporar a Robótica.**

A seguir, estão enumerados e comentados alguns dos fatores considerados fundamentais, que foram levados em conta no momento em que a Caterpillar Brasil introduziu a robótica em seu processo de soldagem a arco elétrico.

## **Integração**

A Caterpillar brasileira organizou-se para a incorporação da nova tecnologia, integrando as áreas de produção, manutenção e engenharia, no período que compreendeu as fases do projeto e da implantação. A integração configura-se como fator de importância decisiva para a robotização de sistemas, fazendo parte inclusive de um método adotado e recomendado pelos japoneses - já comentado anteriormente.

De acordo com os funcionários da empresa entrevistados, todos aqueles que estejam de alguma forma envolvidos no processo produtivo em que foi implantado o robô, têm que ter conhecimento de como se trabalha com ele.

## **Repetibilidade na fabricação**

Logo no início do trabalho robotizado do processo de soldagem da Caterpillar Brasil, constatou-se falta de repetibilidade dimensional das peças que seriam soldadas pelo robô.

Tal instabilidade iria interferir de forma significativa na qualidade da soldagem, fazendo-a ficar fora dos padrões aceitáveis. É preciso frisar que o parâmetro “repetibilidade” exige uma avaliação muito criteriosa, pois, como já se disse, peças que apresentem variação dimensional em sua preparação, podem representar grandes riscos de comprometimento na qualidade da soldagem a arco.

Não se pode esquecer que o item “preparação de junta”, para a soldagem a arco elétrico, é um padrão de fundamental importância.

A princípio, a empresa procurou adequar o robô ao processo produtivo, levando em conta que as peças que seriam soldadas não deveriam passar, inicialmente, por nenhuma alteração.

Como já vimos, em outro tópico deste trabalho, o robô aplicado à soldagem não é o único elemento que irá garantir a qualidade do produto e do processo.

Há de se considerar que a introdução de qualquer nova tecnologia demandará um tempo de aprendizagem e adaptação, para que se faça uso plenamente do potencial do equipamento instalado e para que haja uma revisão satisfatória do processo e se promovam as mudanças necessárias.

Dentre as alterações mais significativas que tiveram que ser empreendidas pela Caterpillar brasileira, em função da implantação do robô em seu processo produtivo, devemos destacar as mudanças nos processos de fabricação e preparação das peças, que visaram garantir a qualidade e repetibilidade da soldagem robotizada.

A necessidade dessas mudanças deveu-se ao fato de que, na soldagem manual, o processo de corte das chapas era realizado pelo sistema oxi-combustão, e suas variações dimensionais não poderiam garantir o cumprimento das exigências relativas a uma soldagem robotizada (repetibilidade).

A partir da introdução da carta de controle e da usinagem na preparação das peças, obteve-se a garantia de repetibilidade requerida para a soldagem.

Se durante a soldagem manual (semi-automática) o soldador constatar intercambialidade inadequada entre as partes a serem soldadas, ele pode, por meio de sua habilidade e bom senso para julgar a situação, conduzir a soldagem a resultados satisfatórios. O mesmo pode ocorrer, caso não haja repetibilidade dimensional ou se houver muito oscilação.

O soldador pode alterar e corrigir os parâmetros de soldagem, em função de cada necessidade. Acessórios - como o controlador de desvio de trajetória e o sensor de toque - podem dar ao robô condições de interpretar anormalidades, mas encarecem o sistema e apresentam limitações.

A capacidade de discernimento do soldador é fator muito importante, mesmo no sistema robotizado, já que, apesar de o robô ser dotado de sensores de correção de trajetória ou de arco elétrico, mesmo estes elementos podem não ser suficientes para o reconhecimento e a correção das variações indesejadas.

Capacitação de pessoal: quando decidiu pela robotização de seu processo de soldagem, uma das primeiras preocupações da Caterpillar Brasil, foi capacitar tecnicamente o pessoal da empresa.

Assim, mesmo quando o robô ainda estava em try-out, no fornecedor, a empresa deu início o treinamento de seus funcionários.

O fornecedor do robô estabeleceu um programa de treinamento técnico, que comportava uma carga horária de 40 horas e envolvia programação do robô, soldagem e manutenção.

O público alvo era composto por funcionários dos setores de engenharia; manutenção elétrica e mecânica; treinamento e processos. Participaram do treinamento engenheiros e técnicos que, após a capacitação técnica, passaram a se envolver diretamente com a rotina produtiva e de manutenção do robô.



O representante de treinamento da empresa tinha a incumbência de, como um "agente multiplicador", habilitar os demais profissionais no trato com o robô, além de elaborar todo o material de instrução que se fizesse necessário.

A vida útil dos acessórios aumentou em aproximadamente 10 vezes com a implantação do robô, era plenamente compatível com o sistema, no que diz respeito à resposta dinâmica<sup>2</sup>.

É importante que a fonte de soldagem possua recursos elétricos e eletrônicos, de comunicação, assim como uma interface conciliável com a unidade central de processamento do robô, para que a soldagem ocorra exatamente no tempo e posição preestabelecidos na programação.

### Mensurar índices de desempenho:

Segundo dados colhidos na própria Caterpillar Brasil, os índices de desempenho foram monitorados antes e depois da robotização.

A partir da comparação dos índices, foi possível constatar o sucesso alcançado pela introdução do robô no processo de soldagem da empresa.

Do mesmo modo, pôde-se aferir a eficiência da "comparação" como meio de controle, observação e análise, com indicado na Tabela abaixo:

**Tabela : Comparação entre parâmetros de soldagem : Semi-automático e Robotizado**

<b>SOLDAGEM SEMI-AUTOMÁTICA</b>	<b>SOLDAGEM ROBOTIZADA</b>
Velocidade de soldagem limitada <sup>1</sup>	Aumento da velocidade em aproximadamente 15% <sup>2</sup>
Após a soldagem, há dispositivo de teste de vazamento da caixa	Eliminação do dispositivo de teste <sup>3</sup>
Há defeitos e refugos	Ausência de defeitos e refugos
Arame-eletrodo tipo sólido, diâmetro 1,2 mm	Arame-eletrodo tipo tubular, diâmetro 1,2 mm, e diminuição de custo por volta de 72%
Consumo anual elevado de arame-eletrodo	Redução do consumo em aproximadamente 40% <sup>4</sup>
Peças produzidas por dia	Foi possível dobrar a quantidade das peças produzidas. Em alguns casos, a produtividade foi triplicada <sup>5</sup>
Há necessidade de retrabalho	Necessidade de retrabalho quase inexistente <sup>6</sup>

2 - “Resposta dinâmica” é a capacidade da fonte de solda responder elétrica e eletronicamente aos sinais de corrente e tensão, impostos como parâmetro de soldagem, concomitantemente ao deslocamento do robô e seus sinais em tempo real.

1- No processo robotizado, o objetivo é operar com velocidades de soldagem sempre maiores que as do processo manual.

A unidade utilizada é cm / min e a limitação quanto ao valor ideal de velocidade está diretamente relacionada a: valores de corrente e tensão de arco, espessura da peça-obra e posição de soldagem - prerrogativas estabelecidas em procedimentos.

2- O incremento da velocidade na soldagem robotizada, em alguns casos, pode fazê-la chegar a ser 4 vezes superior à velocidade da soldagem manual. Quanto à posição da soldagem e a forma de programação exigida, para se obter o resultado esperado da soldagem, pode-se trabalhar com valores menores do que a capacidade do robô pode suportar, pois eles serão sempre maiores em comparação com os outros processos.

3- Como a qualidade passou a ser assegurada, não foi mais necessário inspeção e/ou teste intermediário.

4- Não havendo mais variação nos parâmetros de soldagem e otimizando-se o processo, reduziu-se o consumo de arame.

5- O aumento da capacidade produtiva está relacionada a um conjunto de elementos que favorecem a produtividade: aumento da velocidade de soldagem, redução de rejeições, redução no tempo de deslocamento de peças e eliminação de testes.

6- Com o processo estabilizado, em que a “repetibilidade” está garantida, dificilmente será necessário retrabalho.

7- Os acessórios de soldagem aos quais nos referimos são: bocal e bico de contato da tocha de soldagem.

Na soldagem automática e robotizada, estes elementos não têm contato com a zona de fusão, não estando sujeitos ao toque mecânico, diferentemente da soldagem manual, em que o soldador pode tocar o bico de contato ou bater o bocal contra alguma peça.

---

## **Sistema de Garantia da Qualidade**

Tendo a garantia da qualidade como referência, para a introdução da robótica em seu processo produtivo, a Caterpillar Brasil conseguiu reduzir ou mesmo eliminar as inspeções intermediárias. Por sua vez, as tolerâncias de fabricação se tornaram mais rígidas e estreitas, em comparação com o sistema semi-automático (manual). Reafirma-se, portanto, a tese de que a repetibilidade é fator de fundamental importância para a garantia do sucesso da soldagem. E, segundo os funcionários entrevistados, a robotização melhorou o padrão de qualidade dos produtos da empresa, justamente por ter tornado mais consistente seu processo produtivo.

## **Prerrogativas Indispensáveis para a Robotização no Processo Produtivo - Opinião da Caterpillar Brasil**

A partir de declarações de um gerente entrevistado, a Caterpillar Brasil vê a necessidade de serem tomadas as seguintes providências por qualquer empresa que deseje integrar a robótica em seu processo de soldagem a arco:

- 1) prever um layout adequado, incluindo as questões de segurança específicas para a robótica;
- 2) fazer um controle maior em relação aos requisitos geométricos dos componentes a serem soldados;
- 3) ter funcionários especializados em programação e manutenção, além de um processador da solda - especialista no processo de soldagem.
- 4) assegurar que o fornecedor provenha suporte de manutenção e alteração da aplicação “.

## **Indústria Metalúrgica A. Pedro Ltda. Características Gerais da Empresa**

A Indústria Metalúrgica A. Pedro Ltda. - localizada no município de São Caetano, no estado de São Paulo - trabalha na produção de peças para a indústria automobilística, tendo adotado a robótica aplicada à soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, em substituição ao processo de soldagem semi-automático de diversos tipos de peças.

A empresa, de origem brasileira foi fundada em 5 de janeiro de 1953, momento econômico de plena expansão industrial no Brasil, sobretudo em relação à implantação de novas montadoras de automóveis.

A unidade fabril da A. Pedro, toda concentrada em São Paulo, ocupa uma área total de 4700 metros quadrados, dos quais 4000 metros são de área construída.

Os produtos da A. Pedro - cuja linha é bastante diversificada, alcançando 70 itens - são fornecidos diretamente às montadoras, e seus principais clientes são: Fiat, GM e MBBrasil. Além disso, a empresa exporta para a Argentina, a Turquia e a Polônia.

Os investimentos em produção, promovidos pela empresa, nos últimos anos, foram da ordem de: US\$ 120.000,00 em 1996; US\$ 550.000,00 em 1997, e US\$ 200.000,00 em 1998 (até novembro).

### **Principais Fatores que Levaram a A. Pedro a Robotizar**

O mercado competitivo dos dias de hoje tem exigido mudanças na atitude das empresas, sem as quais não é mais possível ocuparem espaços significativos neste contexto.

A Indústria Metalúrgica A. Pedro, não podendo fugir, evidentemente, às regras impostas pelo mercado empresarial, decidiu-se pela robotização de seu processo de soldagem a arco elétrico, tendo em vista os seguintes objetivos:

#### **- Redução dos Custos de Fabricação:**

Objetivo mais imediato da empresa;

#### **- Maior Flexibilização:**

Visando a possibilidade de atendimento da soldagem de uma gama mais diversificada de peças, assim como das mudanças implementadas pelas montadoras em função de lançamento de novos produtos.

#### **- Aprimoramento da Qualidade**

Levando em conta as exigências dos fabricantes, que transferem o mesmos parâmetros de exigência impostos a eles diretamente pelo mercado.

#### **- Garantia da Qualidade**

Visto que a confiabilidade da empresa aumenta, à medida que o processo robotizado se estabiliza. É interessante ressaltar que a Fiat, por exemplo, exige, em relação a algumas peças, que a soldagem seja robotizada (no caso de peças em que a segurança e o acabamento sejam requisitos essenciais).

### **- Ampliação de Mercado**

A incorporação da robótica no processo produtivo transmite segurança e confiabilidade, abrindo perspectivas de ampliação de mercado, por meio da conquista de novos clientes. Segundo os entrevistados, grande parte das empresas concorrentes faz uso da robótica aplicada à soldagem a arco elétrico.

### **- Marketing**

Considerado como objetivo indireto. Os entrevistados relatam que a robotização foi importante para a A. Pedro também em termos de Marketing, pois deu a ela a imagem de uma empresa voltada para modernidade, na medida em que ela incorporou o robô em seu processo produtivo, ou seja, o que há de mais moderno em ferramenta para a soldagem.

### **Tecnologia do Robô**

A Indústria Metalúrgica A. Pedro possui quatro robôs responsáveis pela soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, sendo que dois deles estão em operação, enquanto dois encontram-se em fase de instalação.

Os dois robôs implantados na A. Pedro em dezembro de 97 apresentam tecnologia norte- americana (Motoman SK6).

Sua concepção é de forma construtiva articulada, com acionamento elétrico, apresentando seis graus de liberdade ou movimentos independentes, que permitem deslocamento rápido do robô e facilitam o posicionamento da tocha de solda - isto aumenta a precisão com relação à junta ou peça a ser soldada, oferecendo ainda, como vantagem, a redução ou simplificação de dispositivos periféricos posicionadores.

A precisão do robô é por volta de 0,2 mm, obedecendo os padrões de robôs destinados à soldagem a arco elétrico.

A capacidade de carga dos robôs da A. Pedro, avaliada em função da aplicação a que eles se destinarão, é de 6Kg - o que corresponde ao peso máximo que o robô pode suportar, de carga aplicada em sua extremidade (punho), à máxima velocidade de deslocamento. Este limite de capacidade de carga é típico para aplicação de soldagem a arco, pois o elemento terminal, a tocha de solda e os cabos de corrente pesam, em média, 3 Kg.

Integrados a cada robô estão: duas fontes de solda, com 450 ampéres de capacidade de corrente e um sistema limpador de tocha, que permite a limpeza do bocal depois de determinado ciclo de soldagem, para que não ocorra restrição do fluxo de gás de proteção do arco.

### **Questões Organizacionais**

No que concerne a organização do fluxo produtivo, a A. Pedro adota a produção em linha.

Não tendo, até o momento, lançado mão de novas formas de organização, como “células de trabalho” ou “grupos semi-autônomos”. De certa forma, ao introduzir os robôs de soldagem, a empresa centralizou as operações em “células de soldagem”, sem fazer grandes modificações no fluxo produtivo.

Em relação à questão de qualidade, a empresa está certificada, desde o mês de março de 1995, na ISO 9002. Durante o processo produtivo, especificamente a soldagem, ela faz uso do procedimento de inspeção por amostragem e de um sistema interno de qualificação do processo, com base em normas internacionais de soldagem e construção soldada, que consideram: inspeção visual e ensaios mecânico de tração, metalúrgico (como micro e macrografia da região soldada), de dureza do material e zona termicamente afetada pela solda.

Os sistemas de comunicação empregados pela empresa são: Internet e Intranet.

Segundo os entrevistados, não foi necessário implementar novos sistemas de controle na Metalúrgica A. Pedro - como CEP, por exemplo - pois, nas atuais condições, as exigências de qualidade por parte do cliente já têm sido atendidas plenamente.

Os funcionários entrevistados destacaram ainda a importância do comprometimento de todas as áreas, antes, durante e depois da incorporação da robótica na empresa - requisito que, segundo eles, deveria fazer parte da estratégia de adoção da nova tecnologia numa indústria.

Se o planejamento em função da inserção da robótica baseou-se na análise do volume de peças produzidas e na necessidade de incrementar a produção, como é o caso da Indústria Metalúrgica A. Pedro, é preciso que se examine o projeto de dispositivos posicionadores, avaliando sua complexidade. Além disso, as características dimensionais e o tipo de material empregado nas peças a serem soldadas devem ser verificadas.

Quanto à definição do tipo de produto a ser trabalhado dentro das novas especificações da soldagem robotizada, a estratégia utilizada pela empresa estudada obedeceu sobretudo as necessidades e exigências do cliente: peças que precisassem apresentar completa segurança e excelência no acabamento. Além disso, empresa optou por iniciar o processo de soldagem robotizada em peças de menor complexidade geométrica.

O sucesso da robotização na Indústria Metalúrgica A. Pedro, pelo que se pôde constatar a partir das entrevistas, teve o reconhecimento de seus funcionários e demonstrou que a adaptação da empresa ao novo sistema está sendo satisfatória.

Entretanto, foi necessário um período de aprendizado, de cerca de seis meses, que não interferiu no processo produtivo.

Quanto ao que toca a seleção e classificação dos fornecedores da A. Pedro, no novo sistema robotizado, a empresa adota o Guia de Avaliação de Fornecedores, que a tem orientado nesse sentido.

Os fornecedores passam anualmente por uma auditoria que os credencia a continuarem como tal ou os elimina do quadro de fornecedores da empresa.

A auditoria é um padrão interno, e a desqualificação pode ser substituída pela adequação às exigências da empresa.

Basicamente, os três critérios pelos quais a metalúrgica se orienta, para a escolha de seus fornecedores, em relação a empresas robotizadas, são os seguintes:

### **Comprovação de Experiência**

Avaliação de amostragem e pesquisa quanto a fornecedores disponíveis, que tenham atuação comprovada no mercado nacional de robôs de processos, gás de proteção, arame-eletrodo e dispositivos posicionadores.

### **Características dos Serviços**

Qualidade, política de preços, serviços, suporte técnico.

### **Capacitação**

Reuniões de desenvolvimento com fornecedores são realizadas, periodicamente, para se tratar de novos produtos e processos.

### **Requisitos Organizacionais para Incorporar a Robótica**

Ao incorporar a robótica em seu processo de produção, a Indústria Metalúrgica A. Pedro não adotou nenhum modelo para sua orientação.

Apesar disso, intuitivamente, conduziu esta implantação avaliando cuidadosamente cada elemento que pudesse interferir no processo, a saber.

### **Integração**

Em todas as etapas do processo de inserção de robôs em suas operações fabris, a. Pedro envolveu as áreas de produção, manutenção e compras, a fim de garantir o comprometimento dos setores e dos profissionais da empresa numa discussão ampla sobre a nova tecnologia. A idéia era, na medida do possível, esgotar o levantamento de todas as possibilidades de sucesso e/ou insucesso da inovação.

Para isso, a empresa utilizou quatro meses.

Estendendo a discussão para além dos limites internos da empresa, a A. Pedro tem discutido também com seus fornecedores a participação e avaliação dos principais fatores que interferem na soldagem robotizada.

A integração entre setores, como elemento decisivo na introdução de novas tecnologias, já foi um tema sobre o qual discorreremos neste trabalho, sobretudo quando se tratou do modelo japonês de organização empresarial.

A empresa pesquisada serviu-se deste instrumento em sua estratégia de adoção da robótica, obtendo sucesso em sua utilização.

### **Repetibilidade na fabricação**

As variações dimensionais das peças não eram significativas e não interferiam diretamente, durante a soldagem, no processo semi-automático da A. Pedro, sendo plenamente viável a convivência com tais variações, durante esse período.

No entanto, tendo em vista os conceitos básicos da robótica e, sobretudo, mediante as exigências da soldagem a arco elétrico com proteção gasosa, a empresa teve que promover modificações na preparação das peças, para que fossem soldadas pelo robô.

As principais mudanças e controle recaíram sobre os setores de estamparia (prensas hidráulicas), onde foram necessárias as seguintes correções nos ferramentais (moldes):



## **Incorporar a robótica aplicada à soldagem: As questões organizacionais para se obter sucesso.**

- Manutenção para obtenção de tolerâncias dimensionais mais "estreitas"; Acompanhamento mais freqüente e inspeção mais apurada, para um monitoramento mais eficaz quanto ao desgaste de ferramentas e implicações diretas na soldagem robotizada;

- Try-out para a definição de padrão adequado para as peças estampadas que seriam soldadas pelo robô.

Repetibilidade das peças dos fornecedores: parte das peças soldadas pelo robô é feita por fornecedores regulares da Metalúrgica A. Pedro. Constatou-se que falta, a essas peças, repetibilidade dimensional, e-

Suas tolerâncias não atendem plenamente a soldagem robotizada (vale salientar que em relação à soldagem semi-automática, elas atendiam plenamente as exigências).

Assim, a empresa reuniu seus fornecedores, no sentido de sensibilizá-los quanto à importância em se manter a repetibilidade das peças e adequar-se às tolerâncias dimensionais à robótica.

Foi implantado, conseqüentemente, um controle mais rigoroso junto aos fornecedores.

Ainda hoje a empresa e seus fornecedores estão em processo de aperfeiçoamento contínuo, para a otimização do resultado final da soldagem, no que se refere a peças fornecidas por terceiros.

### **Treinamento**

O fornecedor dos robôs implantados na A. Pedro definiu um programa de treinamento, com uma carga horária de 70 horas.

O treinamento foi dirigido para os funcionários de programação, operação e manutenção.

Participaram do treinamento, os setores de Manutenção, Projetos, Manufatura, CPD e Produção, entre técnicos, tecnólogos, engenheiros e operadores.

Este foi o único treinamento, no que se refere à habilitação específica, dirigida ao grupo de profissionais que, direta ou indiretamente, estaria envolvido com o robô e com o processo de soldagem como um todo.

Quando os outros dois robôs estiverem em operação, o tecnólogo em soldagem será o “agente multiplicador”, que deverá passar as instruções técnicas, em relação ao trato com o robô, para os outros grupos a serem treinados.

### **Perfil da Mão-de-Obra**

A empresa A. Pedro entendeu que, para o sucesso da implementação da robótica em seu processo produtivo, seria necessária a contratação de um novo profissional especializado em soldagem, já que é muito importante que se conheça o processo.

Mesmo que os conhecimentos sobre a robótica possam vir com treinamento e experiência prática diária, o domínio do processo de soldagem a arco possibilita que se alcance uma velocidade maior e os problemas terão soluções mais precisas e rápidas com a presença de um profissional especializado.

No caso em estudo, foi contratado um tecnólogo em soldagem - profissional que possui capacitação técnica específica em soldagem, com base teórica e experiência prática, o que o habilita a enfrentar as situações mais adversas na área de soldagem.

### **Layout**

Com a introdução da robótica, a A. Pedro, de certa forma, aproveitou para rever o arranjo antigo e efetuar algumas alterações que eram necessárias, adaptando o layout à incorporação da robótica.

Uma mudança importante foi à melhoria do escoamento da produção e a previsão de uma área para futuras instalações de novos robôs (solda a arco) e ponto). Houve a retirada de oito fontes de solda, utilizadas no processo semi-automático, que foram substituídas por apenas duas fontes, que são aquelas que atuam com os robôs.

O estoque de consumíveis foi reorganizado e a capacidade de armazenamento aumentada, já que se passou a trabalhar com o sistema de bobinamento de arame-eletrodo de 200 Kg e não mais de bobinas de 15 Kg.

Outro fator que permitiu aumentar a área de armazenamento foi à substituição dos cilindros de gás, que ficavam alocados próximo aos postos de trabalho, pela unidade central de gás, que fica do lado externo da área produtiva.

Essas mudanças concorreram para o aumento da área de escoamento das peças e a possibilidade de introdução de novos equipamentos e melhor aproveitamento da área produtiva.

Adaptação à robótica: A empresa procurou, desde o início da introdução da inovação, adaptar rapidamente seu processo fabril ao robô, a fim de evitar problemas de deslocamento dos cordões de solda e retrabalhos.

Nesse sentido, o setor de qualidade intensificou o controle sobre as peças estampadas, no que diz respeito às dimensões; a estamparia, por sua vez, efetuou mudanças nos ferramentais, para que as tolerâncias fossem mais estreitas e se garantisse a repetibilidade, e a fábrica passou a trabalhar com volume de peças (no mínimo dois dias), em vez de operar com baixo volume.

Elencamos, a seguir, outras mudanças relevantes, executadas pela Indústria Metalúrgica A. Pedro, em função da inserção de robôs em seu processo de produção:

#### **O Desenvolvimento de dispositivos:**

Os dispositivos antes utilizados, no processo semi-automático, foram substituídos por um preceito mais flexível e menor - segundo o qual faz-se possível à montagem mais rápida e de diversas peças -, com o objetivo de atender as novas necessidades, introduzidas pela soldagem robotizada.

#### **Montagem de uma central de gás de proteção de soldagem:**

Com a introdução de robôs no processo, houve aumento significativo da velocidade da soldagem e, em consequência, da produtividade - em comparação com o processo semi-automático. No entanto, o uso de cilindros de gás ainda forçava o sistema a fazer paradas periódicas para sua troca (quando o gás era consumido), o que reduzia o tempo de arco aberto e, conseqüentemente, atrasava a produção.

Outro inconveniente era a ocupação de uma área considerável, dentro da área de produção, para estocar os cilindros.

Devido a esses embaraços causados por esses cilindros, a empresa resolveu eliminá-los, montando uma central de gás, que foi instalada externamente à área produtiva. Além de o volume de gás armazenado ser superior, não há interrupções da soldagem para a troca de gás, o custo é menor e liberou-se espaço para o fluxo produtivo. Tanto o projeto como a montagem da central foi de responsabilidade do fornecedor de gás.

### **Instalação elétrica e pneumática:**

Houve melhorias nas instalações elétrica e pneumática da indústria, por meio de adição de filtros de rede e controladores de pressão, e redimensionamento dos fios - medidas tomadas com.

A finalidade de assegurar o melhor funcionamento do robô e do sistema como um todo, visto que o posicionamento das peças e a limpeza do bocal de solda são feitos por sistema pneumático e indexação eletroeletrônicas.

### **Bobinas de arame-eletrodo:**

Visando o incremento da produtividade e eliminação de paradas para troca, a empresa substituiu as tradicionais bobinas de arame-eletrodo de 15 Kg - utilizadas no processo semi-automático - por embalagens desenhadas especialmente para sistemas robotizados, conhecidas como "pack", com bobinamento de arame de 200 Kg, o que reduziu expressivamente a frequência de troca de arame e, em consequência, diminuiu ainda mais o tempo de soldagem.

### **Tipo de consumíveis:**

Em função da evolução tecnológica dos processos de soldagem, da existência de tipos de materiais mais nobres e disponibilidade maior de recursos para as fontes de solda, os fornecedores de consumíveis, arame - eletrodo e gás de proteção vêm, ao longo do tempo, desenvolvendo novos tipos de consumíveis para complementar os recursos já disponíveis.

A Indústria Metalúrgica A. Pedro não se limitou à robotização do processo de soldagem, o que, sem dúvida aumentou sua capacidade produtiva e promoveu o aperfeiçoamento da qualidade de seus produtos. Mas a A. Pedro recorreu também aos fornecedores de matéria-prima, arame-eletrodo e gás de proteção, para contribuir ainda mais para o aumento da produtividade da empresa.

Mensuração de índices de desempenho: os principais índices de desempenho mensurados pela A. Pedro foram os relacionados à produtividade e à redução no consumo de arame-eletrodo e gás de proteção.

1- A velocidade média no processo semi-automático era de 35 cm/min, enquanto que na soldagem robotizada a velocidade passou para 100 cm/min, e em algumas peças, chegou a 200 cm/min.

2- Atualmente, apesar de a empresa possuir ainda postos de soldagem manual (semi-automática), não faz mais uso de cilindros de gás, e sim da central.

## **A Robótica e O Sistema Produtivo**

A robotização da soldagem a arco elétrico, na Indústria Metalúrgica A. Pedro, acarretou inúmeras vantagens para o seu processo produtivo: houve melhorias no fluxo de material e otimização de movimento de peças - em função dos ajustes realizados no layout; a área útil foi aumentada; a empresa passou a produzir sub-lotes de peças; houve redução do tempo de movimentação das peças, e os turnos de trabalho puderam ser reprogramados de maneira mais conveniente, passando de 3 para 2, tendo sido, inclusive, abolido o sistema de horas- extras neste setor.

## **Resultados e conclusão**

Tematizando a utilização da tecnologia de robôs industriais no processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, nosso estudo procurou apresentar, como proposta central, uma análise consistente, que possa vir efetivamente a fornecer parâmetros mínimos para a orientação de empresas brasileiras que tenham em seu horizonte a incorporação da robótica em seus processos de soldagem.

Assim, dentre outras, tivemos a preocupação, sobretudo, de dar respostas a algumas perguntas:

Quais as estratégias imprescindíveis para que se alcance sucesso na implantação de robôs, de modo que o investimento necessário nesse sentido reverta em benefícios efetivos e duradouros para a empresa?

Quais os possíveis impactos promovidos pela robotização? Quais os riscos reais deles decorrentes?

Chegamos, desse modo, a alguns resultados que apontam, acima de tudo, para a inviabilidade de que ainda sejam ignorados os benefícios e avanços promovidos pela robótica, no cenário industrial dos dias de hoje - tanto no Brasil como no resto do mundo. Nada mais óbvio do que o fato de que a introdução de robôs nos processos de produção industrial pode realmente incrementar a produtividade e aprimorar o nível de qualidade dos produtos de uma empresa. No entanto - e aí está a questão crucial que envolve este estudo sobre robotização de processos produtivos -, é inadmissível que se encare, pura e simplesmente, o uso de robôs em atividades fabris como um fato isolado, que por si só poderá garantir resultados positivos. Não é possível, portanto, limitar o processo de robotização à aquisição de equipamentos. Há todo um conjunto de medidas a serem avaliadas de forma mais crítica, do que se almeja com a robotização do processo de soldagem, que devem ser planejadas e postas em prática, passo a passo, com

---

muito cuidado e consciência, pelos articuladores da introdução da tecnologia de robôs industriais.

Tal linha de conduta por parte daqueles que são agentes da mudança, nos mais diferentes níveis hierárquicos da empresa, pode-se incluir, dentre outras atitudes e posturas:

Nosso estudo observou que os objetivos mais comuns, que levam as empresas a robotizarem sua produção, são: aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos.

Disposição, principalmente pelos níveis gerenciais e de supervisão, para as mudanças exigidas pela introdução da robotização: tanto mudanças técnicas (por exemplo, em relação à preparação de peças, no caso específico do processo de soldagem), quanto em nível organizacional;

- Elaboração de um planejamento consistente e detalhado, que deve prever o processo de inserção de robôs no processo de soldagem, passo a passo: desde um começo, incluindo previsão de investimentos em aquisição de equipamentos, treinamento de pessoal e outros, passando por contínuos avanços, que pressuponham as limitações reais da empresa e a superação das dificuldades;
- Conhecimento técnico por parte de setores como engenharia de produção ou processos, em relação à tecnologia da robótica, para uma escolha acertada do equipamento a ser utilizado. É aconselhável comprovação em outras empresas que já fizeram ou fazem uso da robótica, aplicada a soldagem, com sucesso principalmente quanto a escolha do equipamento mais adequado;
- Pleno domínio do processo produtivo a ser robotizado (no caso do processo de soldagem a arco elétrico sob proteção gasosa, é indispensável que se conheçam os requisitos técnicos tais como: parâmetros de soldagem, preparação de junta, fontes de solda e organizacionais : métodos e processos, layout, capacidade produtiva, equipamentos disponíveis, formas de comunicação, exigidos para a soldagem robotizada);
- Introdução da nova tecnologia de forma gradual, de modo que os impactos sejam sentidos também da mesma forma, a fim de serem enfrentados com tranquilidade pela empresa;
- Promoção de uma integração em torno da robotização, tanto entre os setores da empresa (horizontal e verticalmente), como em função do ambiente externo à indústria (que envolva fornecedores, consumidores etc).

## **Incorporar a robótica aplicada à soldagem: As questões organizacionais para se obter sucesso.**

---

Refere-se especificamente a participação, em todas as etapas do projeto, dos setores de planejamento, engenharia, produção, qualidade, métodos e processos e manutenção; em se tratando do ambiente externo, a certeza que o fornecedor de insumos para soldagem, equipamentos e/ou de peças-subconjuntos estejam preparados para um fornecimento dentro do que a robotização da soldagem exige;

- Utilização de experiências de robotização de outras empresas (inclusive do exterior), como exemplos para a implantação, desde que os modelos de incorporação da nova tecnologia sejam adaptados à realidade em questão;

- Adaptação em relação às características da empresa; é preciso que haja adequação também no que toca o contexto histórico, econômico e de recursos humanos e naturais da região em que a indústria opera; é aconselhável que se pense sobretudo nos consumidores dos produtos e em suas expectativas e necessidades);

É preciso reconhecer que incorporar a robótica na soldagem, requer adaptações aos parâmetros particulares de cada indústria; e frisar que as perdas de tempo na implantação de robôs, assim como os resultados frustrados são, na maioria das vezes, ocasionados pela adoção de diretrizes inadequadas. Daí a necessidade, por parte das empresas que visam a robotização, da utilização do maior número possível de informações a respeito.

## **Bibliografia**

- Amato Neto, J., MANUFATURA CLASSE MUNDIAL : Mitos & Realidade. São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, abril, 1996.
- Amato Neto J. & Gimenes L. Jr., Relações de Fornecimento e Novas Formas de Organização Industrial: O Caso do Condomínio Industrial para Prestador de Serviços em Soldagem e Caldeiraria, São Paulo, ENEGEP, 1997.
- Fleury, A. & Fleury. M. T. L. Aprendizagem e Inovação Organizacional: As Experiências de Japão, Coréia e Brasil. São Paulo, Editora Atlas, 1995.
- Tremonti, Marcos A e outros . : SOLDAGEM Coleção Tecnologia SENAI, São Paulo, Departamento Regional. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI, 1997
- PAUL. R. (1996). Impactos da automação e inovação tecnológica. Internet – São Paulo, 1997.
- Salerno, M. S., Flexibilidade, Organização e Trabalho Operatório: Elementos para Análise da Produção na Indústria. Tese de Doutorado, São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.
- Santos, J. F. & Quintino L., Automatização e Robotização em Soldadura. Lisboa, ISQ- Instituto de Soldadura e Qualidade de Portugal, 1992.

## **Periódicos**

- ABIMAQ, Indústria Brasileira de Máquinas e Equipamentos). Boletim Informativo, São Paulo, INFORMAQ, 26.jul-11.ago, (168): 3, 1997 e 12-22.ago, (169): 2-4, 1997.



- AUTODATA – Stéfani, Marcio. “Com Oito semanas para Preparar o Século 21”. Revista 106, São Paulo, ano 6, jun., pp. 3352-4, 1998.
- ÉPOCA “O Brasil na era dos robôs” Capítulo de Negócios, São Paulo, Junho, pp.104-107, 1998.
- Tremonti, M. A ., Processos de Soldagem Robotizado. Apostila, SENAI-RJ, FBTS, Curso de Especialização para Engenheiros na Área de Soldagem, Rio de Janeiro, 1995.
- Tremonti, M. A ., Requisitos Organizacionais à Introdução da Robótica : O caso do Processo de Soldagem a Arco Elétrico Sob Proteção Gasosa. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politecnica da USP, Área de concentração – Engenharia de Produção, Março, 1999.
- Garvin, D. A.. “Building a Learning Organization”. Harvard Business Review, 1993.
- Ghinato, P. “Robótica e Automação no Japão: Austentando a Competitividade Industrial”. Produto e Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Outubro, Vol. 1 pp. 30-39, 1997.
- Sohn, K. R. “Influência da Globalização sobre as Pequenas e Médias Empresas”. A administração de pequenas empresas deve Ter visão. Digesto Econômico, São Paulo, mar-abr, 1997.
- Tim, Marehead., “Calculating labor savings from robotic welding”. Revista Welding design and fabrication. Report special. March, p.18, 1998.
- Tremonti, M. A ., & Silva, M. T. “Adequação Organizacional de Uma Área Produtiva de Soldagem a Arco Elétrico com Proteção Gasosa Manual para a Robotização do Processo”. Anais do XXIII Encontro Nacional de Tecnologia em Soldagem. ABS, São Paulo, pp.119-128, 1997.