

# SISTEMATIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SOLDAGEM ROBOTIZADA<sup>1</sup>

Genaro Marcial Gilapa<sup>2</sup>  
Nilvo Oto Stahlhöfer<sup>3</sup>  
Antonio Carlos Valdiero<sup>4</sup>

## Resumo

Este trabalho tem por objetivo a pesquisa e o levantamento dos parâmetros necessários à robotização do processo de soldagem. A soldagem manual é uma atividade industrial muito insalubre devido a irradiação, ao calor e contaminação dos gases resultantes do processo. Além disso, a soldagem manual depende muito da habilidade do operador para garantia da qualidade do cordão e este fato torna bastante atrativa a sua automação através de robôs. Inicialmente, faz-se um estudo dos processos de soldagem mais viáveis à robotização. A partir deste estudo, são descritas as características do processo de soldagem a ser robotizado e a influência de seus parâmetros na qualidade do cordão de soldagem. Apresenta-se os diferentes níveis de automação até a robotização. Os parâmetros são sistematizados de acordo com as necessidades do processo e são utilizados como requisitos para o planejamento das trajetórias a serem realizadas pelo efetuador final de um robô. Na seqüência, apresenta-se um levantamento do estado da arte de robôs para soldagem e suas características. Como principais resultados têm-se a sistematização de parâmetros e requisitos para realização de tarefas de soldagem através de robôs manipuladores. Além disso, obtém-se uma série de recomendações para o desenvolvimento e planejamento de trajetórias de robôs para soldagem visando a qualidade do cordão. Pretende-se utilizar um manipulador robótico acionado pneumaticamente na realização de testes futuros. Os resultados deste trabalho também podem servir como referência para o projeto, calibração e controle de robôs.

**Palavras-chave:** Soldagem robotizada; Soldagem; Robô industrial; Parâmetros de soldagem.

---

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no IX Seminário de Automação e Processos – Sistemas de Manipulação - Robótica, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Curitiba PR, 05 a 07 de outubro de 2005.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico e Doutor em Engenharia Mecânica, professor da UNIJUÍ.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Grupo Fockink.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico e Doutor em Engenharia Mecânica, professor da UNIJUÍ.

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a pesquisa e o levantamento dos parâmetros necessários à robotização do processo de soldagem. A soldagem manual é uma atividade industrial muito insalubre devido a irradiação, ao calor e contaminação dos gases resultantes do processo. Além disso, a soldagem manual depende muito da habilidade do operador para garantia da qualidade do cordão e este fato torna bastante atrativa a sua automação através de robôs.

A soldagem é hoje considerada como o mais importante processo industrial utilizado na transformação do aço em produtos acabados. Já, a soldagem robotizada vem conquistando seu espaço no Brasil nos últimos anos, principalmente na indústria automobilística, mudando completamente a concepção da linha de produção, pois a precisão e a produtividade aumentaram significativamente. <sup>(1)</sup>

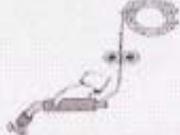
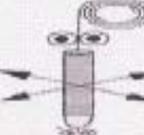
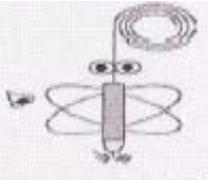
Para se entender o papel da automação e robotização, conforme Paranhos,<sup>(2)</sup> os processos de soldagem podem ser caracterizados como manual, semi-automático, mecanizado, automático e robotizada. As diferenças e características dos tipos de soldagem estão expressas na Tabela 1, onde são especificadas as distintas operações do ciclo de soldagem, por quem estas atividades são realizadas.

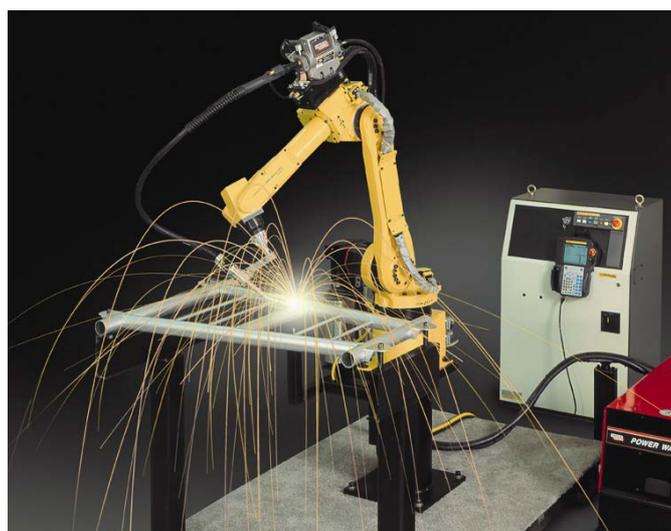
Para se realizar a robotização de um processo de soldagem, alguns parâmetros devem ser controlados, como por exemplo, a fonte de energia, a distância entre o eletrodo-aramé e a peça, a corrente e a tensão elétrica, a orientação da tocha, a velocidade de soldagem, as profundidades maiores de penetração e zonas afetadas termicamente mais estreitas, etc. Esse controle deve ser feito de maneira a manter os parâmetros em níveis ótimos, que não são necessariamente constantes. Dessa forma, torna-se necessário um controle total sobre a variação dos parâmetros e movimentos. Ainda existe muita dificuldade de se implementar programas que incluam programações e movimentos de maior complexidade. Uma das maiores limitações dos robôs industriais é a impossibilidade de se implementar algoritmos desenvolvidos para o cálculo e controle em tempo real de parâmetros de soldagem. Assim, o ideal é que se disponha de um robô industrial com arquitetura aberta e flexibilidade de programação suficiente para que tais tipos de algoritmos possam ser implementados. Atualmente, o processo de soldagem MIG/MAG é o mais utilizado em soldagem robotizada.

A soldagem MIG/MAG robotizada proporciona algumas considerações importantes em relação ao manual, dentre as quais podemos destacar a fixação da altura e do ângulo da tocha, possibilitando que a solda fique sempre protegida pelo gás, e permite que a velocidade de soldagem seja muito maior e mais uniforme. Além disso, soldagens de grande extensão podem ser feitas sem as interrupções e reinícios que normalmente acontecem.

O software para a soldagem robotizada deverá ser flexível o suficiente para admitir programação de trajetórias complexas e algoritmos de cálculo de parâmetros em tempo real. A Figura 1 mostra um modelo de uma célula de soldagem robotizada.

**Tabela 1.** Características dos processos de soldagem quanto ao grau de automação.

MÉTODO E APLICAÇÃO	Manual	Semi-automática	Mecanizada	Automática	Robotizada
<i>SOLDAGEM A ARCO ELEMENTOS E FUNÇÃO</i>					
Início e manutenção do arco elétrico	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Avanço do eletrodo no arco elétrico	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina	Máquina
Controle da energia para adequada penetração	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Deslocamento do arco elétrico ao longo da junta	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina	Máquina (com sensor)
Guia do arco elétrico ao longo da junta	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
Manipulação da tocha	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Máquina	Máquina (com sensor)
Correção do arco elétrico em desvios	Pessoa	Pessoa	Pessoa	Não corrige imperfeições detectadas	Máquina (com sensor)



**Figura 1.** Modelo de uma célula de soldagem robotizada.

## PARÂMETROS PARA UM ROBÔ NA SOLDAGEM MIG/MAG

Quando se realiza uma soldagem, deseja-se sempre obter um trabalho perfeito. Em qualquer método de aplicação, algum tipo de controle ou mecanismo é necessário. Esse controle permite a execução de programas que comandam os parâmetros de soldagem para depositar a solda. Em soldagem robotizada, esse procedimento requer um sistema de movimentação da tocha até movimentos do sistema de fixação das partes a serem soldadas.

Alguns termos e controles básicos são necessários para a soldagem robotizada, que são:

**Tempo de pré-fluxo:** Tempo entre a liberação do gás e a abertura do arco elétrico. Durante esse intervalo de tempo, o gás de proteção flui da tocha e gera uma nuvem, que afasta o ar da região de abertura do arco. A utilização desse pré-fluxo ajuda a prevenir problemas no início do cordão de solda. Em alguns sistemas, durante esse intervalo de tempo, circula água para refrigeração da tocha.

**Tempo da corrente e tensão de abertura:** Intervalo de tempo antes da soldagem onde a corrente e a tensão são ajustadas acima ou abaixo da corrente e da tensão de soldagem para abertura do arco. Essa regulagem ajuda a abrir o arco no início do cordão, onde as peças estão frias. Esse procedimento também ajuda a prevenir problemas no cordão de solda e promove uma deposição homogênea em toda a extensão da junta. Nesse intervalo deve-se iniciar a alimentação do eletrodo.

**Tempo de subida da corrente:** Tempo entre a aplicação da corrente de abertura do arco e a corrente de soldagem. Durante esse tempo, a corrente aumenta ou diminui para a corrente de soldagem. Em alguns casos (chapas finas) aplicam-se pulsos de corrente para garantir que o arco não se extinga e que a corrente de soldagem seja alcançada satisfatoriamente.

**Tempo de retardo para início do movimento da tocha:** Tempo para iniciar o movimento da tocha após a abertura do arco. Durante esse intervalo de tempo, que pode coincidir com o tempo de abertura e o tempo de subida da corrente, o eletrodo inicia a fusão, depositando-se na junta, porém sem movimento da tocha. Essa fusão enche o início do cordão, garantindo uma deposição homogênea em toda a extensão da junta.

**Tempo de soldagem:** Tempo entre o início e o término da soldagem, onde a corrente e a tensão de soldagem são aplicadas dependendo do que está sendo soldado.

**Tempo de descida da corrente:** Tempo entre a interrupção da corrente de soldagem e a extinção do arco e a solidificação da cratera no final do cordão. Durante esse tempo, controles de enchimento da cratera podem ser utilizados. Na maioria das vezes, a tocha para no início desse intervalo, e o metal fundido do eletrodo se deposita na cratera, evitando uma cratera com depressão e garantindo uma deposição homogênea em toda a extensão da junta.

**Tempo de parada na alimentação de arame:** Intervalo de tempo no final do enchimento da cratera e a extinção completa do arco, em que a corrente e a tensão são reduzidas gradativamente, permitindo um aumento do comprimento do arco. A utilização desse tempo na programação da soldagem facilita a reabertura do arco, pois evita que o eletrodo fique colado na cratera.

**Tempo de pós-fluxo:** Tempo entre a extinção do arco e o fechamento do gás. Durante esse intervalo de tempo, o gás flui da tocha após extinção do arco. A utilização desse pós-fluxo ajuda a prevenir problemas (contaminação) no final do

cordão de solda, afastando o ar da região onde a cratera está solidificando. Em alguns sistemas, a água que circula pela tocha ainda fica aberta durante esse intervalo de tempo, preservando-a.

**Ciclo de soldagem:** O ciclo de soldagem é o tempo total requerido para executar todos os eventos envolvidos na realização da solda. É considerado desde o primeiro instante de pré-fluxo até o último instante de pós-fluxo. O ciclo de soldagem está relacionado à produção durante a soldagem robotizada.

A programação de um robô para realização de soldas obedece a uma seqüência mostrada a seguir:

a) Calibração da posição da tocha de soldagem, para assegurar que o robô operará dentro de sua faixa de tolerância.

b) Localização dos componentes de trabalho e definição do tipo de fonte de energia.

c) Definição do caminho que será seguido pela tocha, assim como a localização dos cordões de solda. O controle computacional de um robô (movimentação) pode ser realizado de três formas diferentes: ponto a ponto: o robô tem a habilidade de se mover de um ponto específico para outro; caminho contínuo: toma como referência pontos específicos que definem um caminho; e caminho controlado: caminho entre os pontos programados é controlado.

d) Definição das condições de soldagem a serem utilizadas e que devem estar atreladas às coordenadas de movimentação do robô. Nessa etapa da programação, são inseridos na programação dois arquivos: o primeiro no início da trajetória, onde será depositado o cordão, contendo informações para abertura do arco; e o segundo no final da trajetória, contendo informações para extinção do arco.

e) Refinamento do programa através da verificação do desempenho e introdução de alguns controles básicos para a soldagem.

Além dos parâmetros citados anteriormente, podemos destacar ainda três pontos importantes que são: a estação de limpeza para a tocha, estação para corte da ponta do eletrodo-aramé e o ponto de referência.

A estação de limpeza da tocha consiste em remover resíduos de solda no bocal da tocha, evitando trabalhos manuais. O equipamento deve possuir alta eficiência e precisão, pois deve realizar a limpeza no interior do bocal. Esse equipamento pode ser pneumático ou elétrico, servindo para diferentes tipos de tochas. A Figura 2 ilustra um modelo da ABICOR-BINZEL.



**Figura 2.** Estação para limpeza do bocal da tocha de soldagem.

A estação de corte da ponta do eletrodo também se torna uma ferramenta essencial para a soldagem MIG / MAG robotizada. No decorrer da soldagem, a ponta do eletrodo sofre pequenos defeitos, além do acúmulo de resíduos, por isso se torna necessário o corte da ponta. Esse processo facilita o recomeço da soldagem e previne a inclusão na soldagem de impurezas nocivas para o cordão. Esse equipamento pode ser pneumático ou elétrico. A seguir, na Figura 3 está representado uma estação que é fabricada pela ABICOR-BINZEL.



**Figura 3.** Equipamento para corte da ponta do eletrodo.

O ponto de referência, ilustrado na Figura 4, possui a função de calibrar o robô quando estiver fora da posição correta de soldagem, ou seja, servirá como ponto base para o robô se ajustar com as coordenadas programadas para localizar o ponto correto a ser soldado.



**Figura 4.** Ponto de referência para o robô.

## **MONITORAÇÃO EM PROCESSOS DE SOLDAGEM ROBOTIZADA**

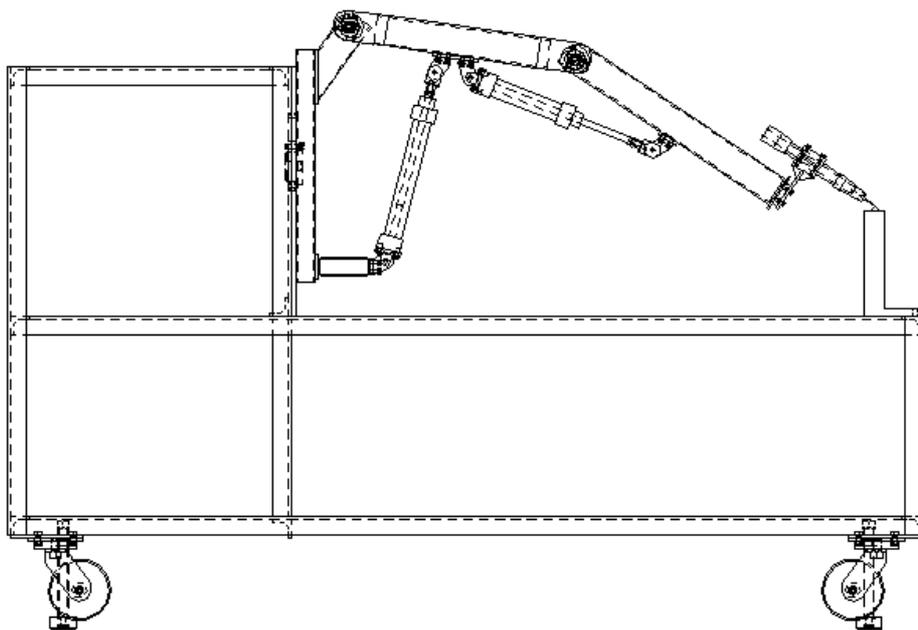
Uma forma de aumentar a confiabilidade na soldagem robotizada é pela utilização de sistemas de monitoração com sensores. Os sensores têm como função obter informações sobre o ambiente onde se encontra o robô, além de informações sobre o processo (parâmetros) de soldagem.

Quando sensores são utilizados na soldagem a arco, eles operam em um meio adverso e agressivo a sua integridade. A presença do arco elétrico implica em vários problemas para operação dos sensores, como o calor, a luz intensa, os intensos campos eletromagnéticos, a deformação ou desvio do eletrodo, flutuação da tensão de alimentação, entre outros provocam erros nos diversos sensores de arco.

Os fatores considerados anteriormente levaram ao desenvolvimento de diversos sistemas de refrigeração e proteção dos sensores. Uma vez protegidos, os sensores podem ser utilizados para localizar a estrutura a ser soldada, buscar o cordão de soldagem e seu início, extraírem as características geométricas da junta e guiar a tocha de soldagem ao longo do cordão até o ponto final. Paralelamente podem operar sensores para detectar possíveis obstáculos na trajetória do robô e para monitoração do processo de soldagem.

## RESULTADOS: MANIPULADOR ROBÓTICO PARA SOLDAGEM

Nesta seção serão apresentados os componentes que fazem parte de um manipulador robótico desenvolvido na Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ) para o processo de soldagem. Os detalhes do manipulador robótico acionado pneumaticamente estão referenciados no trabalho de Härter.<sup>(3)</sup> A Figura 5 apresenta uma vista lateral do manipulador robótico construído.

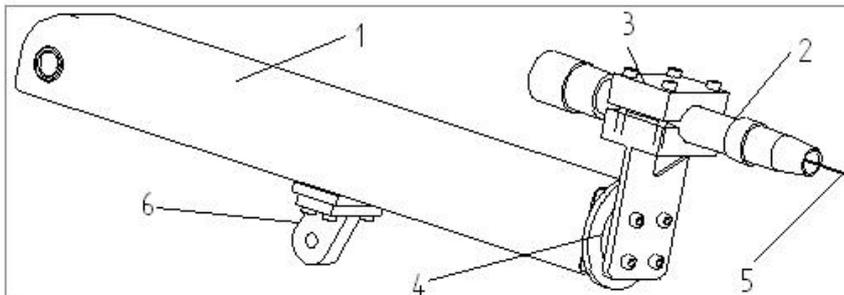


**Figura 5.** Manipulador robótico construído na UNIJUÍ Campus Panambi.

O manipulador robótico trabalha com dois graus de liberdade linear, possibilitando a soldagem de pequenos cordões e somente em um sentido de trabalho. Além do manipulador robótico, é apresentado um ponto para servir de referência para a tocha de soldagem e o equipamento de soldagem utilizado para esse manipulador.

O manipulador é montado em uma bancada de testes. Para realizar soldagem, foi projetado um componente que será acoplada no flange na extremidade do segundo elo para prender a tocha de soldagem.

Também foi projetado um componente na estrutura do manipulador para a tocha de soldagem possuir um ponto de referência, ou seja, quando o manipulador realizar uma solda e perder a referência do cordão, esse ponto servirá para localizar novamente o ponto a ser soldado. Conforme a Figura 6, na extremidade do segundo elo (1) encontra-se o flange (4) onde está acoplado o suporte (3) com a função de prender a tocha de soldagem (2) com o eletrodo (5).



**Figura 6.** Vista em perspectiva do segundo elo com o suporte para fixar a tocha.

O ponto de referência está acoplado na estrutura do equipamento. Como o manipulador foi projetado somente com dois graus de liberdade, esse componente se localiza na mesma linha de trabalho do manipulador.

O equipamento a ser utilizado no processo de soldagem com o manipulador robótico poderá ser com a fonte de soldagem Multiprocesso Inversal 450 (Empresa Imc-Soldagem), operando com o processo MIG/MAG. Esse equipamento utiliza fontes de energia chaveadas, onde o controle da variável de soldagem desejada, o transistor atua como uma chave, interrompendo ou permitindo o fluxo de corrente pelo mesmo. O fundamento é controlar a energia do arco, abrindo ou fechando o transistor, de acordo com a diferença entre o nível real e de referência da variável controlada. Através dessa fonte existem pequenas perdas, devido à comutação dos transistores que aumentam com a frequência de operação e com uma determinada queda de tensão sobre os terminais que provoca perdas por condução.

Para a consecução de uma fonte de energia transistorizada dispõe-se de três tipos de transistores: os bipolares, que apresentam baixa queda de tensão em condução, mas necessitam de uma elevada corrente de controle, fazendo com que o circuito se torne complicado e muito dissipativo. Os transistores mosfets, sendo comandados em tensão, praticamente não consomem energia no controle, pois a corrente necessária é desprezível. Contudo, estes transistores proporcionam uma elevada queda de tensão em condução, o que os torna mais dissipativos.

Para associar as boas características de cada um desses transistores foi concebido os IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistors), que são comandados em tensão, como os mosfets, mas possuem uma baixa queda de tensão em condução como os bipolares.

## **CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Com a realização deste trabalho, notou-se que a soldagem robotizada é uma ferramenta que contribui com vários benefícios dentro de um processo produtivo, onde pode-se destacar a qualidade da solda, aumento da produtividade e redução de custos. A robotização dos processos de soldagem cada vez mais vem ganhando espaço no contexto industrial para tornar a soldagem uma técnica competitiva.

Uma característica importante no processo de soldagem robotizada está no aumento da velocidade com que se realiza a solda, apresentando um cordão com boa penetração, a zona termicamente afetada mais estreita e sem interrupções, como normalmente acontecem com a soldagem manual.

Para o processo de soldagem a ser utilizado no manipulador robótico, se identificou que a soldagem MIG / MAG era usada com maior frequência na robotização. Por ser um processo que possui uma alta taxa de deposição de material, usado para diversas espessuras, e também pela disponibilidade desse equipamento de soldagem na Universidade.

Para um processo de soldagem ser robotizado devemos considerar aspectos importantes como a fonte de energia, dando preferência para fontes com tensão constante, pois não existe variação na altura da tocha de soldagem, como acontece na soldagem manual. O sentido de soldagem deve ser observado, utilizando sempre um ângulo negativo e com a tocha sendo puxada, pois esses pontos têm grande interferência no cordão de solda.

A soldagem robotizada requer uma automação completa, por isso é importante destacar a programação de computador, pois deverá localizar o cordão de solda, possuir tempo para abertura do arco, subida da corrente, entre outras variáveis.

Como perspectivas futuras, pretende-se realizar os testes experimentais de soldagem robotizada a partir de pesquisas em conjunto com o laboratório de robótica da UNIJUÍ, onde está sendo desenvolvido o projeto dos controladores de robôs.<sup>(4,5)</sup>

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 CASTRO, E. C. de; BRUSAMERELLO, V. J. . **Comparativo de desempenho de processos de soldagem MIG robotizado x manual**. Disponível em <<http://www.mecatronicos.com.br/eventos.asp>> Acesso em 21 ago. 2004.
- 2 PARANHOS, Ronaldo. **Tendências no Desenvolvimento da Soldagem como Técnica de Fabricação**. In: 2º COBEF – Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 2003, Uberlândia, MG.
- 3 HÄRTER, I. **Projeto de um manipulador robótico acionado pneumaticamente**. Panambi: 2005. 51 f. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- 4 VALDIERO, A. C.; GUENTHER, R.; DE PIERI, E. R. **Controle de manipuladores robóticos acionados hidraulicamente**. In: VII SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS, 2003, Santos. Anais... São Paulo: ABM, 2003.
- 5 VALDIERO, A. C.; ANDRIGHETTO, P. L.; CARLOTTO, L. **Dynamic modeling and friction parameters estimation to pneumatic actuators**. In: MUSME 2005, INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MULTIBODY SYSTEMS AND MECHATRONICS, 2005, Uberlândia. Anais... Uberlândia: ABCM, 2005. 1 CD. Guoliang e Xuanyin, 2003.

# ROBOTIC WELDING PARAMETERS SYSTEMIZING<sup>1</sup>

*Genaro Marcial Gilapa  
Nilvo Oto Stahlhöfer  
Antonio Carlos Valdiero*

## **Abstract**

This work has for objective to search and gets the necessary parameters for the systems robotic of welding. The manual welding is unhealthy activity, due the irradiation, welding gases contamination. . Moreover, the manual welding depends of the welder ability to guarantee quality of the weld metal, this fact becomes attractive the automation through robots. Initially, was made a study of the best processes to optimize welding fabrication and production in a safe manner. After this study, are described the characteristics of the Robotic welding process and its influence of welding parameters to obtain a high metal weld quality. There are presented the different levels of automation until the robotics, the parameters are systemize in accordance with the process necessities and are used as requisite for the planning the trajectories to be carried through for the final robot. Moreover, obtain a series of recommendations for the development and planning of trajectories of welding robots to obtain a good weld metal. It will be used the robotic manipulator with pneumatic servo drive to make welding tests.

**Key-words:** Robotic welding; Welding; Industrial robots; Welding parameters.

<sup>1</sup> *Technical Contribution to the VIII Processes Automation Seminar by ABM (Brazilian Society for Metallurgy and Materials), Belo Horizonte, MG, Brazil, 2004, October 6-8.*