

# 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## **TÍTULO DO TRABALHO:**

**Sistema Mecanizado, Processo e Procedimentos para Reparo por Soldagem PTA-P de Dutos em Operação**

## **AUTORES:**

Régis Henrique Gonçalves e Silva, M. Eng.

Renon Steinbach Carvalho, M. Eng.

Prof. Jair Carlos Dutra, Dr. Eng.

## **INSTITUIÇÃO:**

Universidade Federal de Santa Catarina – LABSOLDA - Florianópolis - SC

*Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.*

## **Sistema Mecanizado, Processo e Procedimentos para Reparo por Soldagem PTA-P de Dutos em Operação**

### **Abstract**

Several repair or modification operations in the Oil and Gas industry are performed by means of welding, what normally requires equipment stoppages (pipes, vessels). Such downtimes implicate costs and revenue losses, besides other inconveniences caused by the interruption of supply to the clients. In the current global concurrence scenario of the sector, productive disadvantages must be minimized, like for example, through the automatization of processes. In this context the present work deals with the development of mechanized system able to perform repair of pipes whose wall has lost thickness (through corrosion) or on thin walled pipes. The welding process must therefore be able to yield deposits with low penetration, thus avoiding pipe burn-through during welding. In this way, the PTA-P (Plasma Transferred Arc – Powder feed) was selected due to its properties of quality, productivity and mainly low penetration / dilution. The system comprises a CNC robot, which displaces the welding torch, and the PTA-P welding equipment. Besides the integrated system, welding procedures for different welding positions were formulated.

### **Introdução**

A indústria de Petróleo & Gás se caracteriza pela extração, transporte, processamento, armazenamento e distribuição de fluidos. Para que essas operações se tornem possíveis são necessários equipamentos dedicados, que devem atender aos requisitos de resistência mecânica e química impostos pela natureza do produto processado e do ambiente em que estão inseridos. Sendo assim, grande parte dos dutos, vasos, válvulas e outros aparatos são fabricados em aço, com diferentes composições que se adequam às diferentes aplicações ao longo do processo produtivo. Apesar de esses materiais serem projetados para apresentar a maior vida útil possível, o desgaste é uma realidade com a qual os engenheiros têm que conviver, mantendo seu controle e mantendo níveis aceitáveis de produção. As atividades de manutenção nos casos de desgaste ou tendência ao desgaste podem ser preventivas ou corretivas. Dentro dessas operações, se tem o revestimento por soldagem, com o objetivo de aplicar camadas de material resistente sobre superfícies desgastadas ou que estejam sujeitas a solicitações mecânicas ou ataques químicos. Em determinados casos, o material aportado, com melhores propriedades e geralmente de custo bem maior, é aplicado somente na região solicitada, permitindo que o restante da peça seja fabricado em material de menor custo. O processo de soldagem a ser escolhido deve ter características que satisfaçam condições técnicas (baixa penetração e diluição, acabamento adequado, equipamento compacto e integrado) e econômicas (produtividade, baixo desperdício).

Apesar de os processos de revestimento estarem presentes em aplicações sobre vários equipamentos, o escopo deste trabalho foca a recuperação de dutos em operação (upstream e downstream) que sofrem corrosão localizada. Esta técnica evita a interrupção do processo produtivo ou da distribuição aos consumidores e os prejuízos decorrentes, como lucro cessante e distúrbios no restante da linha. Normalmente, se realizam reparos dos tubos por soldagem sem interrupção do fluxo apenas quando a parede remanescente tem 5,0 mm ou mais, devido ao risco de perfuração [1]. Entretanto, processos modernos de soldagem a arco, que impõem menor calor à peça, apresentando boa produtividade e qualidade, permitem a deposição sobre menores espessuras, de maneira que não haja perfuração da parede. Trabalhos em andamento no LABSOLDA têm abordado o processo MIG/MAG em corrente alternada (MIG CA), onde se cita que um limite de 980° C na superfície interior do tubo para que não haja perfuração. De fato, a área transversal remanescente deve suportar as tensões a ela impostas [1]. Já se obtiveram, com este processo, resultados satisfatórios em corpos de prova compostos por tubos de 2,0 mm de espessura, Fig 1.

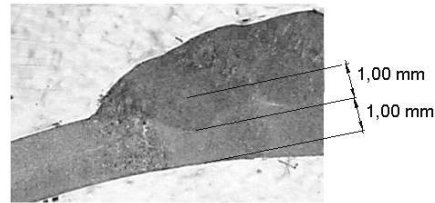


Fig. 1 – Tubo revestido por soldagem MIG CA [1].

Na busca por melhoramento contínuo das técnicas em questão se decidiu investigar também para esta aplicação o desempenho do processo de soldagem PTA-P (Plasma Transferred Arc-Powder feed). Ao processo PTA-P são atribuídas diversas vantagens em relação a outros processos de soldagem. Ele apresenta bom acabamento, com baixa rugosidade e assim menos tendência à necessidade de retrabalhos; boa produtividade e taxa de fusão, pois dispõe de alta concentração de energia; baixa penetração e diluição, baixa tendência a defeitos, como poros; e, com grande importância, tem alta flexibilidade do material a ser aportado, pois diferentes ligas podem ser elaboradas pela mistura de pós, adequando-se a novos aços dos tubos e permitindo ligas cuja fabricação em forma de arame seria problemática [2,3].

O PTA-P se é um processo a arco elétrico e eletrodo permanente, se assemelhando ao processo TIG, mais conhecido. Pela característica construtiva da tocha (Fig. 2), nota-se que a presença do bico constritor executa concentração do arco, reduzindo o diâmetro do mesmo, aumentando a densidade de corrente de soldagem.

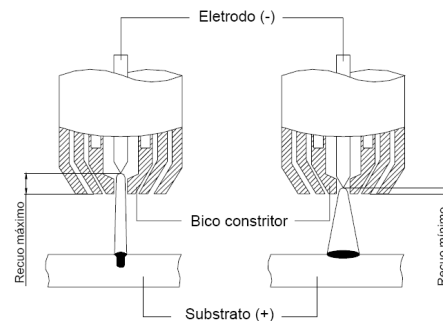


Fig. 2 – Tocha PTA-P [2].

A Fig. 3 mostra a tocha em corte e montada, evidenciando os canais do gás de proteção, gás de plasma e gás de arraste (transporte de pó).

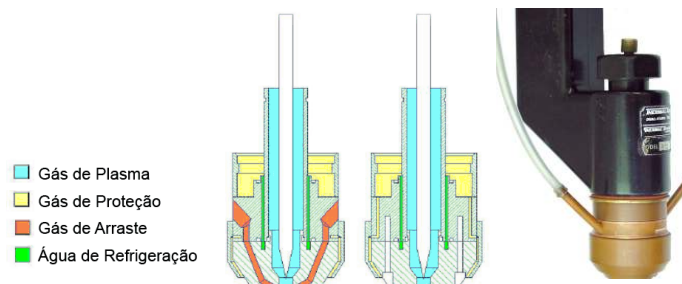


Fig. 3 – Tocha PTA-P em corte e montada [2].

Outro flanco desse trabalho se refere à busca pela automatização do procedimento de revestimento por soldagem PTA-P. A utilização de robôs, entretanto, não é a melhor opção como via geral de regra. É aconselhável o seu emprego em processos de média produção, onde se mostra mais vantajoso que a

operação manual ou a automação dedicada. No que tange à soldagem, é interessante a aplicação de sistemas robotizados principalmente pelo fato de que:

- robôs manipuladores podem realizar soldagem por longos períodos, bem como proporcionar maior produtividade, repetitividade e melhor condição de trabalho ao soldador, uma vez que esse passa a não mais atuar em um ambiente altamente insalubre [4]
- sendo o robô manipulador CNC um equipamento flexível, é factível e rápida a alteração do software de controle para a execução de tarefas distintas. Logo, além de ter maior produtividade comparada ao processo manual, atua em diferentes tarefas, seja no processo de fabricação de peças ou na manutenção,[5]) fato que não ocorre na automação dedicada.

Mesmo com o conhecimento de suas vantagens, não se encontram robôs manipuladores dedicados a soldagem com tecnologia nacional. Esse fato torna o custo de aquisição de sistemas importados extremamente elevado e pouco atrativo. O presente trabalho segue a linha de pesquisa e desenvolvimento característica do LABSOLDA, onde é almejado o surgimento de novas tecnologias e métodos para executá-las. No âmbito da tecnologia da soldagem isto é relevante para o Brasil, uma vez que os produtos mais avançados são oriundos de tecnologia estrangeira. Além disso, o desenvolvimento de tecnologia própria gera grande flexibilidade para a pesquisa, pois não se está restrito as limitações impostas por um equipamento comercial, sendo factível realizar alterações de acordo com necessidades encontradas no decorrer do projeto.

Busca-se, então, construir um manipulador CNC robótico versátil com quatro graus de liberdade, composto por três juntas prismáticas e uma rotacional, que seja facilmente adaptável a soldas em tubos. Dado que existem diversos diâmetros de tubos, o fator versatilidade é fundamental. Logo, com intercâmbio apenas do trilho de deslocamento e mantendo-se o mesmo sistema de controle, por intermédio de microcomputador, é possível a realização de diferentes tarefas de soldagem.

### Metodologia

A aplicação focada neste trabalho engloba diferentes condições de contorno para sua execução, pois as regiões corroídas de dutos de petróleo, gás e derivados podem se encontrar em diferentes posições da superfície do duto. A soldagem é um processo de grande aceitação para esta operação de manutenção, porém é sensível à posição de aplicação, devido ao fato de que existe uma poça metálica, constituída de metal líquido. Fora da posição plana, a poça apresenta tendência a escorrimento, causada pela aceleração da gravidade. Sendo assim, os parâmetros do processo, tanto de soldagem como do deslocamento da tocha realizado pelo robô, devem ser continuamente regulados ao longo da solda de acordo com as mudanças de posição, de modo que se mantenha a poça estável, sem escorrer.

Uma bancada foi projetada e construída com vistas à flexibilidade quanto ao posicionamento dos corpos de prova (CPs), simulando diferentes posições de soldagem, sejam elas plana, vertical, horizontal e sobre-cabeça. Seu funcionamento pode ser visto na Fig. 4. Após a determinação dos parâmetros, soldou-se sobre um duto de 410,0 mm de diâmetro e 15,0 mm de espessura.



Fig. 4 – Mesa para posição plana, sistema de deslocamento automático em dois eixos, tocha de soldagem, suporte de CPs para soldas nas posições vertical, horizontal e sobre-cabeça.

Foram utilizados CPs em aço SAE 1020, dimensões de 150,0 x 100,0 x 12,0 mm, fixados por grampos ao suporte. O material de aporte foi o Inconel 625, liga de Ni em pó, com faixa granulométrica de 53-150 microns. Para determinação dos procedimentos de soldagem partiu-se do procedimento para posição plana, já disponível, e foram então variados os parâmetros corrente de soldagem, vazão do gás de plasma, vazão de pó, vazão do gás de arraste, amplitude de tecimento, frequência de tecimento e velocidade de soldagem para cada posição. Argônio puro foi utilizado para todos os gases do processo. O sistema de movimentação é um é um manipulador CNC robótico com quatro graus de liberdade. Cada junta tem função específica no processo de soldagem, Fig. 5, a saber:

- Junta prismática X: realiza o deslocamento axial no tubo com a velocidade de soldagem especificada.
- Junta prismática Y: responsável pelo tecimento (200,0 mm);
- Junta prismática Z: ajuste da distância bico de contato peça (DBP) (42,0 mm);
- Junta rotacional A: ângulo de ataque da tocha de soldagem ( $\pm 50^\circ$  em relação a normal da superfície).

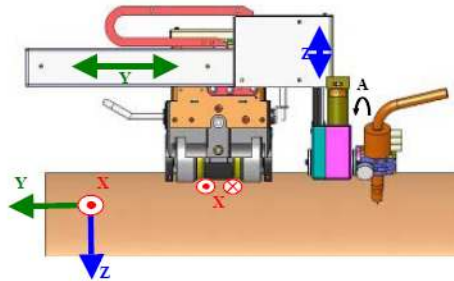


Fig. 5 – Eixos do robô CNC.

Com a análise da estrutura e dos movimentos realizados pelo robô manipulador, partiu-se para a pesquisa de um método de controle similar ao empregado em equipamentos CNCs baseados em microcomputadores. O objetivo de tal linha de pesquisa foi elaborar IHMs (Interface Homem-Máquina) mais intuitivas, facilitar a interação com softwares de CAD (Computer Aided Design), possibilitando assim o planejamento de trajetórias complexas sem que haja dificuldade de programação. O estudo de controladores que preenchessem os requisitos fundamentais do projeto, cominou na escolha do controlador denominado Mach3 [6]. Outro ponto relevante no desenvolvimento do projeto, foi a implementação de um sistema de servo acionamento CC. Esse sistema de acionamento proporcionou a redução de problemas relacionados com vibrações e ruídos, problemas esses comuns em um acionamento tradicional com motores de passo, Fig. 6. Com o emprego de realimentação de posição e velocidade, o sistema eletrônico de controle do movimento dosa a corrente fornecida ao motor, tendendo manter os parâmetros desejados mesmo que forças externas e/ou perturbações atuem no manipulador. Outro ponto a considerar é a maior velocidade alcançada por servo motores CC. Pode-se assim adicionar uma redução em sua saída. Com tal redução, a inércia refletida sobre o eixo do motor diminui consideravelmente, aumentando a carga máxima que o mesmo consegue deslocar. Em suma, o emprego desse sistema de acionamento acarreta na diminuição do peso e ruídos do equipamento, e aumenta a velocidade de deslocamento e melhora a rampa de aceleração.

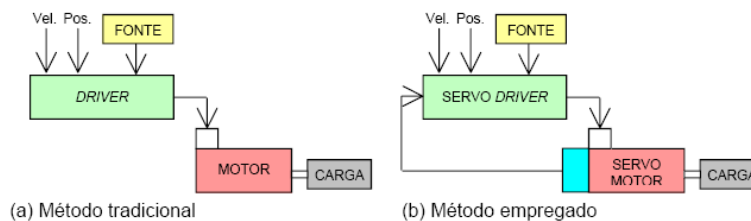


Fig. 6 – Sistemas de acionamento

## 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

Todo o conjunto de acionamento do manipulador é dividido em 4 partes na Fig. 7: Unidade de controle, IHM touchscreen, trilho para soldagem orbital, e manipulador.



Fig. 7 – Sistema manipulador.

### Resultados e Discussão

Os ensaios objetivaram, a princípio, a obtenção de uma boa qualidade do acabamento superficial. Para a posição plana, cuja solda está na Fig. 8a, a Tab 1. mostra a regulagem mais adequada:

Tab. 1 – Procedimento para a posição plana.

COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN
Corrente	180	A	<b>ADP</b>			<b>GASES</b>		
<b>TARTÍLOPE</b>			Rotação	10	rpm	Plasma	2	l/min
Tecimento	Trapez.		<b>TOCHA</b>			Proteção	15	l/min
Amplitude	20	mm	Ang. pó	60	°	Arraste	4	l/min
Frequência	0.5	Hz	DBP	9,5	mm			
Veloc. Solda S	10	cm/min	Recuo El.	2,5	mm			

Já para a posição sobre-cabeça foi necessária uma redução na intensidade de corrente e velocidade de soldagem e maior vazão de pó. Com isso, se obteve maior viscosidade da poça, mantendo-a estável, sem escorrer. Os parâmetros estão na Tab. 2 e a os cordões resultantes, na Fig. 8b. O segundo cordão apresenta desvio transversal, pois a chapa estava pré-aquecida. Próximos ensaios serão realizados com refrigeração, mantendo-se as condições constantes.

Tab. 2 – Procedimento para a posição sobre-cabeça:

COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN
Corrente	150	A	<b>ADP</b>			<b>GASES</b>		
<b>TARTÍLOPE</b>			Rotação	20	rpm	Plasma	2	l/min
Tecimento	Trapez.		<b>TOCHA</b>			Proteção	15	l/min
Amplitude	20	mm	Ang. pó	60	°	Arraste	4	l/min
Frequência	0.5	Hz	DBP	9,5	mm			
Veloc. Solda S	6	cm/min	Recuo El.	2,5	mm			

A posição vertical descendente também exigiu menor corrente, por outro lado a velocidade de soldagem se manteve em 10 cm/min, pois o sentido de escorrimento da massa líquida está no eixo do próprio cordão de solda. Houve aumento na amplitude do tecimento, com a finalidade de se obter maior espalhamento (largura) do material, com maior transferência de calor para o substrato e assim menor fluidez da poça. Os dados estão na Tab. 3 e a foto das soldas, na Fig. 8c.

Tab. 3 – Procedimento para posição vertical descendente.

COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN	COMP.	VALOR	UN
Corrente	150	A	<b>ADP</b>			<b>GASES</b>		
<b>TARTÍLOPE</b>			Rotação	10	rpm	Plasma	2	l/min
Tecimento	Trapez.		<b>TOCHA</b>			Proteção	15	l/min
Amplitude	20	mm	Ang. pó	60	°	Arraste	4	l/min
Frequência	0.7	Hz	DBP	9,5	mm			
Veloc. Solda S	10	cm/min	Recuo El.	2,5	mm			

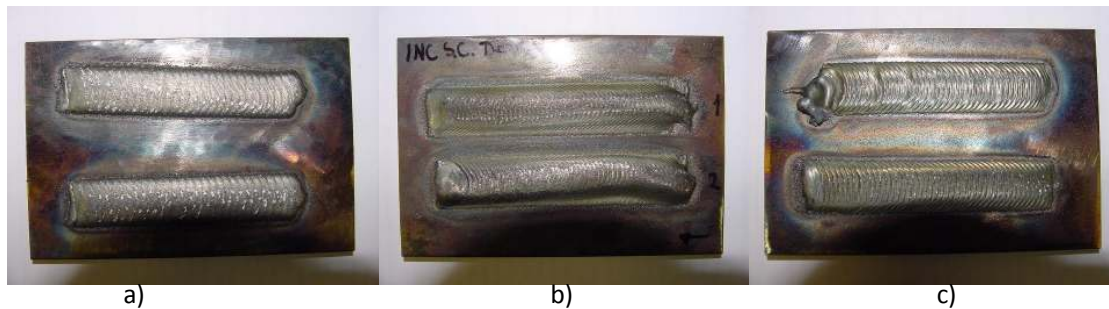


Fig. 8 – Soldas nas posições a) plana; b) sobre-cabeça; c) vertical descendente.

O trilho projetado e construído possibilitou fixação adequada sobre o duto utilizado nos experimentos. Assim, os procedimentos anteriormente levantados foram transpostos ao duto, ao longo de sua circunferência. A Fig. 9 mostra a tocha montada no robô sobre o duto, posicionado para a solda na posição plana (arco piloto aberto) e para a posição vertical descendente e sobre-cabeça.

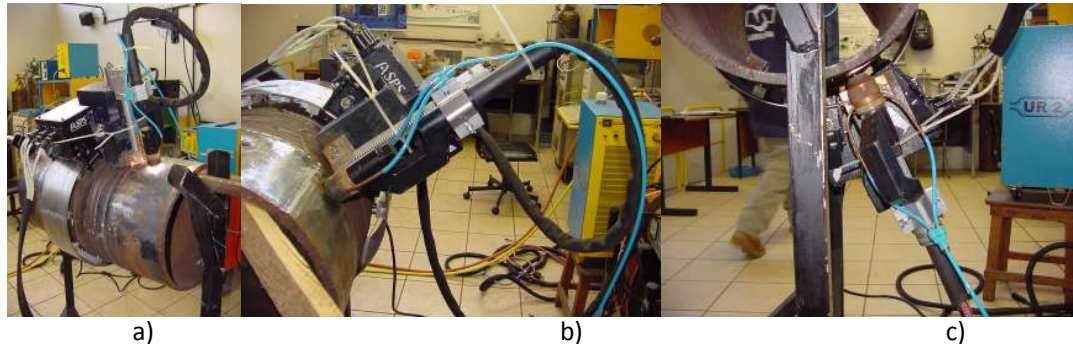


Fig. 9 – Tocha PTA-P montada no robô para soldagem orbital na posição a) plana; b) vertical descendente e c) sobre-cabeça.

Apesar de o robô, conjuntamente com o equipamento de soldagem, ter apresentado comportamento adequado, repetindo as condições simuladas com o outro sistema de deslocamento sobre a bancada flexível, houve discrepâncias nos resultados obtidos. Nas posições plana e sobre-cabeça, aparentemente ocorreu diferença na dissipação térmica (devida, provavelmente, à geometria e material), ocorrendo penetração excessiva para a primeira e escorrimento da poça metálica para a segunda. Assim, o início da solda mostrava resultados promissores, mas perdia qualidade ao longo do trajeto. Na posição vertical descendente, houve, além de maior penetração, também deslizamento do robô sobre o trilho, acarretando em irregularidade na velocidade tangencial de soldagem. Os cordões estão na Fig. 10.

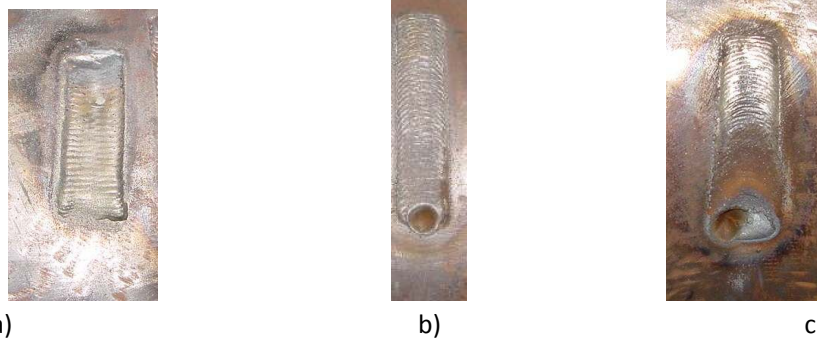


Fig. 10 – Soldas sobre o duto, depositados com o robô orbital: (a) plana; b) vertical; c) sobre-cabeça.

## Conclusões

Os benefícios que a automatização pode inserir na recuperação de dutos em operação foram observados ao se transportar os procedimentos dos CPs para o duto. Os processo PTA-P desenvolvido pode ser utilizado em soldas orbitais, com boas características de aporte de material em todas as posições. O robô apresenta as possibilidades de regulagem e características dinâmicas do seu acionamento mecânica necessárias para o processo PTA-P orbital.

Por outro lado, alguns aspectos devem ser considerados para que haja um refino do processo como um todo. Deve ser considerado o maior peso da tocha PTA-P em relação a tochas MIG, o que pode estimular o escorregamento do robô sobre o trilho na posição vertical. Neste sentido, providências mecânicas estão sendo tomadas no sentido de eliminar esta tendência, pelo uso de uma correia perfilada acoplada ao trilho, que aumentará o atrito com as rodas, também perfiladas. Quanto aos procedimentos de soldagem para diferentes posições, estes deverão ser aprimorados sobre o próprio duto (CPs), considerando a geometria e o material a ser revestido.

Pequenas alterações no software de controle do robô também são sugeridas, como o armazenamento de pontos mesmo após alterações de parâmetros e possibilidade de correções nos parâmetros durante a trajetória.

## Agradecimentos

Os autores apresentam seus agradecimentos, pela colaboração financeira, à ANP, através de seu Programa de Recursos Humanos PRH e ao MECPETRO (PRH-09).

## Referências Bibliográficas

- [1] dos Santos, T. F. Soldagem MIG com Corrente Alternada MIG CA. 2008. 101f.. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
- [2] Diaz, V. V. Inovação do Equipamento e Avaliação do Processo Plasma de Arco Transferido Alimentado com Pó (PTAP) Para Soldagem Fora de Posição. 2005. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
- [3] Huang, X. et. al. Applications of PTA Powder Welding in Petroleum Chemical Industry. Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Thermal Spray Conference. Nice, maio 1998.
- [4] Broering, C. E. Desenvolvimento de Sistemas para a Automatização da Soldagem e do Corte Térmico. 2005. 96f. (Dissertação de mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
- [5] Sciavicco, L.; Siciliano, B. Modelling and Control of Robot Manipulators. Second Edition. Springer. London. 1999.
- [6] ART SOFT. Using Mach3 Mill. Disponível em: <[http://www.machsupport.com/documentation/M3M1\\_84-A2.pdf](http://www.machsupport.com/documentation/M3M1_84-A2.pdf)>. Acesso em: 15 de setembro de 2007.