



IBP1799_08

DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO PARA A SOLDAGEM ORBITAL

Renon Steinbach Carvalho¹, Jair Carlos Dutra², Nello Gauze Bonacorso³

Copyright 2008, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008*, realizada no período de 15 a 18 de setembro de 2008, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008*.

Resumo

No cenário petrolífero nacional, as linhas dutoviárias apresentam um elevado custo, sobretudo pelo alto tempo gasto em sua construção. Assim, otimizações nesta operação se tornam deveras atrativas. Sendo que uma das formas de melhoria nessa tarefa é a automatização do processo de soldagem.

Nesse contexto torna-se interessante o emprego de um robô manipulador destinado à soldagem orbital. No mercado internacional encontram-se soluções dedicadas que atendem as restrições relacionadas principalmente com a facilidade de manuseio e dimensões. Entretanto, o fato desses manipuladores serem provenientes de tecnologia estrangeira torna seus custos de aquisição e manutenção elevados.

O referido projeto visa criar subsídios para a maior eficiência na tarefa de união de dutos através do desenvolvimento de um manipulador robótico. Entretanto é evidente que somente o projeto de tal manipulador não garante a qualidade do passe de raiz. Dessa maneira, está sendo estudada também a utilização do processo MIG (*Metal Inert Gas*), através da parametrização do CCC (Curto-Circuito Controlado) de modo a se ter um processo de soldagem robusto. O CCC monitora o processo de soldagem e atua quando há detecção de curto-circuito. É obtido então maior controlabilidade do passe de raiz e drástica redução da quantidade de salpicos.

Abstract

On the national oil scenario, the pipelines have a high cost, specially on the long time spent on its construction. Thus, this transaction optimizations become highly attractive. A form of improvement this task is to automate the process of welding. In this context it is interesting the use of a robot manipulator for the orbital welding. In the international market, there are dedicated solutions that meet the restrictions associated mainly with the ease of handling and dimensions. However, since these manipulators use foreign technology this makes the acquisition and maintainance costs high. The project aims to create subsidies for greater efficiency in the task of union of pilelines through the development of a robotic manipulator. However it is clear that only the design of such a handler does not guarantee the quality of the root pass. Therefore, it is also being studied the use of the process MIG (Metal Inert Gas), through parameterization of CCC (Short-circuit Controlled) in order to have a robust process of welding. The CCC monitors the process of welding and acts when there is detection of short circuit. It is obtained then higher pass from scratch controllability and drastically reduces the amount of spray.

1. Introdução

O desenvolvimento de equipamentos nacionais para a automação da soldagem, salvo poucas exceções, encontra-se em um patamar tecnológico muito inferior quando comparado à produtos de procedência estrangeira. Assim, a construção de um manipulador para a soldagem proporciona maior desenvolvimento nacional, pois não se fica concentrado apenas na utilização de equipamentos existentes no mercado. Isto é relevante para o Brasil, uma vez que o

¹ Mestrando, Estudante – LABSOLDA - UFSC

² Doutor, Supervisor Geral – LABSOLDA - UFSC

³ Doutor, Professor – LAHP – CEFET/SC

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.

É sabido que equipamentos dedicados a uma única tarefa apresentam custos mais elevados de desenvolvimento. O objetivo então, é construir um manipulador CNC (Comando Numérico Computadorizado) com quatro graus de liberdade, três lineares e um rotacional, com versatilidade de adaptação para soldas em dutos e paredes planas ou curvas. Desta maneira, pretende-se manter um sistema único de controle, baseado em microcomputador, e por intermédio de pequenas mudanças mecânicas será possível a realização de diferentes tarefas de soldagem.

Em resumo, o desafio é elaborar um manipulador robótico compacto, com flexibilidade de adaptação às diversas formas de superfície, com uma interface intuitiva que proporcione uma operação simples para o usuário. Pretende-se aumentar a produtividade, com um estudo sobre a potencialidade de diferentes processos de soldagem e não apenas com o emprego do sistema automatizado. Assim, deseja-se trabalhar com diferentes processos de soldagem (MIG convencional, MIG pulsado, MIG com pulsação térmica e Plasma com adição de pó), bem como novas técnicas de soldagem que estão sendo desenvolvidas, por exemplo o CCC (Curto Circuito Controlado).

O foco principal de atuação do referido manipulador robótico, no primeiro momento, é o setor energético. Basicamente o equipamento é destinado à automatização da união de dutos para a construção de linhas dutoviárias. Com a adaptação de um trilho com base magnética, poderá ser utilizado para a soldagem de paredes curvas, como por exemplo, em paredes de reservatórios e na instalação de *lining* em unidades de destilação.

Com o aumento da eficiência na soldagem de dutos, o tempo de construção de uma linha dutoviária será reduzido drasticamente. Isso proporcionará grande redução nos custos relacionados principalmente com o aluguel de equipamentos e mão de obra. Haverá também uma melhoria nas condições de trabalho dos soldadores, dado que os ambientes em questão geralmente são insalubres. As vantagens no que diz respeito aos gastos, tempo de execução e condições de trabalho do operador também são observadas para a soldagem de *lining*.

Outro ponto importante é o fato do equipamento proposto ser um robô manipulador CNC flexível e não um projeto de automação dedicada. Logo, seu emprego não fica restrito às tarefas apresentadas, podendo ser utilizado em distintas tarefas industriais e em pesquisas de instituições de ensino. O referido projeto vem então atuar em conjunto com as pesquisas realizadas sobre processos de soldagem, a fim de viabilizar novos métodos de fabricação e manutenção.

2. Antecedentes e Fundamentação Teórica

Cada vez mais os serviços de fabricação e reparo de peças devem ser realizados em menor tempo, além de melhoria na qualidade. Com isso o custo final de produção é reduzido significativamente. Nesse contexto, fica evidente que a utilização de robôs colabora para o alcance de tais metas. Pires et al. (2006) relatam que a utilização de robôs 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 campo da soldagem, existem fatores fundamentais que sustentam a implementação de sistemas robotizados em determinadas tarefas, dentre eles:

- Pela abordagem de Broering (2005), 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;
- Sciavicco e Siciliano (1999) citam que robôs manipuladores são equipamentos flexíveis, 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, fato que não ocorre na automação dedicada.

Mesmo com as vantagens supra citadas, são raros os robôs manipuladores com tecnologia nacional dedicados a soldagem. Esse fato inibe consideravelmente o emprego da automação da soldagem, dado que o custo de aquisição de um equipamento importado é extremamente elevado e pouco atrativo. Como exemplos de possíveis atuações de robôs para a automação da soldagem no panorama brasileiro citam-se: união de dutos, revestimento de torres de processamento de óleo pesado e recuperação de tubos de paredes de caldeiras de usinas termelétricas.

No cenário petrolífero nacional as linhas dutoviárias apresentam um elevado custo, sobretudo pelo alto tempo gasto em sua construção, onde se incluem alugueis de equipamentos na ordem de dezenas de milhares de dólares por dia. Assim, otimizações nesta operação se tornam deveras atrativas para as empresas contratantes e executoras de serviços.

Diversas referências (Silva, 2005; Yapp e Blackman, 2004) indicam que atualmente grande parte das soldas de passe de raiz na união de dutos é realizada com o processo de eletrodo revestido e de forma manual, como pode ser visto na Figura 1. Esse fato explica-se, sobretudo, pela tradição, desconhecimento da possibilidade de emprego do processo MIG (*Metal Inert Gas*) e falta de relação eficiente entre o soldador e o engenheiro que busca introduzir um novo processo.

Para a otimização da união de dutos, apenas o desenvolvimento de um robô manipulador não garante produtividade e qualidade. É fundamental ter um processo de soldagem robusto. Assim, além do robô manipulador estuda-se o CCC como opção para a execução da tarefa. Esse sistema monitora o processo de soldagem e atua quando há detecção de curto-circuito. É obtido então maior controlabilidade do passe de raiz e drástica redução da quantidade de salpicos, fatos estes facilmente percebidos por intermédio da Figura 2.

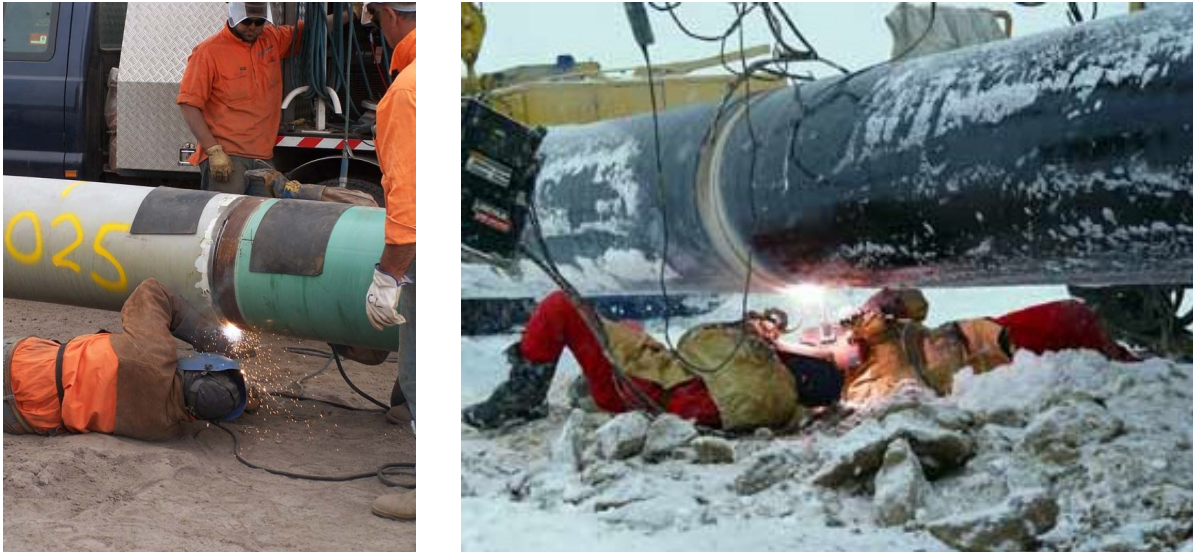


Figura 1. Soldagem de linhas dutoviárias.

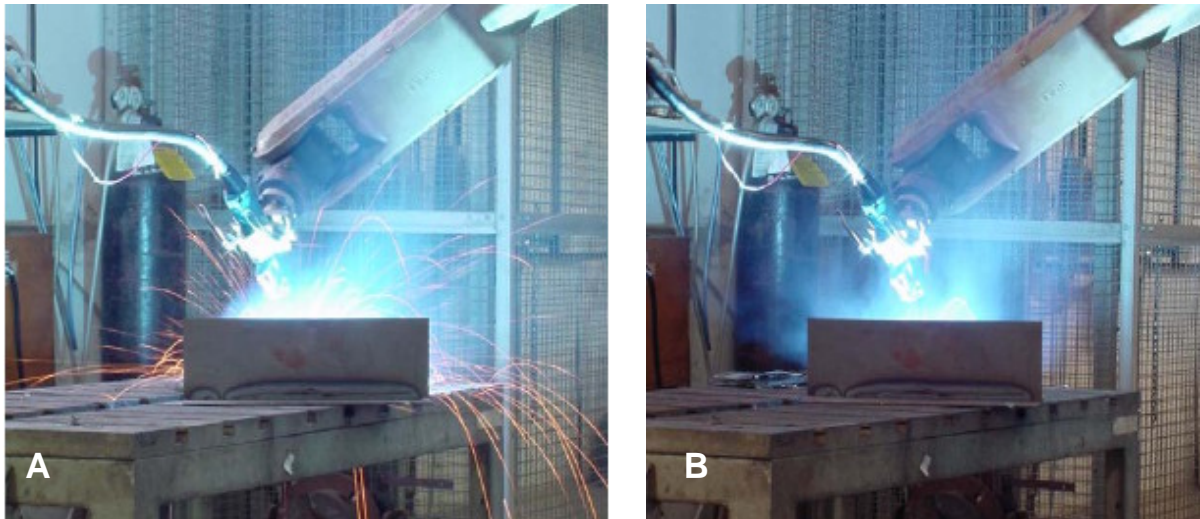


Figura 2. Em (A) MIG/MAG convencional por curto-circuito e em (B) CCC.

A robotização da soldagem, além de proporcionar maior repetitividade e maior agilidade nos trabalhos, abre caminho para que a indústria utilize processos de soldagem com maior produtividade. Esses processos em muitos casos são de difícil implementação, pois os soldadores são resistentes à mudança, preferindo continuar trabalhando com os processos que já estão habituados.

3. Materiais e Métodos

3.1 Manipulador para Soldagem Orbital

O LABSOLDA vem há anos desenvolvendo manipuladores para a soldagem e embasado nos conhecimentos alcançados em projetos com um e dois graus de liberdade, deu-se início ao desenvolvimento de um manipulador com quatro graus de liberdade, Tartilope V4. Esses quatro graus de liberdade são necessários devido a complexidade de operação em superfícies curvas. A Figura 3A mostra que no referido manipulador, cada junta tem função específica no processo de soldagem, a saber:

- Junta prismática X: realiza o deslocamento em torno do duto com a velocidade de soldagem especificada. O alcance é ilimitado;
- Junta prismática Y: responsável pelo seguimento da junta a ser soldada. Possui um deslocamento máximo de 200 mm;
- Junta prismática Z: ajuste da distância bico de contato peça (DBP). Apresenta um deslocamento máximo de 42 mm;
- Junta rotacional A: deslocamento angular em torno da junta prismática X ou Y, com o objetivo de regular o ângulo de ataque da tocha de soldagem. É possível um giro de $\pm 50^\circ$ em relação a normal da superfície a ser soldada.

Em geral os ambientes que o manipulador é destinado, são de difícil acesso. Logo, é primordial que o painel de controle do equipamento acompanhe a filosofia de ser o mais compacto possível. A solução adotada foi conceber e instalar uma eletrônica de acionamento, servo *drivers* e placas de isolamento, no interior do Tartilope V4, conforme Figura 3B.

A referidas placas de isolamento são indispensáveis para garantir a confiabilidade de funcionamento do manipulador. Isso porque o processo de soldagem gera grande quantidade de ruídos, os quais são nocivos aos circuitos eletrônicos sem isolamento.

Todo o desenvolvimento do manipulador foi focado na flexibilidade de funcionamento. Assim, é factível que o equipamento seja utilizado não apenas para a soldagem orbital, como também para a soldagem de superfícies curvas, por exemplo na instalação de *lining* em torres de processamento de óleo pesado. Outra característica que evidencia o caráter modular aplicado no desenvolvimento do Tartilope V4, é o fato de sua junta angular poder ser ajustada de acordo com a tarefa, para rotacionar em torno da junta prismática X ou Y.

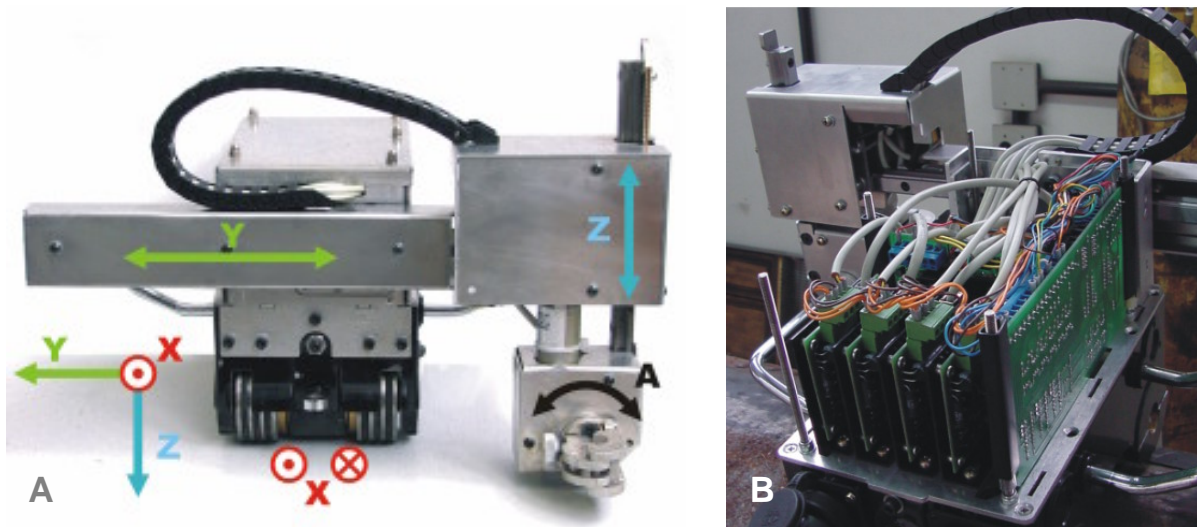


Figura 3 – (A) Juntas do Tartilope V4 e em (B) o seu interior.

Nessa linha de pesquisa sobre soldagem orbital, é evidente que um manipulador automatizado é de grande auxílio. Entretanto, a soldagem MIG para união de dutos, principalmente no que diz respeito ao passe de raiz, é algo complicado. O primeiro ponto causador dos empecilhos é o fato de que durante a soldagem orbital tem-se todas as posições de soldagem (plana, sobre-cabeça, vertical descendente e ascendente), o que torna fundamental o ajuste de parâmetros para cada setor, bem como a transição entre eles. Outro fator crítico está no fato de se efetuar a soldagem sem o emprego de *backing*, sendo que esse é instalado no interior da tubulação a fim de prover uma espécie de suporte ao cordão de solda. A utilização de *backing* proporciona maior confiabilidade na soldagem MIG orbital, além de gerar

elevação da repetitividade. O problema em sua utilização está no fato de que os dutos a serem unidos apresentam geralmente 6 m de comprimento, o que dificulta a sua instalação.

Com o intuito de amenizar os problemas de instalação de *backing*, o LABSOLDA estuda o desenvolvimento de um manipulador robótico que percorra o interior dos dutos e instale o *backing* automaticamente. Tal manipulador trabalharia em sincronismo com o Tartilope V4, sendo de grande valia na execução do passe de raiz. O LABSOLDA considera então que, com o desenvolvimento desses dois manipuladores e com o aprimoramento do CCC, teria uma metodologia confiável e robusta para a soldagem de união de dutos. Isso certamente proporcionará um avanço significativo na construção de linhas dutoviárias no cenário petrolífero nacional.

3.2 Controlador

Juntamente com a concepção mecânica, buscou-se a definição do método de controle a ser empregado. Tal método deveria seguir as características de adaptabilidade, para assim poder ser empregado aos dois protótipos. Pretendia-se também ter uma interface gráfica para a operação. Nesse contexto, optou-se por controlá-lo de forma similar a um equipamento CNC (Comando Numérico Computadorizado). Com isso ganhou-se uma IHM (Interface Homem-Máquina) mais intuitiva, além de facilidade de integração com *softwares* de CAD (*Computer Aided Design*), possibilitando assim o planejamento de trajetórias complexas sem que haja dificuldade de programação.

A solução mais plausível, considerando, tanto recursos, quanto custo, foi o controlador denominado Mach3. De acordo com ArtSoft (2008), tal controlador não apresenta *hardware* e sim um programa que roda em ambiente Windows, comunicando-se com o mundo externo através da porta paralela. Sendo assim, caso haja necessidade de um maior número de entradas/saídas, basta instalar portas paralelas sobressalentes.

A Figura 4 mostra a tela básica de comando do Mach3, a qual apresenta funções principais como no item 1 a barra principal com as opções de configuração do *software*. Em 2, tem-se o programa em código G a ser executado. Em 3 encontra-se a posição atual dos eixos, além da possibilidade de referenciá-los. Em 4 as trajetórias a serem realizadas. Em 5 o controle do processo, com opções de *start*, *stop*, *load G code*, *edit G code*, entre outros.



Figura 4. Tela de comando Mach3.

Esta tela é genérica e destinada para a operação de fresamento. Entretanto é factível a elaboração de interfaces destinadas à determinada aplicação. Este procedimento de construção de novas interfaces é realizado por intermédio de um *software* auxiliar. A Figura 5 traz uma tela, destinada ao processo de soldagem, em desenvolvimento. A implementação desta nova interface não fica restrita somente a alterações de *layout*. Ela torna factível a programação de funções específicas para diferentes tarefas.



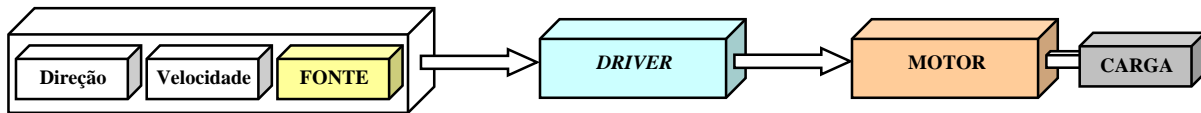
Figura 5. Tela de comando em desenvolvimento.

3.3 Acionamento

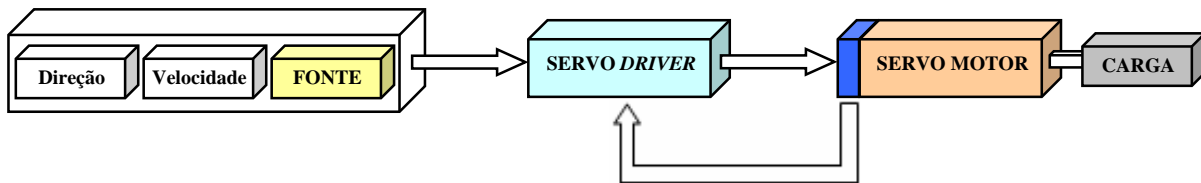
Os sistemas de soldagem automáticos mais simples e flexíveis, encontrados no mercado, são acionados por motores de passo ou motores CC. Estes sistemas fazem uso de uma malha de controle conforme a Figura 6A. Ou seja, tais equipamentos não apresentam realimentação de posição e de velocidade, dado esse fato não há garantia que a trajetória desejada seja executada corretamente. Outros problemas relacionados principalmente com motores de passo são as vibrações e ruídos provenientes, sobretudo de suas características construtivas.

Com o intuito de reduzir drasticamente os problemas de vibração e ruídos, e dar confiabilidade à realização das trajetórias programadas, foi desenvolvido um sistema de acionamento em malha fechada com servo motor CC, de acordo com a Figura 6B.

Uma vez utilizado essa forma de acionamento, passou a ser factível a adição de uma redução na saída do motor. Logo, a inércia refletida sobre o eixo do motor diminui consideravelmente. Como grande ganho teve-se a possibilidade de selecionar servo motores menores, havendo diminuição no volume, massa e corrente consumida.



(a) Método tradicional



(b) Método proposto

Figura 6. Sistemas de acionamento.

3.4 Diagrama de Funcionamento

O conjunto de acionamento do Tartilope V4 é dividido em três partes, tendo sua representação mostrada no diagrama geral do sistema por intermédio da Figura 7, onde cada uma representa:

1. Painel elétrico de comando: é constituído pela fonte de alimentação e o circuito elétrico lógico de intertravamento responsável pela segurança do sistema;

2. Periféricos: são os componentes diretamente ligados com o controle do robô. Entre eles: computador, interface homem-máquina e a fonte de soldagem;

3. Manipulador: formado pela estrutura mecânica do manipulador, além de placas para o isolamento de sinais, servo *drivers*, servo motores e os sensores de *home* e limites das juntas, que também constituem a lógica de acionamento.

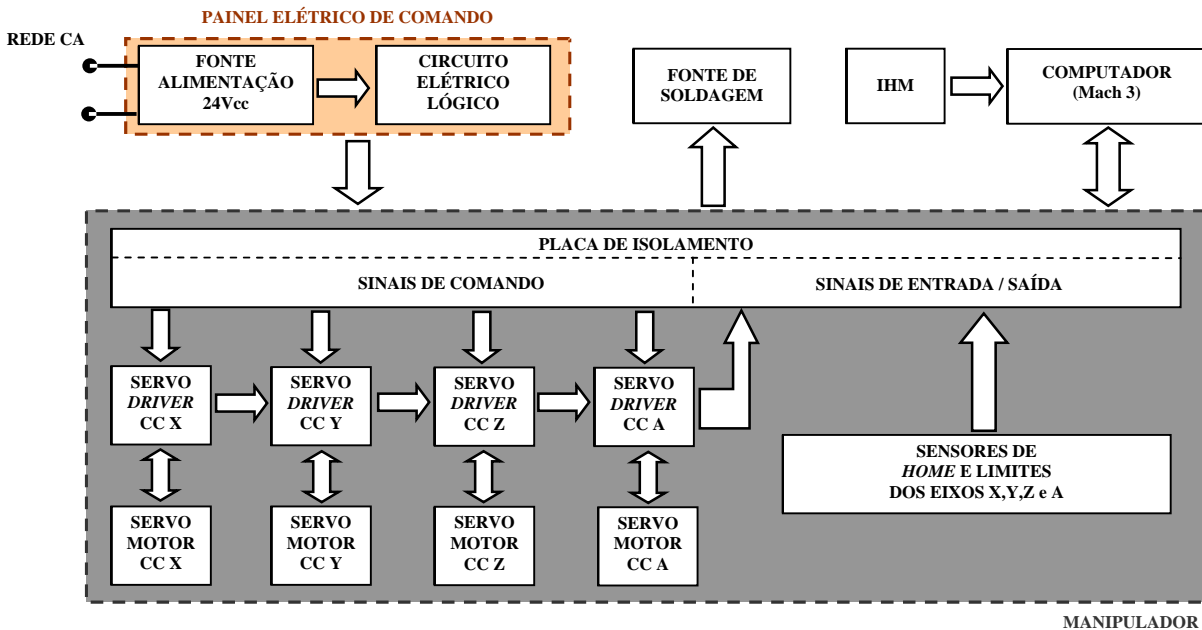


Figura 7. Diagrama de funcionamento do Tartflope V4.

4. Resultados e Discussão

O desenvolvimento do projeto encontra-se na parte de integração entre mecânica, eletrônica, programação e controle. Foram realizados testes iniciais de soldagem na posição plana e com o emprego do processo MIG convencional, a fim de avaliar o funcionamento entre todos os sistemas. Os resultados foram satisfatórios, sendo que o manipulador mostrou-se robusto e confiável, mesmo trabalhando-se em condições adversas, como por exemplo, soldagem na posição vertical.

Como o intuito nessa etapa era de verificar todo o funcionamento do sistema, em alguns momentos, erros foram impostos para assim confirmar a eficácia do circuito de intertravamento. Esse atuou de forma eficiente, e desligou todo o equipamento e a fonte de soldagem na ocorrência de qualquer erro. Isso é fundamental, pois elimina a probabilidade de danos à peça que está sendo soldada caso haja algum erro.

Cabe salientar que o desenvolvimento do Tartflope V4 é uma evolução de outro sistema de deslocamento criado pelo LABSOLDA, o qual possui dois graus de liberdade e é denominado de Tartflope V2. Deste modo, é pertinente que a avaliação de alguns resultados alcançados até o presente momento seja comparado com seu antecessor.

Inicialmente foram automatizadas mais duas juntas de deslocamento, uma para ajuste da distância bico de contato peça e a outra com o ângulo de ataque da tocha de soldagem na superfície a ser soldada. Houve aqui diminuição significativa no tempo de posicionamento adequado para a soldagem.

O sistema de acionamento foi reprojetoado, migrando-se de um acionamento em malha aberta e com motores de passo para um servo acionamento em malha fechada através de servo motores CC. Assim teve-se uma redução da quantidade de ruídos e vibrações geradas durante a operação. Como resultado direto obteve-se cordões com melhor continuidade. Outro ponto fundamental dessa alteração na forma de acionamento é a confiabilidade. Anteriormente havendo algum problema em um dos dois eixos o sistema continuava funcionando, o que poderia acarretar em danos na peça que estivesse sendo soldada. Agora qualquer falha, seja no acionamento ou no controle, desliga automaticamente o manipulador e a fonte de soldagem, paralisando assim a operação o que evita possíveis estragos.

Outra mudança significativa foi à alteração do sistema de controle. O Tartflope V2 utiliza um microcontrolador e um *software* desenvolvido pelo próprio laboratório. Tal fato é vantajoso por proporcionar total domínio sobre a

tecnologia, entretanto torna a evolução mais lenta, uma vez que não existe um grande número de pessoas envolvidas em aprimoramentos. Para o Tartilope V4 foi selecionado um controlador CNC, denominado Mach3, que utiliza um computador convencional como plataforma de controle. Com esse sistema a implementação de novas funções torna-se mais rápida, dado que existe uma rede de suporte ao mesmo.

5. Conclusão

O desenvolvimento de um robô manipulador para a soldagem orbital de dutos e de superfícies curvas está totalmente incorporado na metodologia de trabalho do LABSOLDA. Isto porque busca suprir uma carência científica e tecnológica existente no país por intermédio da integração de variadas áreas de conhecimento (projeto mecânico, eletrônico, sistemas de controle e acionamento elétrico, robótica, metrologia e soldagem).

Até o ponto atual o desenvolvimento é satisfatório, posto que os testes efetuados em campo mostraram bons resultados. Assim, é viável a continuidade do projeto buscando transformar o protótipo em produto e alcançar melhorias para a soldagem orbital. Nesse sentido, tem-se como sugestão a troca do microcomputador convencional por um sistema de controle embarcado, o que reduziria significativamente o tamanho do mesmo. Também é fundamental aperfeiçoar a IHM para torná-la ainda mais simples e intuitiva. Já a construção de um robô manipulador auxiliar que entre no duto e fixe o *backing* acarretará em um grande avanço na tecnologia de automação soldagem nacional, visto que não se tem conhecimento do desenvolvimento de um manipulador com essas funções.

Quanto à estrutura mecânica existem diversos pontos deficientes a serem aperfeiçoados em um segundo protótipo. A avaliação desse primeiro protótipo indica que o centro de massa do equipamento deve ser deslocado ao máximo para o entre eixos. Assim, espera-se maior repetitividade no deslocamento, devido ao melhor equilíbrio entre as forças envolvidas durante a execução de uma tarefa de soldagem. É necessária também a substituição da fixação atual por uma destinada a robótica. Deste modo, podem-se ter maiores deslocamentos nas juntas, postos que um dos problemas atuais é a acomodação dos fios, os quais são relativamente grossos e com pouca flexibilidade.

Este trabalho também poderá servir como base para futuras pesquisas no que tange à tecnologia da soldagem, seja na parte de desenvolvimento de novos processos ou em novos métodos para a automação da soldagem. Um bom exemplo é o desenvolvimento de um sistema para o controle de altura da tocha de soldagem. Esse sistema certamente traria muitas vantagens para a soldagem, posto que tende a proporcionar maior estabilidade ao arco elétrico no transcorrer da realização do cordão de solda. O aumento da estabilidade reflete-se diretamente na melhoria da qualidade do cordão. Outro exemplo é a integração de sistemas CAD/CAM na determinação das trajetórias de soldagem principalmente no corte de metais por intermédio dos processos de oxicorte e plasma. Com essa integração é factível que o manipulador trabalhe como uma fresadora CNC, ou seja, o equipamento além de realizar a soldagem passaria a fazer operações de corte com excelente resolução e confiabilidade.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), ao LABSOLDA e ao LAPROSOLDA – UFU (Laboratório para o Desenvolvimento de Processos de Soldagem – Universidade Federal de Uberlândia) pelo suporte técnico, ao PRH-09 (Programa de Recursos Humanos) da ANP (Agência Nacional do Petróleo) pelo suporte financeiro.

7. Referências

- ART SOFT. Using Mach3 Mill. Disponível em: http://www.machsupport.com/documentation/M3M1_84-A2.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2008.
- BROERING, C. E. Desenvolvimento de Sistemas para a Automatização da Soldagem e do Corte Térmico. Fev. 2005. 96p. Dissertação de mestrado. Dept. de Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2005.
- PIRES, J. N.; LOUREIRO, A.; BOLMSJÖ, G. Welding robots: technology, system issues and applications. Springer. London. 2006.
- SCIAVICCO, L.; SICILIANO, B. Modelling and Control of Robot Manipulators. Second Edition. Springer. London. 1999.
- SILVA, R. H. G. Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz. Fev. 2005. 113p. Dissertação de mestrado. Dept. de Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2005.
- YAPP, D.; BLACKMAN, S. A. Recent developments in high productivity pipeline welding. J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng., Jan./Mar. 2004, vol.26, no.1, p.89-97