

Sistema Integrado para Aquisição de Sinais e Controle Diferenciado de Processos de Soldagem

(An Integrated System for Data Monitoring and Differentiated Control of Welding Processes)

Guilherme Locatelli¹, Jair Carlos Dutra¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. locatelli@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br

Resumo

O trabalho descreve o desenvolvimento de uma plataforma de controle e monitoramento de processos de soldagem a arco que proporciona versatilidade e eficiência no estudo científico da tecnologia da soldagem. O sistema implementado é capaz de executar diferentes modalidades de soldagem, bem como, promover alterações substanciais nas lógicas de funcionamento das mesmas de maneira simples e didática. Dentre as inovações promovidas pelo desenvolvimento deste sistema está a possibilidade de se desenhar formas de onda de corrente de soldagem para o processo MIG/MAG, permitindo, desta forma, aprofundar estudos relacionados à transferência metálica, e, como consequência disto, apresentar inovações tecnológicas para o referido processo. A plataforma de controle e monitoramento desenvolvida foi estruturada de forma a estar apta para absorver novas tecnologias, permitindo sua atualização juntamente com a evolução dos processos de soldagem. Neste contexto, o sistema em questão se apresenta como uma alternativa de significativo potencial para estudos relacionados à soldagem, em instituições de ensino e pesquisa dentro e fora do país.

Palavras-chave: Controle de Forma de Onda. Controle de Processos de Soldagem. Monitoração de Processos de Soldagem.

Abstract: The paper describes a monitoring and control platform development for arc welding processes, which provides versatility and efficiency in the scientific study of the welding technology. The implemented system is capable of execute different welding processes, and promotes substantial logical operation changes with simple and didactic way. Among the innovations promoted by the system development is the ability to draw MIG/MAG welding processes current waveforms, allowing metal transfer studies related, and, as a consequence of this, make technology innovations in this process. The monitoring and control platform has been developed to be able to absorb new technologies, allowing upgrades along the welding processes evolution. In this context, this system is a significant potential alternative to welding studies related, in a educational and research institutions within and outside the country.

Keywords: Waveform Control. Welding Processes Control. Welding Processes Monitoring.

1. Introdução

Apesar dos processos de soldagem a arco terem se consolidado há mais de meio século, muitas versões modernas dos mesmos, que atualmente já tem utilização comercial, eram à época da origem do processo, tidas como impossíveis de serem viabilizadas. Este é o caso do MIG/MAG em corrente alternada ou, como alguns denominam, MIG/MAG com corrente contínua de dupla polaridade. A impossibilidade de existência de tal versão do processo MIG/MAG era porque o arco se extinguia nas mudanças de polaridade. Mesmo se este problema de extinção fosse resolvido, por intermédio de sistemas de picos de tensão (ou como normalmente são designados de sistemas de alta frequência), o processo só seria factível na transferência metálica em vôo livre. Isto deve ao fato de que na transferência por curto-circuito há a necessidade de picos de corrente no momento

do contato físico entre gota e poça de fusão. É claro que seria impossível evitar a coincidência da corrente indo a zero nas mudanças de polaridade com a necessidade dos citados picos de corrente. Entretanto, com o advento das novas tecnologias de soldagem, permitidas pelo avanço da eletrônica de potência e de controle, surgiram as chamadas transferências metálicas controladas, nas quais as gotas se transferem de maneira sincronizada com as formas de onda reguladas nos equipamentos de soldagem. Isto então tornou factível a citada modalidade de soldagem em CA.

Também se utilizando de transferências metálicas controladas surgiu o processo STT (Surface-Tension-Transfer) [1], que é uma solução comercial, do fabricante de fontes de soldagem Lincoln Electric, para passes de raiz. Este processo é derivado do já consolidado MIG/MAG convencional com transferência metálica por curto-circuito, apresentando, como fundamental diferença no seu princípio de funcionamento, a imposição de um formato de onda de corrente pré-estabelecido pelo equipamento. A imposição de corrente no processo STT, juntamente com o monitoramento em tempo real da tensão entre bico de contato

(Recebido em 22/06/2008; Texto Final em 06/09/2008).

e peça, faz com que a fonte de soldagem controle, de forma síncrona, a transferência metálica, além de garantir, até certo ponto, um diâmetro de gota constante e a redução significativa da quantidade de respingos. Assim como no processo MIG/MAG CA, a tecnologia STT somente se tornou factível com os avanços nos sistemas de controle e de potência, que viabilizaram a aquisição de sinais, o processamento de dados e a atuação dos circuitos de saída da fonte de soldagem em velocidades significativamente elevadas.

Como se pode observar, a medida que a eletrônica de potência e os sistemas de controle e monitoramento de sinais evoluem, surgem novas possibilidades na inovação dos processos de soldagem, induzindo as instituições de pesquisa a diversificarem sua atuação em um ritmo cada vez mais intenso. No entanto, laboratórios universitários e centros tecnológicos voltados ao estudo da tecnologia da soldagem, muitas vezes se vêem limitados a equipamentos comerciais, que são totalmente voltados à indústria e não permitem manipulações significativas em seus princípios de funcionamento. A arquitetura fechada destes equipamentos acaba por comprometer avanços científicos significativos, ou condiciona os mesmos a conceitos pré-estabelecidos por fabricantes.

Além disso, uma instituição de pesquisa necessita investir uma respeitável soma de recursos financeiros para possuir

algumas das variantes dos processos de soldagem, pois, cada uma delas exige um equipamento específico. Como uma maneira de solucionar este inconveniente foi desenvolvida uma plataforma de controle de processos de soldagem a arco, do qual este trabalho tem o objetivo de descrever.

2. Desenvolvimento da plataforma de pesquisa em novas técnicas de soldagem a Arco

A plataforma desenvolvida, denominada de Sistema Avançado de Controle (SAC), foi implementada com objetivo de ter fácil comunicação com o usuário e ao mesmo tempo uma elevada flexibilidade do ponto de vista de operação, possibilitando ao pesquisador a execução de intervenções relativamente complexas nos diferentes processos de soldagem de forma rápida e eficiente. O SAC também foi estruturado para que seja capaz de absorver novas tecnologias, permitindo, dessa forma, a sua contínua evolução de acordo com as necessidades de cada centro de pesquisa e desenvolvimento [2].

Para contar com tais características a plataforma foi estruturada como é ilustrado na Figura 1. A *Interface com o Usuário*, além de ter a função de configuração das diferentes modalidades de soldagem, possui também o papel de exibir a aquisição de sinais em tempo real.

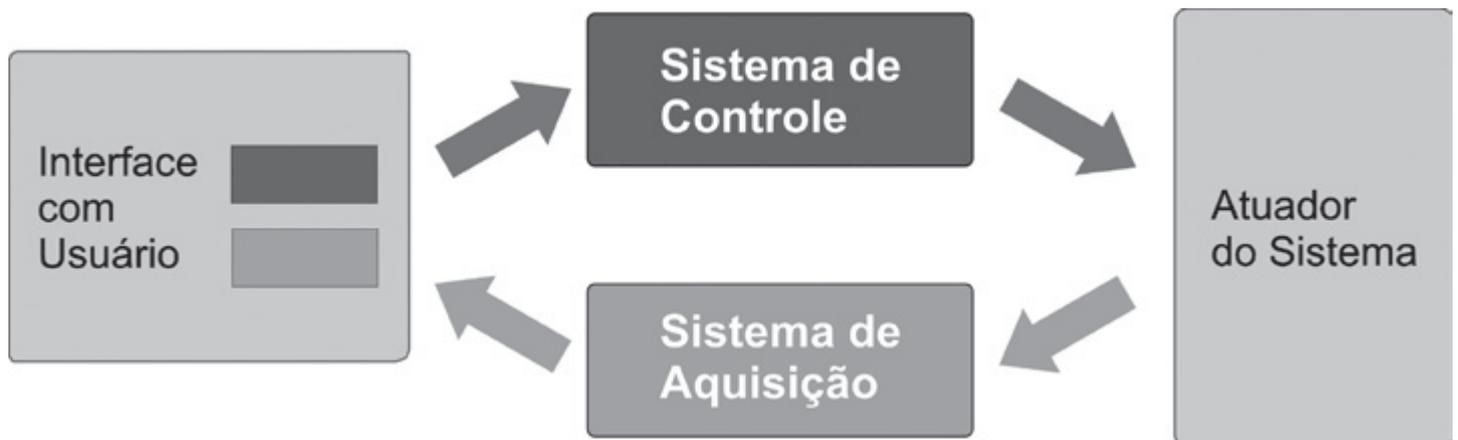


Figura 1. Disposição Conceitual do Sistema Avançado de Controle.

Os comandos fornecidos pelo operador, por intermédio da *Interface com Usuário*, são decodificados pelo *Sistema de Controle* da plataforma que, por sua vez, age sobre o atuador do sistema, a fonte de soldagem. Por outro lado, o *Sistema de Aquisição* faz as leituras das variáveis de soldagem e as exibe novamente ao usuário por meio da mesma interface.

Embora, diferentes soluções tecnológicas possam ser utilizadas para a concepção deste sistema, a primeira geração do mesmo, Figura 2, utiliza dois microcomputadores que se comunicam por meio de suas portas seriais. A CPU 1 é responsável pela interface com o usuário e a CPU 2 é responsável pela aquisição de sinais e controle. O *atuador* do sistema é a fonte de soldagem Inversal 450, inteiramente desenvolvida no próprio laboratório e, portanto, de amplo conhecimento de toda equipe.

A utilização de duas CPU's para concepção do SAC advém do fato de se necessitar de dois sistemas operacionais diferentes na atual plataforma, o MS-Windows e o MS-DOS. O sistema operacional MS-DOS apesar de ultrapassado nos dias atuais no âmbito dos computadores pessoais, possui ferramentas para tratamento de processos em tempo real altamente funcionais, e que até os presentes dias é utilizado em sistemas embarcados. No entanto, a interface com o usuário oferecida pelo MS-DOS deixa a desejar em flexibilidade e agilidade no manuseio, o que dificulta a implementação de funções de manipulação dos processos de soldagem e de navegação do sistema como um todo.

Para contornar as restrições de interface com o operador impostas pela plataforma MS-DOS, optou-se em implementar tal interface no sistema MS-Windows, amplamente conhecido

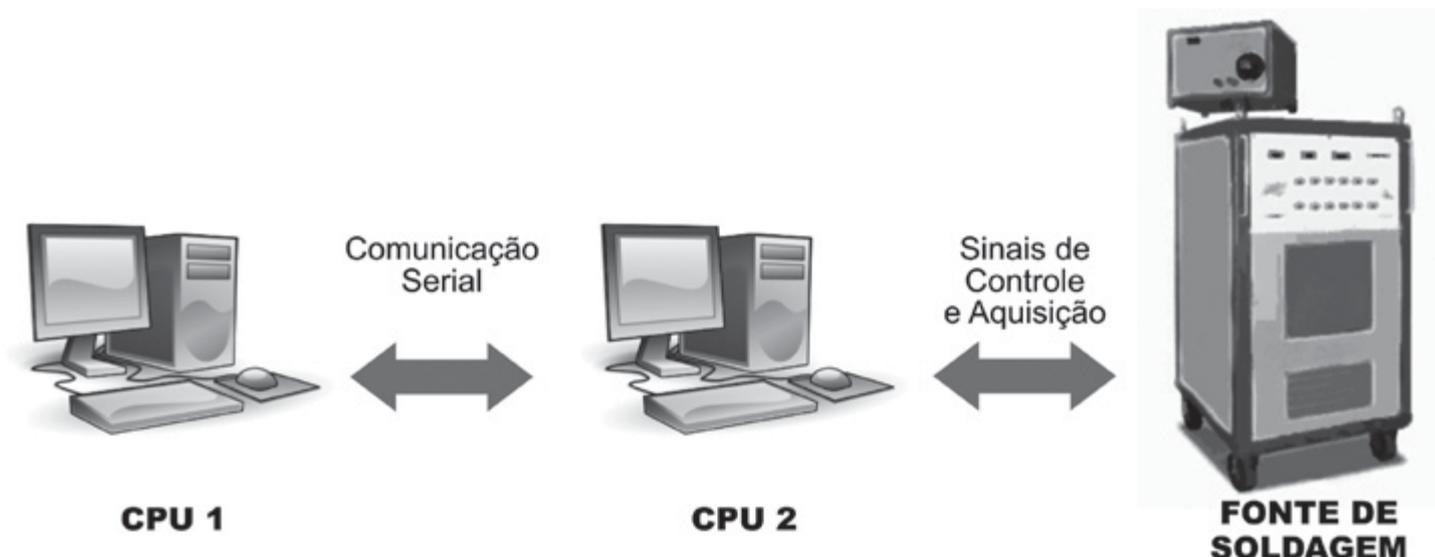


Figura 2. Disposição Física do Sistema Avançado de Controle

da maior parte dos usuários de PC's, e que dispõe de um apoio significativo de softwares para a concepção de unidades de gerenciamento de dados e manipulação de variáveis. Entretanto, o MS-Windows apresenta significativas dificuldades em intervenções de hardware, ou seja, o sistema operacional em questão não disponibiliza, de forma relativamente simples, ferramentas de auxílio a programação e implementação de

sistemas em tempo real, aspecto extremamente necessário para o efetivo controle dos processos de soldagem.

Dessa maneira, a alternativa adotada para aliar os benefícios de ambos os sistemas operacionais, bem como facilitar o desenvolvimento do Sistema Avançado de Controle, foi a utilização de duas unidades de processamento, como já mencionado. A unidade gerenciada pelo MS-Windows com a

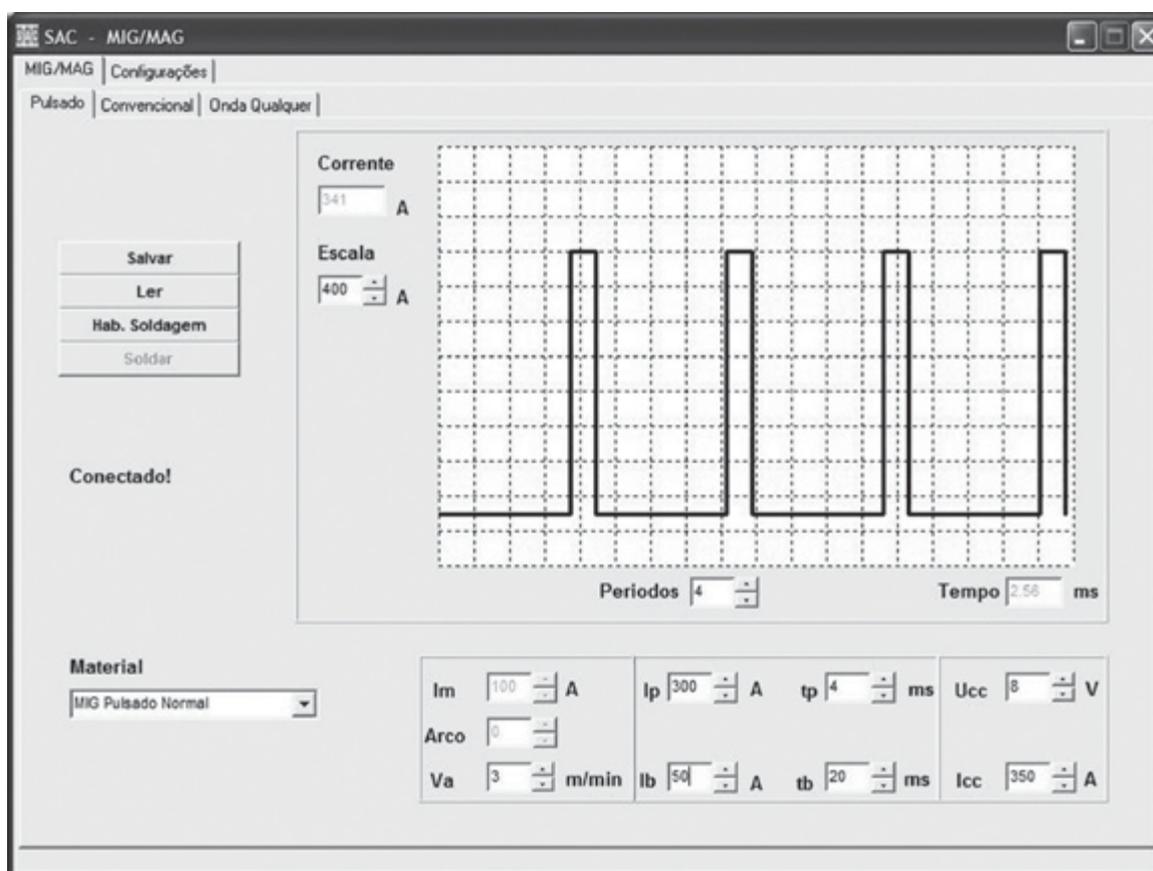


Figura 3. Interface do Processo MIG/MAG Pulsado no Sistema Avançado de Controle

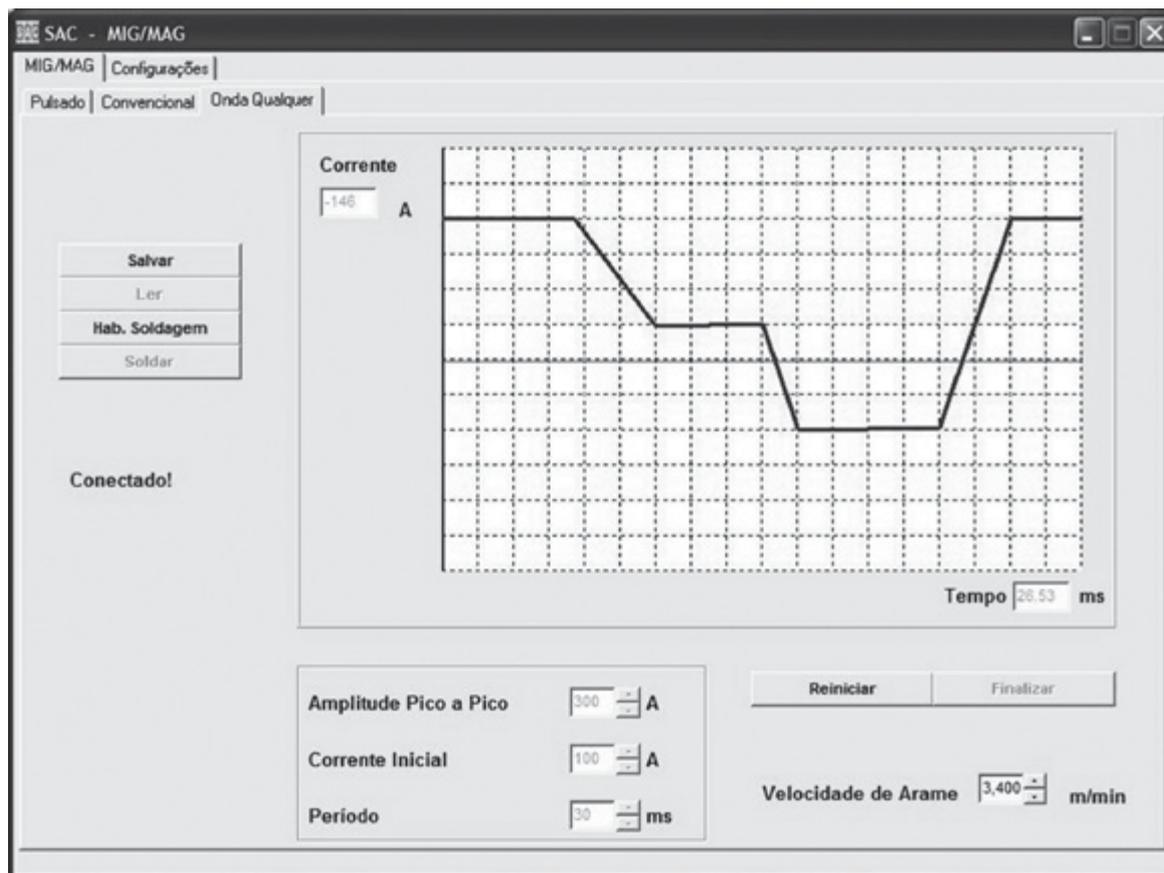


Figura 4. Interface para o Desenho de Formas de Onda do Sistema Avançado de Controle.

responsabilidade da interface com o usuário e a manipulação de variáveis dos processos de soldagem, e a CPU que se utiliza do sistema operacional MS-DOS com a função de gerenciamento das rotinas de controle e pela aquisição de sinais.

2.1. Interface com o Usuário (CPU 1)

O software responsável pela interface com o usuário foi implementado sobre a estrutura oferecida pelo Borland C++ Builder, que proporciona um layout de construção de plataformas de controle adequado para as intenções do SAC.

A interface com o usuário foi concebida com dois modos de operação, a manipulação convencional das variáveis das modalidades de soldagem e a intervenção nos princípios de funcionamento dos processos por meio de desenhos de formas de onda.

A interface de manipulações convencionais das variáveis de cada processo disponibiliza o acesso aos parâmetros das modalidades de soldagem de maneira similar ao que se tem em painéis de equipamentos encontrados comercialmente. A Figura 3 ilustra a interface desenvolvida para o processo MIG/MAG Pulsado no Sistema Avançado de Controle.

O segundo modo de operação do SAC, ou seja, a interface desenvolvida para o desenho de formas de onda, Figura 4, permite ao operador manipular livremente a corrente de soldagem ao seu total critério, viabilizando o estudo do comportamento dos processos perante variações significativas de seus formatos

de onda. Esta característica atribui ao Sistema Avançado de Controle um diferencial significativo para com bancadas de ensaios convencionais utilizadas em centros de pesquisa e ensino, onde, nas já mencionadas bancadas, regularmente se encontra limitações na manipulação dos processos de soldagem e pouca liberdade de intervenções nos princípios de funcionamento dos mesmos.

Por outro lado, o livre desenho de formas de onda de corrente implica em permitir ao operador impor condições não factíveis de funcionamento a um determinado processo de soldagem processo. A versatilidade oferecida pelo SAC, quando não utilizada coerentemente, pode levar um processo à instabilidade, ou até mesmo à inoperância. Neste sentido, a fonte de soldagem, desenvolvida para operar como atuador do sistema, é dotada de circuitos que monitoram o processo de soldagem em tempo real, com objetivo de verificar possíveis extinções de arco, promovendo a reignição do mesmo a partir de circuitos apropriados. Sabe-se, no entanto, que não são apenas extinções de arco os problemas que podem ser causados por formas de onda de corrente mal dimensionadas. Entretanto, espera-se do usuário, de uma ferramenta de tamanho potencial como o SAC, conhecimentos mínimos da tecnologia da soldagem para que o mesmo possa editar formas de onda coerentes com as necessidades de cada processo.

Em ambos os modos de operação do SAC, o software responsável pelas rotinas de controle impõe ao atuador do sistema as formas de onda para cada processo, sejam elas

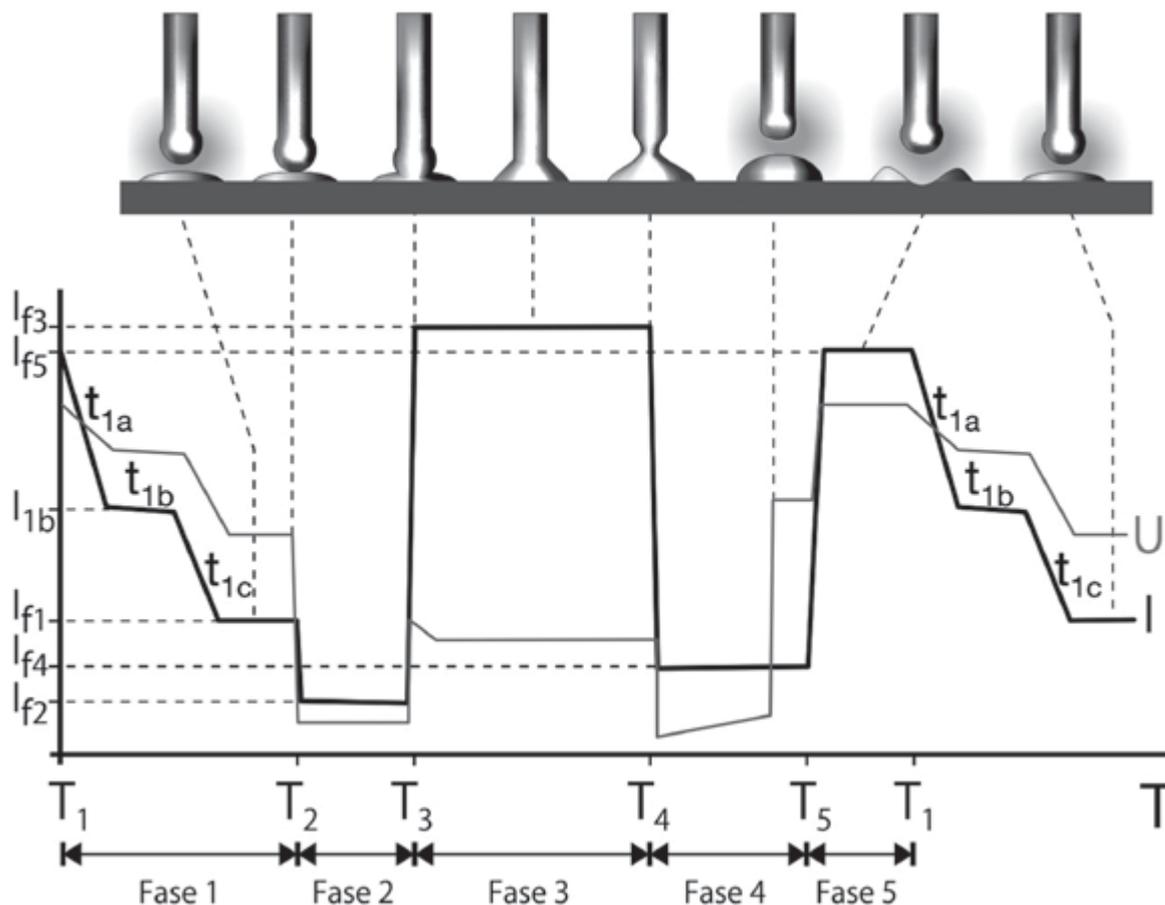


Figura 5 – Forma de onda do processo Curto-Circuito Controlado.

convencionais ou criadas à critério do usuário. A salvo por lógicas de controle auxiliares como detecção de eventuais curto-circuitos e acionamento de relés de disparos, por exemplo, o código implementado para estes processos não recebe qualquer outro tipo de realimentação da fonte de soldagem, podendo ser identificado praticamente como um sistema apenas de comando.

No entanto, no âmbito das modalidades de soldagem com transferência metálica controlada necessita-se, em geral, de monitoramento das variáveis do processo em tempo integral. A dependência existente entre parâmetros de soldagem e condições instantâneas do processo faz com que seja necessário um canal de realimentação permanente entre a fonte de soldagem e os softwares de controle do sistema. Neste sentido, foram desenvolvidas no SAC características diferenciadas de funcionamento e controle para a implementação de processos de soldagem especiais, como o CCC (Curto-Circuito Controlado), por exemplo, que possui características similares ao STT e encontra-se em fase de aperfeiçoamento e estudos avançados de suas características no laboratório.

O processo de soldagem CCC foi desenvolvido, assim como o STT, a princípio, como uma alternativa para passes de raiz. A tentativa de se desenvolver um processo de soldagem específico para esta aplicação advém do fato de que a modalidade MIG/MAG convencional, por comando de tensão, não permite ao operador a ação direta sobre a corrente de soldagem, ou seja, os

parâmetros disponíveis para a manipulação do processo (tensão, velocidade de arame/eletrodo e indutâncias) tornam a referida corrente uma consequência do arranjo destas variáveis. Há de se mencionar também, a dependência da corrente com as condições em que a soldagem está sendo executada, isto é, distância de contato bico-peça, velocidade de soldagem, frequência e formato de tecimento, entre outras. A preocupação em torno da corrente de soldagem é justificada pelo fato de que a mesma, é a principal responsável pela fusão do arame/eletrodo e, como consequência direta, uma variável determinante do processo [3]. A falta de alternativas para a ação direta sobre sua amplitude dificulta o controle do depósito na raiz, podendo gerar falhas e até inviabilizar determinadas aplicações. Neste contexto, desenvolveu-se o CCC como um processo por comando de corrente, ou seja, apesar de a transferência metálica ainda ocorrer devido a fenômenos similares aos que promovem o destacamento das gotas no processo MIG/MAG convencional, a fonte de soldagem impõe patamares de corrente diferenciados ao longo de um período, Figura 5. Os referidos patamares de corrente estão sincronizados com as etapas da transferência metálica, desde a formação da gota, passando pelo estriccionamento da mesma, até o completo destacamento. Há também, neste formato de onda, o compromisso com a redução da quantidade de respingos, requisito que é alcançado devido aos baixos níveis de corrente impostos ao processo no momento do estabelecimento do curto-circuito e na reabertura do arco [4].

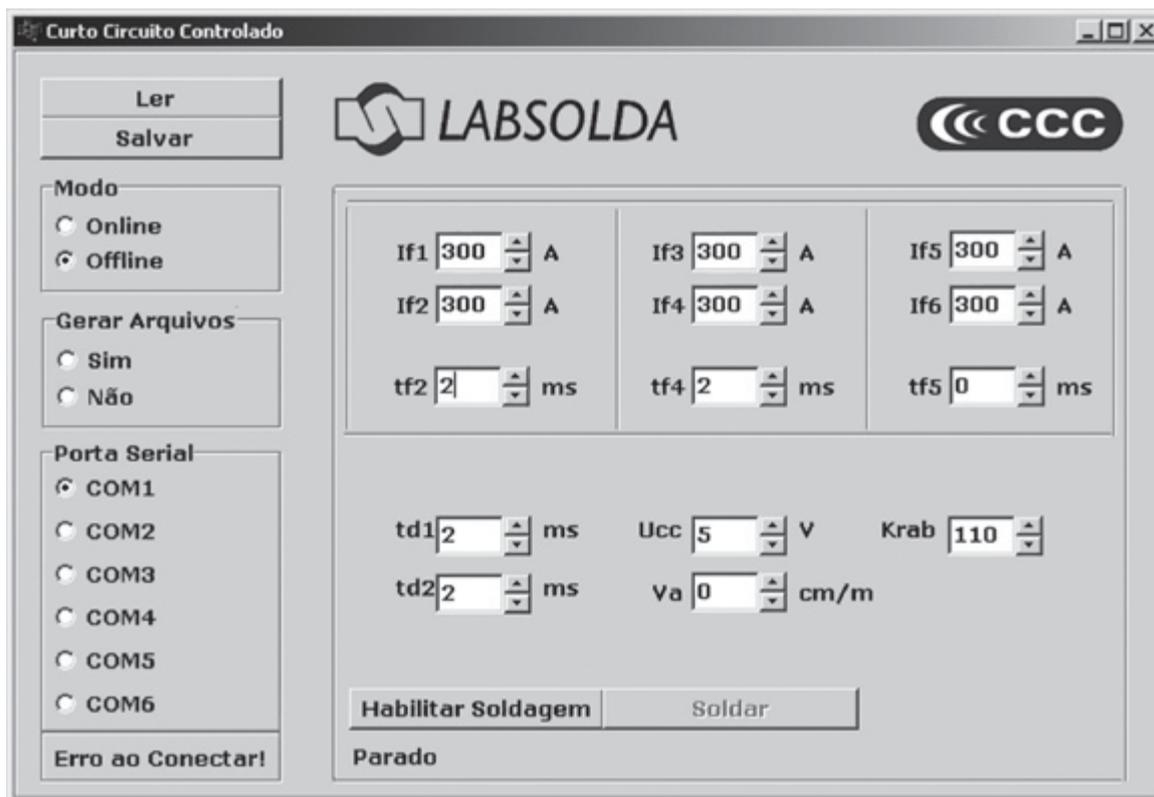


Figura 6. Interface do processo Curto-Circuito Controlado

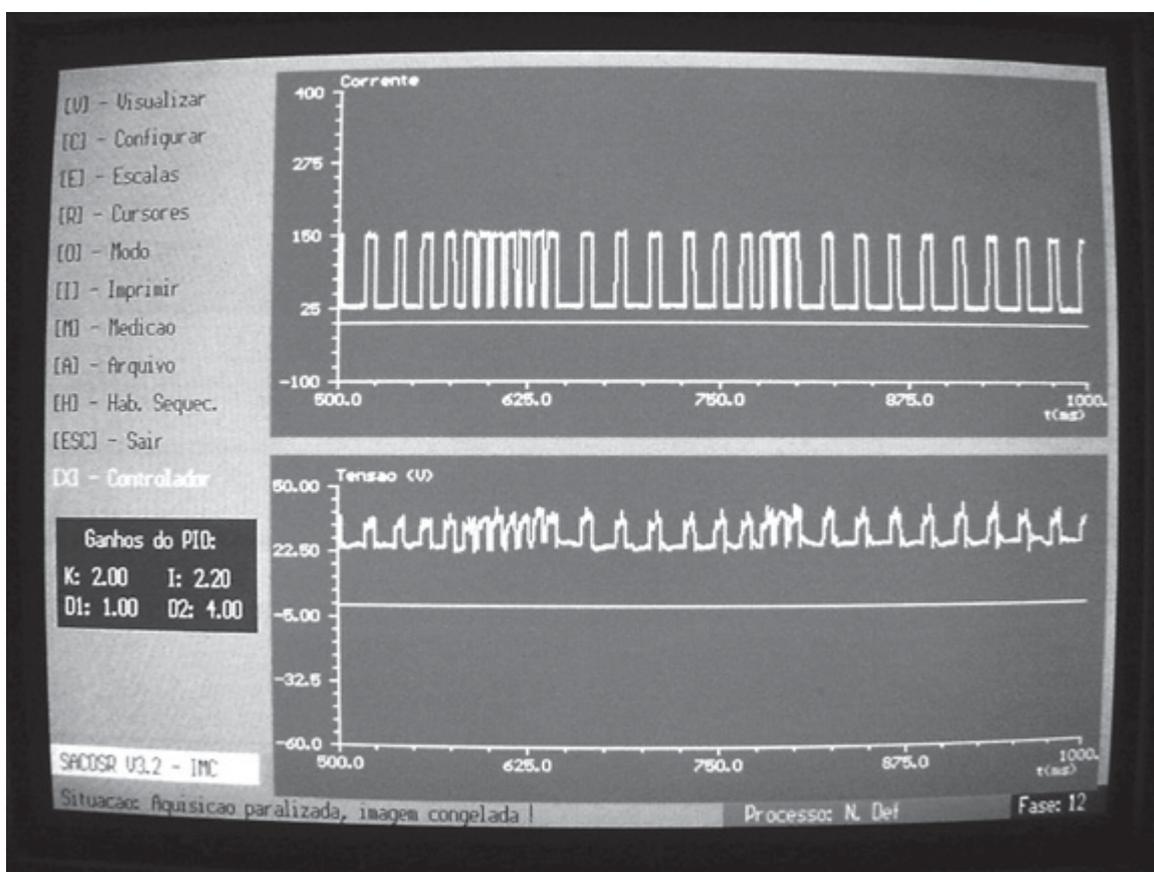


Figura 7. Amostra de uma Aquisição de Sinais feita no SAC

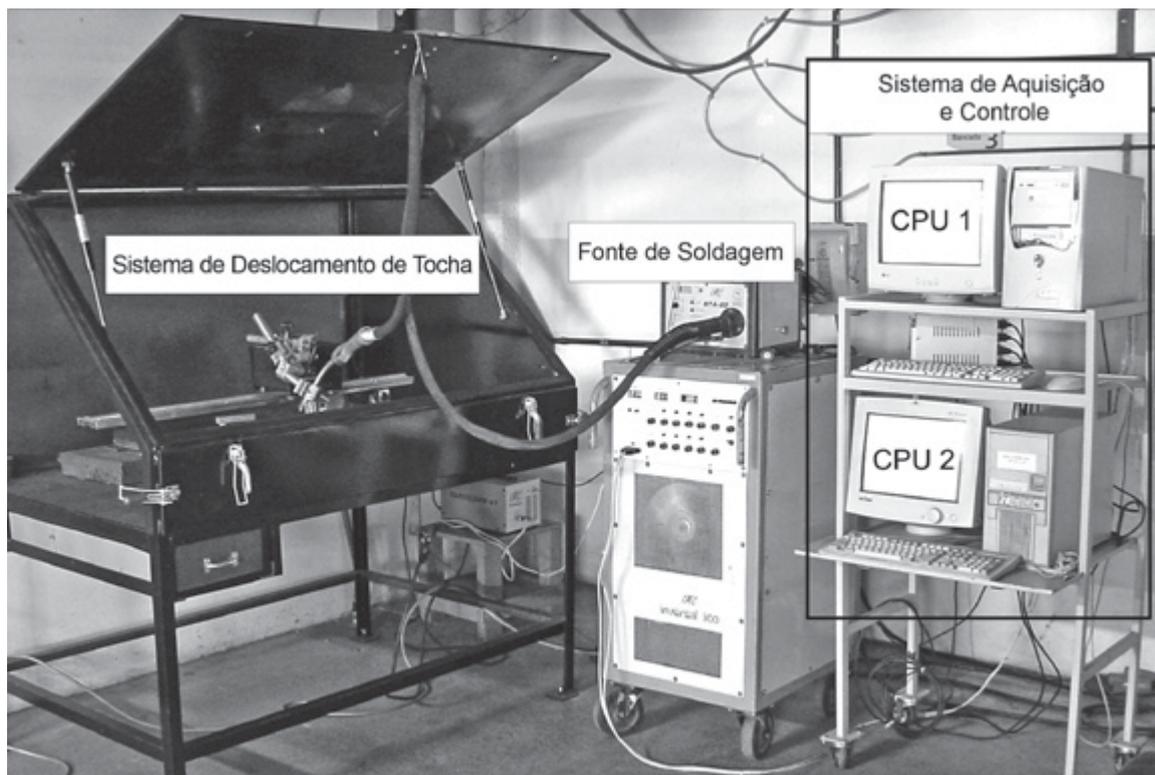


Figura 8. Bancada completa do Sistema Avançado de Controle.

No Sistema Avançado de Controle a interface desenvolvida para o CCC disponibiliza a manipulação de todos os patamares de corrente da forma de onda ilustrada na Figura 5, bem como as temporizações e variáveis auxiliares para o funcionamento do CCC. O SAC, a partir da parametrização fornecida pelo usuário, reproduz a forma de onda de corrente na saída do *atuador* (fonte de soldagem), se responsabilizando por todo o controle do processo e a aquisição de sinais. A interface desenvolvida para o Curto-Circuito Controlado é ilustrada na Figura 6.

2.2. Controle e Aquisição de Sinais (CPU 2)

Por meio de um protocolo de comunicação a CPU 1 envia toda a parametrização dos processos de soldagem, via porta serial, para a CPU 2, que, a partir do armazenamento das variáveis fornecidas pelo operador, se encarrega de dar o início à operação de soldagem propriamente dita.

Na CPU 2 foram implementadas todas as lógicas de controle dos processos de soldagem, bem como é nela onde se encontram também as rotinas de software necessárias para a aquisição de sinais. Nesta CPU, conforme anteriormente descrito, o sistema operacional utilizado é o MS-DOS, justamente pelo fato de o mesmo permitir, de forma mais simples, o acesso a componentes de hardware existentes no PC. Desta forma, é de se esperar que seja nesta unidade de processamento que se encontre o dispositivo de conversão de sinais digitais (utilizados pela unidade microprocessada) para sinais analógicos (reconhecidos pela fonte de soldagem). O dispositivo de conversão de sinais é uma placa desenvolvida em laboratório, que realiza, tanto o controle, quanto à aquisição de sinais da fonte de soldagem.

Denominada de INTERDATA, esta placa de aquisições e controle possui: um conversor A/D de 16 canais, um conversor D/A de 8 canais, um freqüencímetro e uma porta digital com 8 entradas e 8 saídas.

Na interface criada para a aquisição de sinais, Figura 7, são disponibilizados oscilogramas de corrente e tensão de arco, podendo-se ajustar os tempos de amostragem, bem como sincronizar a aquisição a partir de eventos (trigger), e ainda armazenar oscilogramas obtidos em arquivos de pontos que podem vir a ser plotados posteriormente em planilhas eletrônicas.

2.3. Fonte de Soldagem

Como já mencionado, o Sistema Avançado de Controle tem utilizado como atuador a fonte de soldagem Inversal 450. O equipamento é configurado de forma que receba sinais externos e possa, a partir desses sinais, comandar o processo de soldagem da forma em que o usuário pré-determinou. Este sistema, em sua configuração completa, pode ser observado na Figura 8.

3. Resultados e Discussões

O Sistema Avançado de Controle, na sua configuração atual, está sendo utilizado como ferramenta de apoio a diferentes linhas de pesquisa dentro do LABSOLDA e já em outras instituições de pesquisa no Brasil. Os resultados aqui apresentados dizem respeito a testes realizados em diferentes situações em que o SAC proporcionou apoio diferenciado aos estudos, tais como, possibilidade de desenho de formas de onda, simulação de

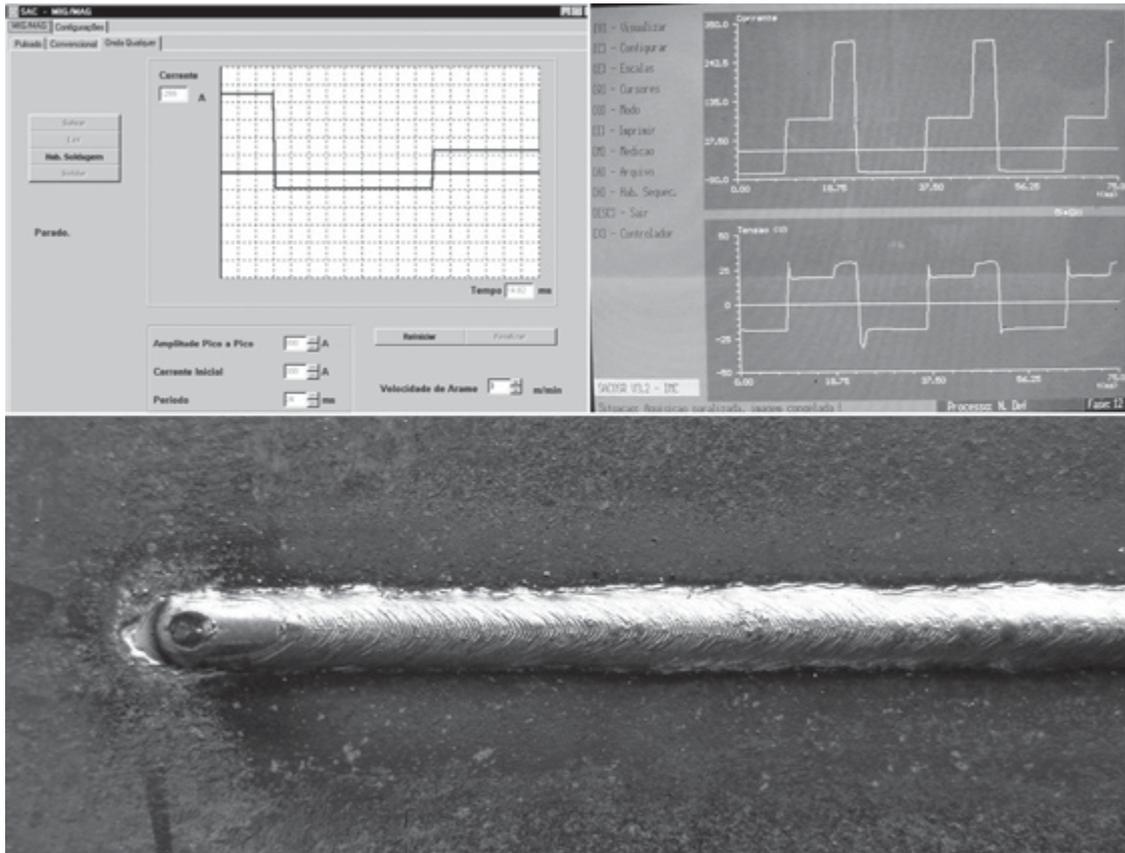


Figura 9. Soldagem MIG/MAG CA no Aço (Forma de onda com 50 % de polaridade negativa, aquisição de sinais e cordão obtido)

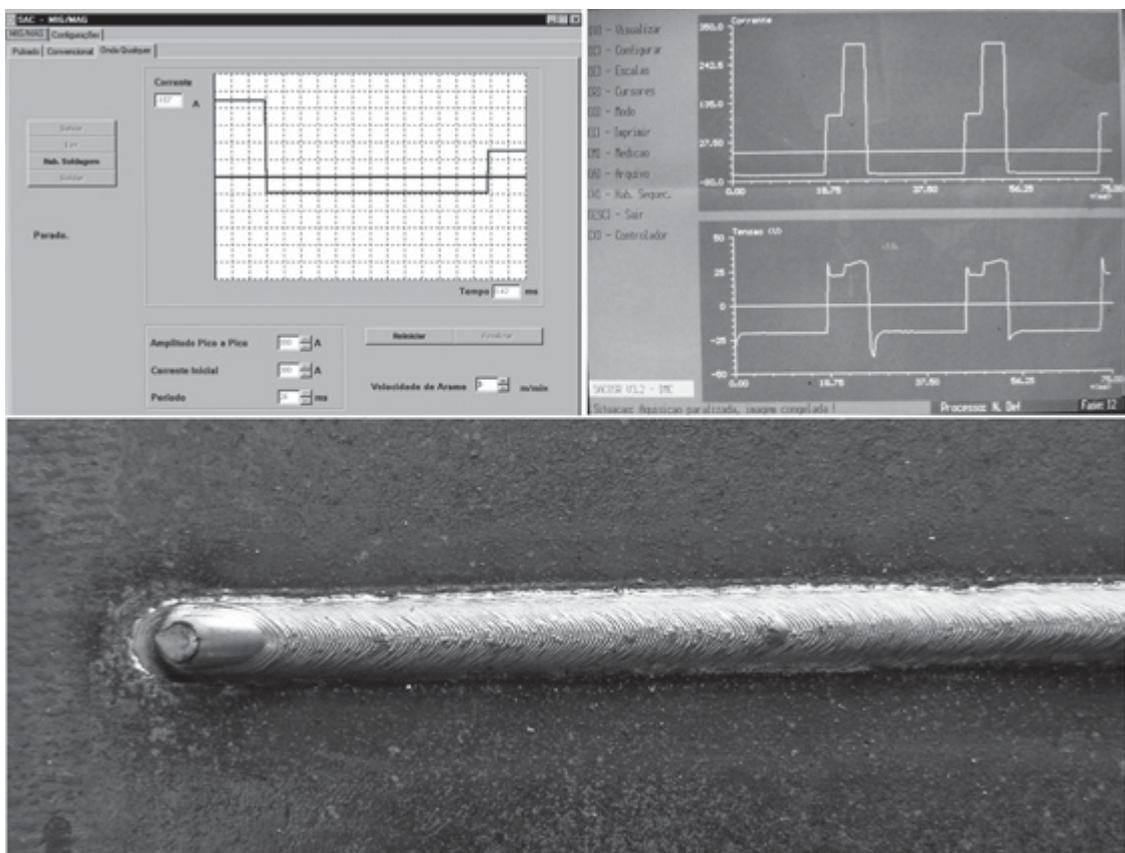


Figura 10. Soldagem MIG/MAG CA no Aço (Forma de onda com 70 % de polaridade negativa, aquisição de sinais e cordão obtido)

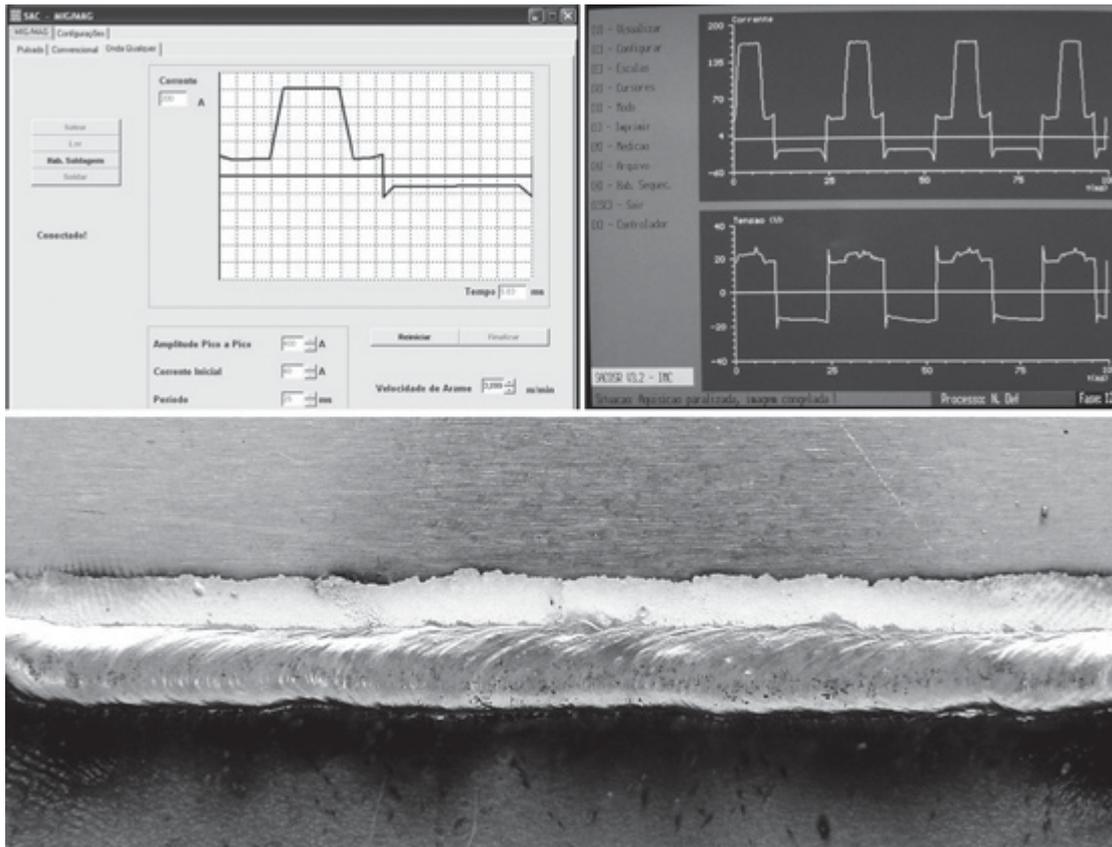


Figura 11. União de chapas de alumínio com aço galvanizado (Forma de onda desenhada, aquisição de sinais e cordão obtido).

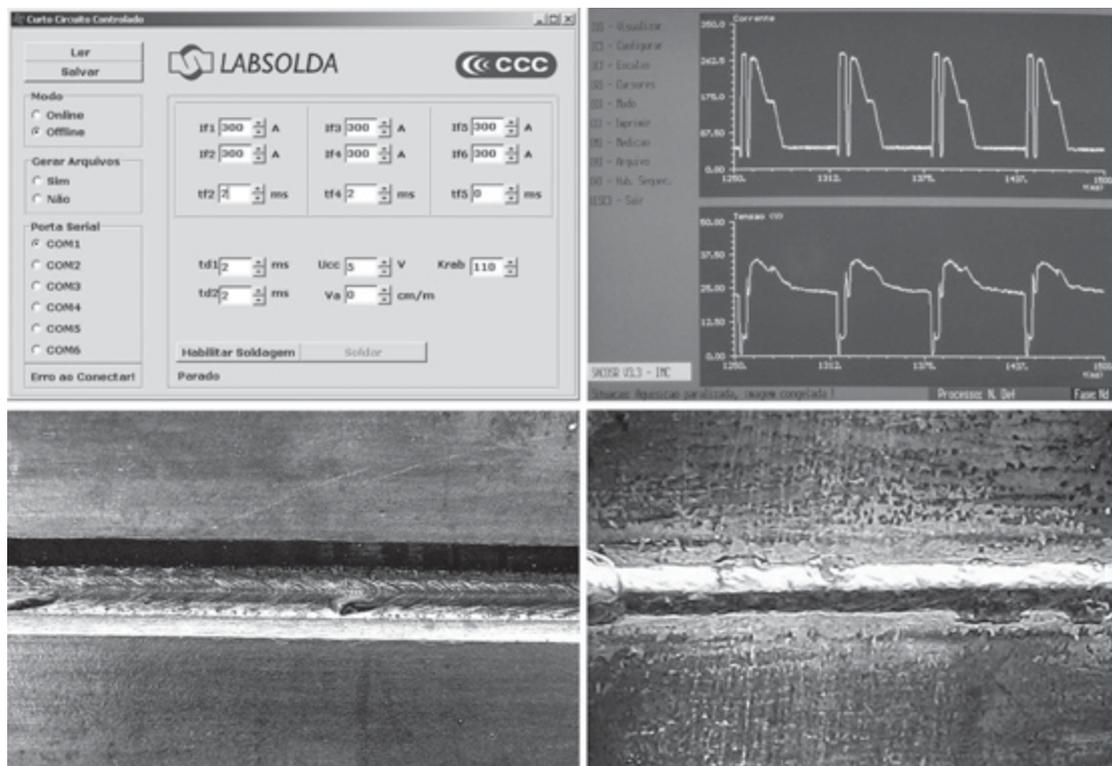


Figura 12. Soldagem de raiz feita com o processo CCC (Interface da plataforma, aquisição de sinais e cordão obtido)

processos de soldagem inovadores, como o Curto-Circuito Controlado, por exemplo.

Nos estudos relacionados ao processo de soldagem MIG/MAG CA utilizou-se do Sistema Avançado de Controle para o desenho de formas de ondas diferenciadas para a modalidade, variando-se os percentuais de valores em cada polaridade, com fins de análises de estabilidade, perfis de penetração e taxas de fusão, Figura 9 e Figura 10.

Observa-se, por meio da Figura 9 e da Figura 10, que se variou os tempos de duração de cada polaridade a partir de um simples redesenho da forma de onda de corrente de soldagem. Devido a esta simplicidade é possível atualmente promover baterias de ensaios, com intuito de se fazer diferentes análises, com velocidade, flexibilidade e eficiência dificilmente encontradas em outras bancadas de desenvolvimento. No caso específico do MIG/MAG CA, a partir do SAC foi possível chegar a análises conclusivas a respeito da real eficácia da modalidade em questão, bem como, atestar a respeito da aplicabilidade do processo em diferentes situações.

Em uma diferente linha de desenvolvimento, utiliza-se também a soldagem MIG/MAG CA para a união de chapas de alumínio com aço galvanizado. Devido as baixas correntes utilizadas nesta união, precisou-se fazer adaptações nas formas de onda do processo, como se pode observar na Figura 11.

A elevação dos níveis de corrente anteriormente e posteriormente as passagens por zero da mesma, melhora a estabilidade do processo, demonstrando, dessa maneira, a grande eficiência do sistema, que viabilizou as respectivas soldagens em função de um desenho minucioso da forma de onda nas transições de polaridade.

Para os estudos relacionados ao processo CCC (Curto-Circuito Controlado), cujo objetivo é a obtenção de passes de raiz com qualidade, assim como o STT se propõe, o sistema disponibiliza uma plataforma para a completa manipulação das variáveis do CCC, desde níveis de corrente e temporizações, até ajustes finos sobre as condições de destacamento de gota do processo. A Figura 12 apresenta um exemplo de procedimento de soldagem com a tela de dados comandados, a forma oscilográfica de corrente e tensão e a solda obtida, aspecto superficial e raiz.

4. Conclusões

O Sistema Avançado de Controle foi consolidado como uma plataforma de pesquisa dentro do LABSOLDA. Atualmente se encontra em plena utilização por diferentes linhas de desenvolvimento do laboratório, sendo ferramenta fundamental de apoio a estudos acadêmicos e tecnológicos.

A flexibilidade do SAC faz do mesmo uma ferramenta versátil e polivalente no apoio ao ensino e treinamento, já que agrega, sobre uma mesma bancada, diferentes processos de soldagem, cada qual com suas peculiaridades, tratadas, pela plataforma em questão, de maneira simples e prática.

Essencialmente o SAC traz vantagens tecnológicas e também econômicas já que substitui, em uma mesma plataforma, diferentes equipamentos de soldagem, que, se adquiridos individualmente, exigiriam orçamentos substanciais.

Além das características já mencionadas e dos processos de

soldagem que o SAC já é capaz de comandar, a plataforma tem um grande potencial de adaptação às diferentes necessidades de cada linha de pesquisa, podendo facilmente evoluir para o controle de modalidades de soldagem mais complexas, bem como, se adequar às necessidades específicas de cada vertente de desenvolvimento, sob custos reduzidos e com significativas vantagens.

5. Referências Bibliográficas

- [1] Stava, E. K. Technology Gets to the Root of Pipe Welding . Lincoln Electric Knowledge Articles. Cleveland. p. 3. Disponível em www.lincolnelectric.com .
- [2] Locatelli, G. Uma Ferramenta Computacional para o Controle de Processos de Soldagem a Arco. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.
- [3] Dutra, J. C., Silva, R. H. G. MIG/MAG - Transferência Metálica por Curto-Circuito – Controle Sobre a Forma de Onda da Corrente – Sistema CCC e STT- Seus Fundamentos. Revista Soldagem e Inspeção.
- [4] Silva, R. H. G. Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz. 2005, 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.