



PLATAFORMA INTEGRADA PARA RASTREAMENTO DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM A ARCO VOLTAICO

Reginaldo Steinbach¹, Roberto Alexandre Dias², Erwin Werner Teichmann³

Resumo: O monitoramento em tempo real dos parâmetros envolvidos com o processo de soldagem é crucial para o controle de qualidade das peças produzidas nas várias áreas da indústria. Neste contexto, a aferição dos parâmetros elétricos gerados por uma fonte de soldagem permite o acompanhamento em tempo de execução da conformidade do processo de soldagem, seja ele manual ou automatizado. Este trabalho propõe uma solução de aquisição em tempo real dos parâmetros elétricos de soldagem a arco voltaico e a integração dos mesmos, via *web* para sistemas de informação gerencial corporativos. Os dados são capturados por um sistema microcontrolado, que faz a requisição dos parâmetros à fonte de soldagem utilizando o protocolo MODBUS sobre uma rede RS-485. Os dados são então processados e enviados, por uma interface Ethernet, a um Serviço *Web*, que faz o armazenamento destes parâmetros coletados no banco de dados. A inovação do sistema é a utilização das boas práticas de desenvolvimento de sistemas definidas na Arquitetura Orientada a Serviços. O resultado do trabalho foi um protótipo funcional da plataforma de rastreamento.

Palavras-chave: Sistemas Inteligentes em Sistemas de Manufatura. Rastreamento de Soldagem. Soldagem.

Abstract: *Real-time monitoring of welding process parameters is crucial to assure the quality of the produced parts on a variety of industrial applications. In that regard, the measurement of electrical parameters generated by a welding source allows a quality-assurance of the welding process in real-time, in both cases, manual or automated. This paper proposes a solution for a real-time acquisition system for the arc welding electrical parameters, integrating them on the corporate management systems, over the web. The data is captured by a microcontroller that requests the welding data to the power-source using the MODBUS protocol over an RS-485 network. The data is then processed and transmitted through Ethernet interface to a Web Service where these parameters are stored in the database. The innovation of the system is the use of best practices for systems development defined in the SOA. The result of this work was a prototype of the traceability/monitoring platform.*

Keywords: *Intelligent Systems in Manufacturing Systems. Traceability. Welding.*

¹ Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), *campus* Florianópolis, IFSC <reginaldo.steinbach@ifsc.edu.br>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <roberto@ifsc.edu.br>.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Metal-Mecânica (DAMM), *campus* Florianópolis, IFSC <erwin@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Miller (2002), o monitoramento em tempo real dos parâmetros envolvidos com o processo de soldagem industrial é crucial para o controle de qualidade das peças produzidas nas várias áreas da indústria. Neste contexto, a aferição dos parâmetros elétricos gerados por uma fonte de soldagem permite o acompanhamento em tempo de execução da conformidade do processo de soldagem, seja ele manual ou automatizado.

Os processos de soldagem a arco voltaico devem respeitar a EPS (Especificação do Procedimento de Soldagem) que define o “gabarito elétrico” que deve ser seguido durante o processo, onde parâmetros elétricos, como tensão e corrente do arco, devem ser seguidos ao longo da trajetória da soldagem.

Os operadores dos processos de soldagem manual, normalmente executam a atividade de forma intuitiva, onde a regulagem dos equipamentos segue critérios mais pessoais de calibração, o que muitas vezes pode fugir à EPS

estabelecida para a peça a ser soldada. Mesmo em processos automatizados, os parâmetros elétricos podem variar em função de erros de configuração (*setup*) dos sistemas de soldagem ou variação de condições externas (ruídos e oscilações de tensão de alimentação, variações nos valores dos componentes eletrônicos das fontes de soldagem, variação de temperatura, alterações na peça a ser soldada, *etc.*). Além disso, em processos de soldagem complexos e com múltiplas trajetórias de soldagem, o rastreamento dos parâmetros elétricos é uma demanda urgente da indústria, a fim de que se possa garantir e verificar a qualidade do processo (RIPPEY, 2004).

Um caso típico para a aplicação do rastreamento está relacionado com a indústria automobilística, onde cada automóvel contém diversas peças que são produzidas, empregando-se soldagem por arco voltaico. Em cada peça podem ser realizadas diversas tarefas de soldagem, com processos e parâmetros de soldagem específicos. Se for verificada a ocorrência de um defeito em uma série produzida, o rastreamento dos parâmetros utilizados em cada soldagem pode auxiliar na identificação do problema e na tomada de decisão para a convocação dos proprietários dos veículos para um *recall*.

Segundo Sampaio (2010), monitorar a qualidade de um processo produtivo é cada vez mais necessário, tendo em vista que no atual contexto mundial a interligação entre qualidade, produtividade e competitividade são fatores que geralmente determinam o sucesso ou o fracasso de determinada empresa, processo ou produto. Este monitoramento pode ser feito de forma individualizada ou por amostragem. Quando se realiza a verificação individualizada, cada produto é testado, podendo ser aprovado, rejeitado ou enviado para retrabalho. A verificação por amostragem é realizada coletando uma amostra de um lote produzido, onde a não conformidade com as especificações podem levar a rejeição de todo o lote.

Nos processos de soldagem, um fator que torna o seu monitoramento imperativo é a forte relação entre a qualidade da solda com os aspectos de segurança e confiabilidade, pois em muitas áreas a falha na solda de um componente pode levar a acidentes graves. As exigências relacionadas à segurança faz com que indústrias, como a automobilística, utilize muitas vezes ensaios destrutivos para se obter informações confiáveis a respeito da qualidade da solda, no entanto, geram um elevado custo e uma falha no processo pode ser identificada apenas após a finalização do lote de produção (SAMPAIO, 2010).

Sendo assim, analisando a necessidade existente no mercado de soldagem por arco voltaico, desenvolveu-se uma plataforma que permite o monitoramento, em tempo real, dos parâmetros elétricos de soldagem, com verificação instantânea destes parâmetros com gabaritos pré-estabelecidos. Além disso, os parâmetros elétricos de soldagem são integrados utilizando protocolos padronizados e abertos, com sistemas de informação gerencial das indústrias, na forma de uma assinatura digital do processo de soldagem. Desta forma, será possível em qualquer tempo, o rastreamento dos parâmetros de soldagem de uma determinada peça para fins de controle de qualidade de pós-produção.

No mundo, existem poucas empresas que disponibilizam sistemas de monitoramento voltados à soldagem, com nenhuma representação no Brasil. Após pesquisa junto aos principais fornecedores de fontes de soldagem, a fim de obter informações sobre como fazem o monitoramento de seus processos, constatou-se que nenhum deles oferece uma maneira de monitorar os parâmetros durante a soldagem, pois poucas fontes de soldagem tem interface de comunicação externa, e as que possuem necessitam de drivers específicos, o que dificulta a sua integração com os sistemas de supervisão.

2. RASTREAMENTO DE SOLDAGEM

Como apresentado anteriormente, os parâmetros elétricos tem relação direta com o resultado do processo de soldagem. Deste modo, pode-se concluir que a variação, de forma não programada, destes parâmetros durante o processo de soldagem pode resultar em uma solda que não atende aos requisitos de qualidade previamente especificados.

Vários fatores externos podem levar a variação destes parâmetros: um ajuste mal executado pelo operador, defeitos no eletrodo, trancamento do eletrodo durante o processo, falhas na peça. Todos estes eventos podem não ser perceptíveis ao operador ou supervisor de soldagem.

Então, o monitoramento da tensão e corrente de soldagem em tempo real, durante o processo de soldagem, de forma automatizada, atribui um maior controle da qualidade à soldagem, permitindo ações de correção imediatas ou a investigação de falhas em peças soldadas devido a processos executados fora dos parâmetros especificados.

A utilização de protocolos e interfaces de comunicação padronizadas para a realização do rastreamento dos parâmetros de soldagem vai ao encontro da atual demanda mundial por comunicação e apresenta uma nova área de desenvolvimento de soluções utilizando o paradigma da Internet das Coisas.

3. JUSTIFICATIVA

Segundo Hillen *et al.* (2010) a aquisição de dados dos processos de soldagem é importante em várias situações, e apresenta, como exemplo, o desenvolvimento de um novo algoritmo de soldagem, onde o engenheiro de soldagem deve monitorar os parâmetros de tensão e corrente de modo a ter uma visão do que está ocorrendo no processo.

Em muitas indústrias, como a aeroespacial, têm se tornado comum aos fabricantes adquirir e armazenar os dados de soldagem e associá-la ao número de série do componente, de modo que, este dado possa ser acessado posteriormente para analisar uma anomalia na peça em questão (HILLEN *et al.*, 2010).

Atendendo a esta necessidade da indústria, várias patentes têm sido apresentadas propondo métodos diferentes de monitorar a qualidade dos processos de soldagem.

Vaidya *et al.* (2000) apresentam um modelo de gestão de qualidade do processo de soldagem, onde se adquire a média de corrente elétrica consumida, o tempo gasto na soldagem, o tempo gasto entre os processos de soldagem (quando o operador está preparando outra peça ou fora do posto de trabalho), o tipo de gás utilizado na soldagem, e alguns outros parâmetros, como período do dia. De posse destes valores, é proposto um algoritmo que relaciona os gastos com o processo de soldagem e a forma de minimizá-los.

D'Angelo *et al.* (2011) apresentam um método e um aparato de monitoramento da qualidade do processo de soldagem, onde são monitorados os sinais de tensão e corrente do arco. A partir destes valores são gerados gráficos que são comparados com valores padronizados, obtidos a partir de soldagens realizadas com qualidade.

Hillen *et al.* (2010), apresentam um sistema de aquisição de dados de soldagem, capaz de oferecer ao usuário, por meio de uma aplicação “cliente” através de uma rede de dados TCP/IP, informações em tempo real dos parâmetros de um processo de soldagem.

Observando esse contexto, que caracteriza ainda mais a necessidade de soluções para o monitoramento da qualidade dos processos de soldagem, a IMC soldagem, fabricante da fonte de soldagem utilizada no projeto, desenvolveu um sistema de monitoramento denominado Sistema de Aquisição Portátil – SAP-4 (IMC, 2012). Este sistema permite a inspeção do processo durante a soldagem, onde por meio de oscilogramas e histogramas podem-se verificar os parâmetros elétricos da solda com uma amostragem de 5.000 pontos por segundo, além de dados de produtividade e transferência metálica.

Por ser um produto já testado e homologado para a realização de inspeção de soldagem, o SAP-4 foi utilizado como instrumento padrão de medição e os dados gerados por ele foram confrontados com os obtidos pela plataforma proposta.

4. SOLUÇÃO PROPOSTA

Com base no discutido, desenvolveu-se uma plataforma para o rastreamento de parâmetros de tensão e corrente de uma fonte de soldagem. Para isto, optou-se primeiramente por modelar a plataforma de rastreamento com os componentes, interfaces e protocolos necessários para a sua implementação. A Figura 1 apresenta de forma geral o modelo da plataforma.

Em termos gerais, a plataforma deve funcionar da seguinte maneira: um módulo microcontrolado solicita para a fonte de soldagem, durante o processo e em tempos pré-definidos, os parâmetros de tensão e corrente da soldagem, processa os parâmetros e transmite para um servidor na rede que armazenará os dados em banco de dados para visualização futura.

Para a comunicação entre a fonte de soldagem e o módulo microcontrolado, definiu-se a utilização do protocolo MODBUS e de uma interface de rede serial RS-485.

Para a comunicação entre o módulo microcontrolado e o servidor que armazenará os dados, desenvolveu-se um *middleware* (camada de *software* de intermediação) utilizando Serviços *Web*⁴ por meio de uma rede TCP/IP, e utilizando a interface de rede Ethernet.

4.1. Implementação do protocolo MODBUS na fonte de soldagem

Segundo Siemens (2012), o protocolo MODBUS é uma estrutura de mensagem desenvolvida pela Modicon em 1979, para que seus Controladores Lógicos Programáveis (CLP) pudessem se comunicar de forma padronizada no modo mestre-escravo / cliente-servidor. Este protocolo tornou-se um padrão devido a sua qualidade e simplicidade, o que levou vários fabricantes a disponibilizarem este protocolo em seus dispositivos.

Outra característica importante no padrão MODBUS é a sua simplicidade, podendo ser implementado desde microcontroladores e CLPs até sensores inteligentes (SIEMENS, 2012).

⁴ Serviços *Web* são serviços disponíveis através da Internet usando um sistema padrão XML para troca de mensagens, independente do tipo de sistema operacional ou linguagem de programação (CERAMI, 2002). Proposto inicialmente pela Microsoft, adotado e regulamentado pela *The World Wide Web Consortium* (W3C), os Serviços *Web* fornecem padrões abertos à comunicação entre aplicações de diferentes.

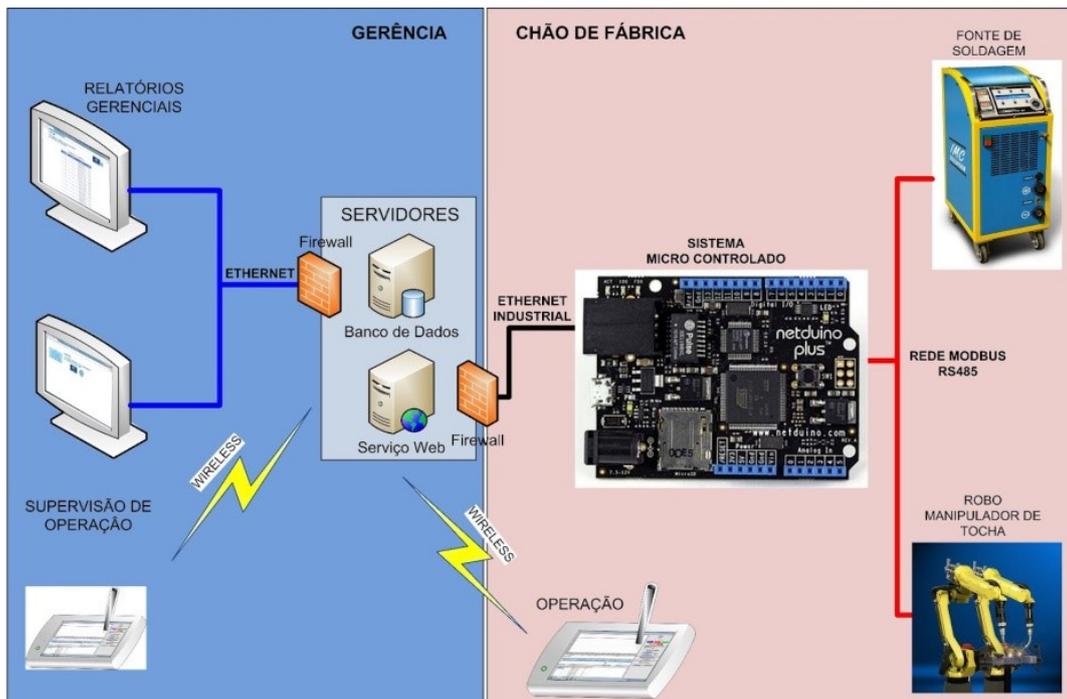


FIGURA 1 - Modelo da Plataforma Proposta.

O protocolo MODBUS prevê dois modos de transmissão, o modo ASCII e o modo RTU.

No modo de transmissão ASCII, dois caracteres são enviados como dados de 8 bits, sua principal vantagem é permitir um atraso de até 1 segundo entre os dados, por esta razão ele pode ser aplicado em redes mais lentas (SIEMENS, 2012).

O modo de transmissão RTU (Unidade de Terminal Remota), permite o envio de dados de forma mais rápida que o modo ASCII, além disso, os dados podem ser transmitidos num fluxo contínuo de dados, e cada dado de 8 bits representam dois caracteres hexadecimais de 4 bits cada (SIEMENS, 2012).

O protocolo MODBUS incorporado à fonte de soldagem possui duas funções principais e estas permitem uma série de funcionalidades de configuração, comando e monitoramento, que serão descritas a seguir.

As funções implementadas na fonte de soldagem são: *read holding register*, *preset single register* e gerador de CRC. Estas funções permitem selecionar um programa de soldagem, abrir e fechar o arco voltaico, ler os valores de tensão e corrente do processo de soldagem e desligar a fonte de soldagem (SCHMITT, 2011).

As duas principais funções utilizadas neste trabalho são leitura de tensão e de corrente de operação da fonte de soldagem.

4.2. Middleware de comunicação e integração

Middleware é definido como uma camada de software que não constitui diretamente uma aplicação, mas que facilita o uso de ambientes ricos em tecnologia da informação. A camada de

middleware concentra serviços como identificação, autenticação, autorização, diretórios, certificados digitais e outras ferramentas para segurança. Aplicações tradicionais implementam vários destes serviços, tratados de forma independente por cada uma delas. As aplicações modernas, no entanto, delegam e centralizam estes serviços na camada de *middleware*. Ou seja, o *middleware* serve como elemento que aglutina e dá coerência a um conjunto de aplicações e ambientes (RNP, 2006).

Pode-se concluir a partir da definição da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa, que *middleware* é a interface que faz a mediação entre os dados de diversos serviços, organizando-os.

Para o presente trabalho *middleware* funciona como uma interface para comunicação com quaisquer sistemas externos que sejam capazes de consumir Serviços *Web*.

O módulo microcontrolado troca informações com o *middleware*, assim como qualquer outra aplicação de gerência ou supervisão, que tenha capacidade de se comunicar utilizando o padrão de Serviço *Web*, pode acessar a plataforma RASTER utilizando o *middleware*.

Para facilitar a abstração e diminuir a complexidade do sistema, este foi desenvolvido através de uma divisão dos serviços em camadas. Ele serve para que as camadas mais externas (interfaces) não precisem ter conhecimento das mais internas (informações e regras) e vice-versa.

4.3. Módulo Microcontrolado

O módulo microcontrolado foi desenvolvido para realizar a coleta dos parâmetros de soldagem e a transmissão destes para o Serviço *Web*.

Decidiu-se utilizar um módulo de desenvolvimento baseado em um ARM7, um processador de 32-bit RISC ARM, que inclui vários periféricos além de um Ethernet MAC padrão 802.3 e controlador CAN, escolha de módulo foi devido ao fato de ele suportar a aplicação e de tornar simples a integração dos dados coletados com Serviços *Web*.

O módulo microcontrolado inicia realizando a configuração de seu endereço IP, o qual pode ser configurado para funcionar no modo DHCP, onde ele requisita a um servidor na rede o endereço que deverá utilizar pra se comunicar na rede, ou no modo estático, onde se configura previamente qual deve ser o endereço do módulo.

Para o rastreamento dos parâmetros de soldagem, torna-se necessário que os mesmos possuam uma identificação precisa do horário em que foram obtidos de modo a ligá-lo precisamente ao processo. Para obter-se a hora precisa, utilizou-se o relógio interno do sistema microcontrolado, e optou-se por utilizar o protocolo NTP (*Network Time Protocol*). Para sincronizar uma aplicação utilizando o protocolo NTP, é necessário que a aplicação possua um cliente NTP, e que um servidor NTP esteja acessível na rede. Como para este trabalho o módulo microcontrolado está conectado à Internet se está utilizando um servidor NTP que fornece o horário padrão para o Brasil.

Antes de iniciar a leitura da interface RS-485, verifica-se se algum dado não foi enviado ao servidor, se todos os dados foram enviados o módulo microcontrolado fica analisando a porta RS-485 a espera de um sinal de abertura de arco. Quando o módulo recebe um sinal de abertura de arco ele começa a requisitar da fonte de soldagem os dados de tensão e corrente até que receba um sinal de arco fechado, quando este ocorre ele volta a analisar a porta de comunicação, esperando um sinal de arco aberto.

5. RESULTADOS

Para avaliação do funcionamento do sistema, proposto foi utilizada uma placa de processamento da Fonte Digiplus A7, fabricada pela IMC, de modo que os ensaios de validação prévios puderam todos ser realizados sem a necessidade de realizar soldagens, não ocasionado gastos com material de soldagem para a realização dos primeiros ensaios.

Além disso, para simular os comandos enviados pelo robô à fonte de soldagens, utilizou-se um aplicativo desenvolvido em .NET e C# que permite enviar através da rede MODBUS os mesmos comandos enviados pelo robô para a fonte de soldagem, através de uma interface *web*.

A plataforma mostrou-se totalmente funcional, e puderam-se validar todas as etapas. Verificou-se

que o sistema microcontrolado quando recebe a informação de abertura de arco, solicita à fonte de soldagem os valores de tensão e corrente, cria uma mensagem contendo o valor de tensão e outra com o valor da corrente, e as envia ao Serviço *Web*, que recebe as mensagens e as armazena no banco de dados.

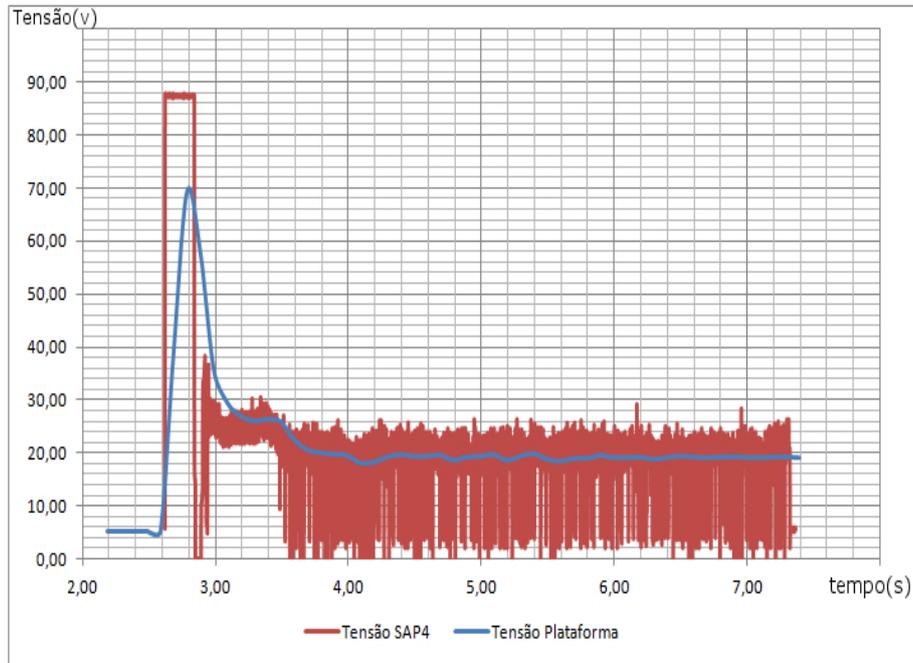
5.1. Ensaios com a fonte de soldagem

Após validar a comunicação e o funcionamento do sistema na plataforma de testes, realizou-se o rastreamento de uma soldagem real. Para se poder comparar os dados adquiridos com os dados reais, utilizou-se o Sistema de Aquisição Portátil SAP-4 da IMC.

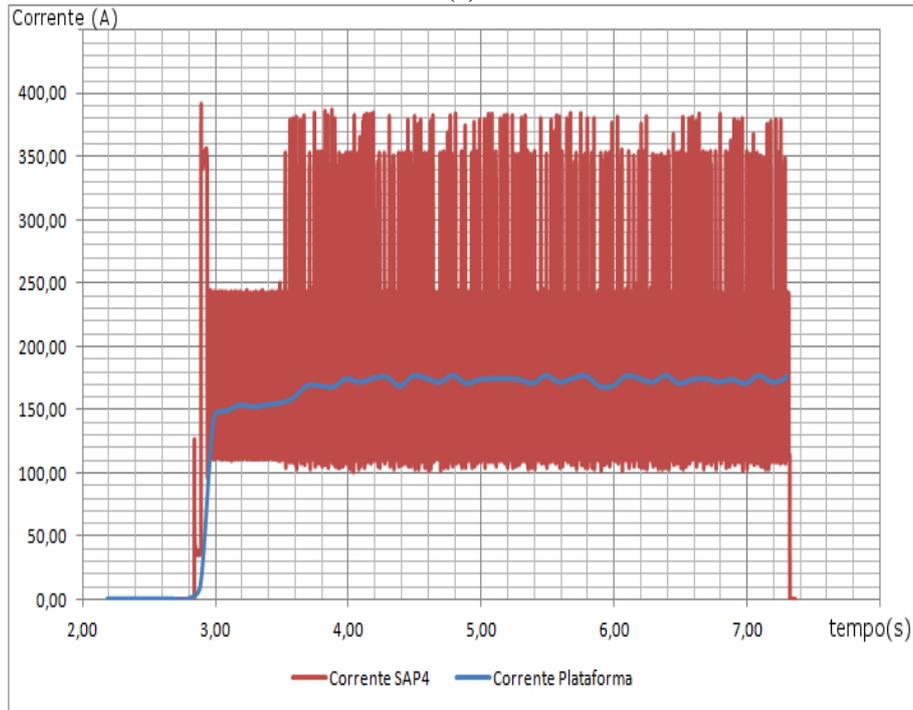
O sistema SAP4 possui uma frequência de amostragem de 5 kHz. Esta velocidade de aquisição mostra-se adequada à dinâmica encontrada nos processos de soldagem quando se pretende fazer uma análise detalhada, tanto em laboratório, quanto em campo. Para a análise de qualidade e repetitividade do processo de soldagem, no entanto, as frequências de aquisição de dados e os parâmetros registrados devem ser adaptados a este fim. Ou seja, deverão ser registrados os valores médios de alguns parâmetros chave no processo, como por exemplo: corrente média, tensão média e velocidade de arame média. Estes parâmetros podem indicar interrupções ou irregularidades que podem certamente resultar em problemas no componente soldado. A associação deste pacote de parâmetros ou informações registradas a uma peça fabricada e rastreável pode ser de grande valia, por exemplo, na fabricação de componentes automobilísticos. No caso de um *recall*, pode-se facilmente ligar um problema ocorrido na linha de produção a uma peça defeituosa. Esta é uma informação valiosa para determinar a causa do problema e o tamanho do lote afetado, reduzindo os custos que muitas vezes podem ultrapassar a casa dos milhões de reais.

A Figura 2(a) e a Figura 2(b) apresentam uma comparação entre os valores coletados com o SAP-4 e os adquiridos com a plataforma proposta.

Como pode ser observado, a velocidade com que os dados são coletados com o sistema SAP-4, 5000 amostras por segundo, é muito superior à do sistema proposto neste trabalho, 10 amostras por segundo. Como a fonte de soldagem envia para a plataforma os valores médios de tensão e corrente, para poder comparar os valores coletados pela plataforma com os do SAP-4, utilizou-se a ferramenta de medição, presente no SAP-4, que permite medir os valores de tensão e corrente médios em um determinado intervalo.



(a)



(b)

FIGURA 2 - Gráficos da (a) tensão em função do tempo e (b) corrente em função do tempo.

A Figura 3 apresenta a ferramental de medidas do SAP-4 utilizada para se obter os valores médios de tensão e corrente.

A partir dos dados apresentados pôde-se perceber que apesar da amostragem da plataforma proposta ser muito inferior à do SAP-4, os valores representam de forma satisfatória os valores de tensão e corrente durante o processo de soldagem, pois as tendências das curvas foram mantidas. Deste modo os resultados apresentados demonstram o

funcionamento de forma satisfatória da plataforma proposta por este trabalho.

6. CONCLUSÃO

Como pôde ser observado no presente trabalho, o rastreamento dos parâmetros de soldagem é de grande importância para o controle da qualidade dos processos de soldagem. Como foi apresentado, a tensão e a corrente de arco têm grande influência no resultado final do processo. Estas características

justificam o rastreamento em tempo real dos parâmetros de soldagem.

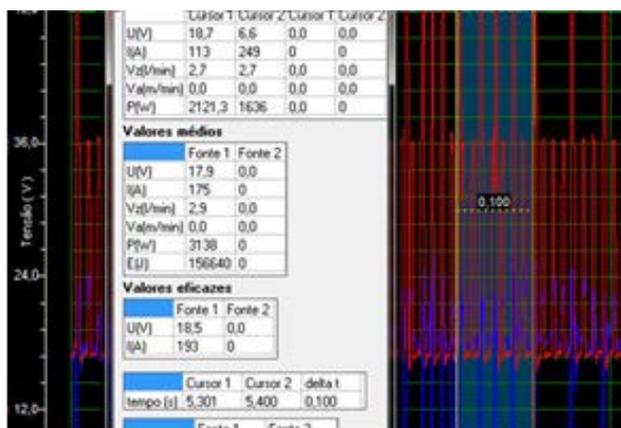


Figura 3 - Ferramentas de medida SAP-4.

O fato de se estar utilizando uma infraestrutura já presente na maioria das indústrias e equipamentos, a rede RS-485, bem como a não necessidade de um *hardware* de monitoramento externo em cada fonte de soldagem, pois o monitoramento é realizado por um concentrador presente no barramento, são fatores que diferenciam a plataforma proposta das soluções atuais presentes no mercado.

Como neste trabalho foram priorizados padrões e protocolos bem difundidos e executados nas mais diversas áreas da indústria, conclui-se que a metodologia utilizada para o rastreamento dos parâmetros de soldagem pode ser empregada no rastreamento de outras grandezas físicas que se fizerem necessárias nas mais diversas áreas de desenvolvimento.

O presente trabalho apresentou, mais do que uma solução para o rastreamento dos parâmetros de soldagem, uma metodologia de rastreamento que pode ser aplicada, realizando-se as devidas modificações, em outras aplicações industriais.

Ainda no campo da soldagem, pode-se implementar o rastreamento de alguns parâmetros que não foram abordados neste trabalho. Dentre eles, pode-se destacar a velocidade do arame de soldagem e a vazão do gás.

Do ponto de vista do Módulo Microcontrolado e do Serviço *Web* desenvolvidos para o presente trabalho, o acréscimo de variáveis a rastrear não representa uma alteração significativa, tendo em vista que o mesmo foi preparado para que tais parâmetros pudessem ser acrescentados.

Os requisitos básicos estabelecidos para o rastreamento dos parâmetros de soldagem foram atendidos, de modo que o conceito de rastreamento aplicado na proposta pode ser validado por meio dos dados apresentados no capítulo de resultados.

A frequência de coleta dos dados, como foi apresentada, é um fator que apesar de não interferir

na correta interpretação das tendências dos dados, pode ser melhorada para que pequenos transitórios não sejam perdidos.

REFERÊNCIAS

- CERAMI, E. *Web Services Essentials*. 1ª ed. Sebastopol: O'Reilly & Associates, v. I, 2002. 288 p. ISBN: 0-596-00224-6.
- D'ANGELO *et al.* *IT, System for Monitoring Arc Welding Process and Corresponding Monitoring Method*. B23k 9/10. US 2011/0192828 A1. 10 fev 2010; 11 ago 2011.
- HILLEN *et al.* OH (US), *Weld Data Acquisition*. B23K 9/095; B23K 9/00. US 2010/0230393 A1. 25 mai 2010; 16 set 2010
- KOSTENKO, M.; PIOTROVSKY, L. *Electrical Machines, part 2*, Mir, Russia, 1970.
- IMC. **SAP – V 4.01: Manual do Sistema**. Disponível em <http://www.imc-soldagem.com.br/manuais/manual_sap_v40.pdf>. Acessado em 07 mai. 2012.
- MILLER, M. *et al.* *Development of automated real-time data acquisition system for robotic weld quality monitoring*. **Mectronics Journal**. Atlanta, USA 2002.
- RNP – REDE NACIONAL DE ENSINO E PESQUISA. **O que é middleware?**, 2006. Disponível em <<http://www.rnp.br/noticias/2006/not-060926.html>>. Acessado em 29 abr. 2012.
- RIPPEY, W.G. *A welding data dictionary*. Gaithersburg, Us: National Institute Of Standards And Technology, 2004.
- SCHMITT, A. *et al.* Implementação de uma rede industrial para células de soldagem robotizadas utilizando o protocolo MODBUS. In: **CONSOLDA 2011 - XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, 2011**, Natal – RN, 2011.
- SAMPAIO, D.J.B.S. **Automação do monitoramento da qualidade do processo de solda a ponto resistiva**. 2010. 173 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- SIEMENS. **MODBUS Information**. Disponível em <<http://www.sea.siemens.com/us/SiteCollectionDocuments/WSSResources/Internet/Products/MODBUSInformation.pdf>>. Acessado em 21 abr. 2012.
- VAIDYA, C.A. *et al.* **Methods and apparatus for weld-ing performance measurement**. B23K 9/095. US 6051805 A. 20 jan 1998; 18 abr 2000.