

REFORMULAÇÃO DO HARDWARE DO BRAÇO ROBÓTICO MA2000 COM EMPREGO DA ARQUITETURA ARM PARA CONTROLE

Daniel Teodoro Gonçalves Mariano, Carlos Augusto Bissochi Junior, Josué Silva de Moraes, Aniel Silva de Moraes, Igor Borges Tavares, Felipe Adriano da Silva Gonçalves
Universidade Federal de Uberlândia/ Faculdade de Engenharia Elétrica/ Núcleo de Controle e Automação/ Laboratório de Automação, Servomecanismos e Controle (LASEC), Uberlândia - MG
dtgm@uol.com.br

Resumo - O objetivo deste trabalho é dar continuidade ao projeto realizado com o propósito de promover a atualização tecnológica do hardware e firmware do robô MA2000 da TecQuipment. Em tal projeto foi verificado que a utilização de um único canal PWM para o controle proporcional dos motores, a utilização de apenas dois CI's full-bridge para o driver de potência dos três MCC e o uso de um conector de disposição de pinos fixa, prejudicou o seu desempenho. Dessa forma o projeto vigente visa efetuar a utilização de um microcontrolador ARM no lugar do microcontrolador PIC18F2550 por possuir mais recursos e realizar o rearranjo da placa de hardware para garantir o funcionamento adequado do robô. Esta continuidade possibilitará o funcionamento de um equipamento útil para pesquisa e ensino.

Palavras-Chave – Atualização, *firmware*, *hardware*, manipulador, robô, *software*.

REFORMING THE HARDWARE OF THE ROBOTIC ARM MA2000 WITH EMPLOYMENT OF ARCHITECTURE FOR CONTROL

Abstract - The aim of this document is to continue the project carried out in order to promote the technological upgrading of hardware and firmware of the MA2000 robot from TecQuipment. In such project has been found that the use of a single channel PWM for proportional control of the engines, the use of only two IC's full-bridge to the driver power of the three DC Motors and the use of a connector array of pins fixed hindered their performance. Thus the project aims to make the existing use of an ARM7 microcontroller in place of a PIC18F2550 microcontroller because the first one have more resources and perform the rearrangement of the hardware board to ensure the proper functioning of the robot. This will allow continued operation of a device useful for research and teaching

Keywords - *Firmware*, *hardware*, *manipulator*, *microcontroller*, *robot*, *software*, *update*.

NOMENCLATURA

CI	Circuito Integrado
DOF	Graus de liberdade
MCC	Motor de Corrente Contínua
PWM	Modulação por Largura de Pulso

I. INTRODUÇÃO

A. Considerações Iniciais

A maneira de idealizar e construir produtos foi alterada ao longo dos anos, à medida que os sistemas industriais sofreram mudanças. Os processos de fabricação são noteados por conceitos como eficiência, rendimento e otimização, características que tem recebido maior destaque. A ABINEE (Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica) aponta dados que mostram que as empresas no Brasil têm investido na renovação de seus processos de fabricação, o que, juntamente com o desenvolvimento da automação industrial, corrobora para a modernização do parque tecnológico nacional. Diante dessa realidade, a pesquisa e o desenvolvimento de dispositivos robóticos são fundamentais para a automação dos processos de fabricação industrial. Tarefas que demandam alto esforço físico, jornadas de atividades de longa duração, e realizadas em ambientes que apresentam exposição à insalubridade, como altas temperaturas, ruídos agressivos ou gases tóxicos, possuem fatores que prejudicam o desempenho de um operador humano. Por isso, a possibilidade de substituir o homem em atividades que poderiam comprometer sua integridade é uma das razões que tornam o emprego de dispositivos robóticos algo vantajoso, com diferentes variedades de formatos, de acordo com os tipos de aplicações para as quais estas máquinas são desenvolvidas.

Entre 2010 e Outubro de 2011 iniciou-se um projeto utilizando o robô MA2000 (TQ), do tipo PUMA (*Programmable Universal Machine for Assembly*), com o objetivo de realizar sua atualização tecnológica no *firmware* e *hardware*[1]. Dando continuidade a esta pesquisa, o robô MA2000 continua a ser o objeto de estudo no presente trabalho.

Os robôs do tipo PUMA têm movimentos semelhantes aos de um braço humano, devido às suas juntas articuladas, que se orientam através de coordenadas de revolução. Um robô manipulador industrial é composto por uma série de corpos rígidos, denominados de elos (links). Esses elos



X CEEL - ISSN 2178-8308
24 a 28 de setembro de 2012
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

idealmente não sofrem deformação pela ação das forças aplicadas. Eles podem variar quanto ao seu tamanho e forma, de acordo com seu propósito. Os elos são conectados através de juntas (*joints*), ou articulações, que lhes possibilitam um movimento relativo entre si [2].

Num determinado ponto do elo haverá uma junta que conecta ao elo seguinte, viabilizando a descrição de um movimento angular (Figura 1).

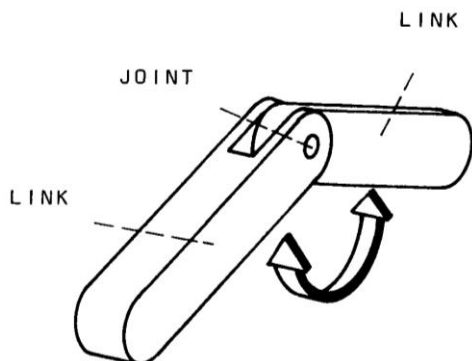


Fig. 1. Junta rotacional unindo dois elos consecutivos.

Com a interligação de diversos elos através de juntas é estabelecida uma cadeia cinemática aberta (Figura 2).



Fig. 2. Robô manipulador MA2000 (objeto deste trabalho).

Geralmente, os manipuladores industriais são montados em uma base fixa na qual o primeiro elo é preso por uma junta. O número de elos e articulações que o robô manipulador possui (graus de liberdade - DOF) determina sua amplitude de mobilidade. Estes dispositivos são desenhados para desempenhar diversas tarefas, previamente definidas por um controlador, sendo capazes de executá-las repetidamente.

A Figura 3 ilustra o digrama de blocos dos sistemas eletroeletrônicos, constituídos por *hardware*, *firmware* e *software*, cujo funcionamento harmônico confere ao braço mecânico a capacidade de realizar as mais diversas tarefas com elevada precisão.

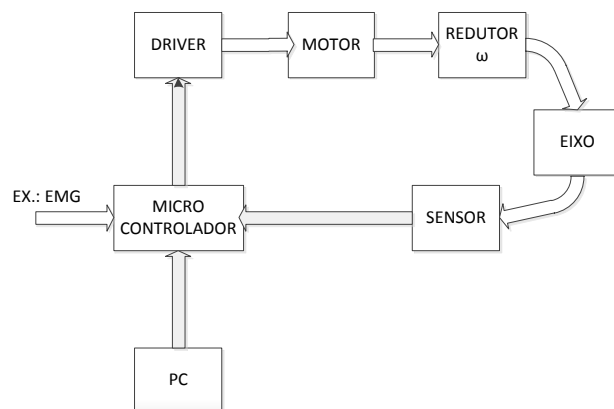


Fig. 3. Diagrama de blocos do sistema eletroeletrônico de um robô manipulador.

B. Motivação

O MA2000 é o único robô manipulador da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT) e apresentava diversos problemas de funcionamento.

Embora o manipulador MA2000 seja um robô didático e possua algumas das principais características dos robôs industriais, ele apresenta baixo desempenho e interface homem/máquina limitada a poucas instruções padronizadas pelo fabricante, o que limita a sua utilização em diversas atividades de ensino e pesquisa.

A forma em que ele foi concebido em sua origem impossibilita, por exemplo, a utilização de sinais provenientes de transdutores acoplados a um braço humano para comandá-lo. O mesmo é verdade para comandos de voz, comandos por visão computacional, ou comandos provenientes de outras máquinas e sistemas. A utilização de controladores avançados baseados em inteligência artificial são tecnologias que não podem ser empregadas na configuração original do robô.

Reconhecendo a importância do MA2000 enquanto ferramenta de ensino da FEELT, bem como de produção de novos projetos e conhecimentos no meio acadêmico, a intenção deste trabalho é consolidar o desenvolvimento de um *software* e a atualização tecnológica no *hardware* e *firmware* do braço robótico MA2000. Neste momento, o foco é permitir que ele possa ser comandado por sinais externos e, além disso, admitir o acesso a sua unidade de comando por meio de um microcontrolador para que outros tipos de controle possam ser empregados futuramente.

Inicialmente o MA2000 operava em Sistema Operacional DOS e suas instruções de entrada e saída eram transmitidas por um barramento ISA. Tais recursos de hardware e software não possuíam compatibilidade com os computadores comercializados atualmente. Outra restrição que o robô apresentava na época era a limitação no envio de comandos do usuário para o braço robótico, que se dava apenas por um painel de comandos com interface fechada, o que impossibilitava a sua interação com outros sistemas, limitando suas aplicações.

Após a primeira atualização, o MA2000 passou a contar com uma placa de hardware que fazia o controle dos motores referente aos três primeiros graus de liberdade do braço mecânico. Esta placa consistiu num circuito que incluía um

microcontrolador PIC18F2550, da Microchip, e duas unidades do circuito integrado L298, que funcionavam como um drive duplo *full-bridge* (Figura 4).

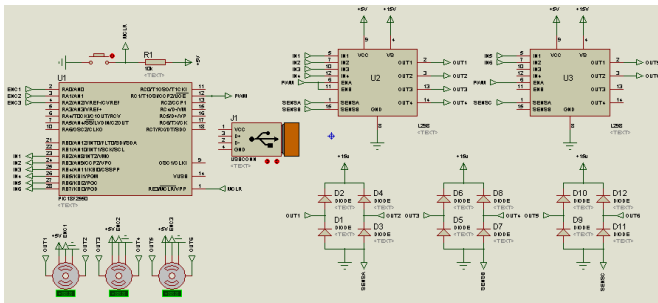


Fig. 4. Circuito de controle e de hardware em sua primeira atualização, feito no software Proteus 7.7

O firmware do microcontrolador desse projeto consistiu nos seguintes parâmetros:

- Chaveamento das entradas dos motores de corrente contínua, definindo o sentido de rotação dos mesmos;
- Controle proporcional do posicionamento dos três DOF's por meio de uma única modulação de largura de pulso (PWM);
- Realimentação proveniente dos sensores de posição (potenciômetros) acoplados às juntas do robô;
- Comunicação USB entre o microcontrolador com um software em C#, através do qual recebe os parâmetros de posicionamento para o qual o robô deve se deslocar.

O circuito desenvolvido nessa primeira atualização consistiu em uma única placa que abarcava o sistema de controle (microcontrolador) e o hardware (drive de potência) do braço robótico (Figura 5).

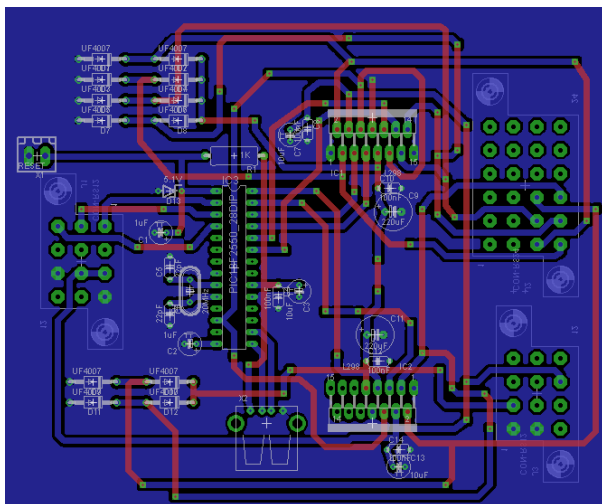


Fig. 5. Layout da placa de controle e potência em sua primeira atualização no software EAGLE 5.9.

Para realizar o controle do robô, foi desenvolvido um software na plataforma “.NET” em linguagem computacional C#. Este programa é responsável pelo envio de instruções de posicionamento das juntas dos motores. Esses dados são enviados através do barramento USB até o microcontrolador

que por sua vez processa a informação e executa os comandos para controle dos motores.

Por meio do software desenvolvido em C# e do Proteus, foi efetuada a simulação do circuito projetado para o MA2000. O Proteus emulou um microcontrolador que estabeleceu uma conexão USB com o software em C#. Via software foram controlados os ângulos de posicionamento para os três primeiros DOF do braço e a razão cíclica do PWM. O funcionamento da simulação pode ser verificado pelo Virtual USB, ferramenta do Proteus usada para simular os dados transmitidos na conexão serial (Figura 6).

Na simulação prática realizou-se o controle dos três primeiros graus de liberdade do MA2000.

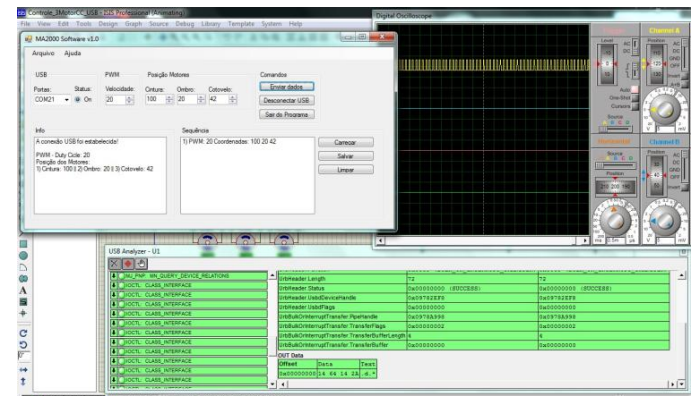


Fig. 6. Simulação do Software e do circuito do MA2000 em funcionamento através do Proteus e do C#.

A razão para o controle dos motores se restringirem apenas a esses graus de liberdade se justificou pelo fato de serem circuitos de maior complexidade a serem implementados, haja vista que os últimos três graus de liberdade são referentes a servomotores, que, por sua vez, requerem um controle simples em comparação com o MCC acoplado ao sensor de posicionamento.

A simulação apontou o controle adequado dos três primeiros graus de liberdade do MA2000, de forma que os motores apresentaram estabilidade em sua fase de operação, sem indícios de oscilação em seu funcionamento.

Entretanto, na execução prática do circuito, essa atualização apresentou falhas que não foram detectadas na simulação. O braço robótico não apresentou controle dos motores, de forma que não foi possível estabelecer um posicionamento fixo (o robô oscilava, nunca fixando em uma posição). Isto ocorreu pelo fato de não ter sido realizado um controle proporcional para cada motor de forma exclusiva, já que foi utilizado um único canal PWM para os três controles.

A localização do drive de potência, posicionado próximo ao microcontrolador, foi problemática. Os ruídos gerados pelo funcionamento dos motores interferiam no funcionamento do microcontrolador, de forma a reiniciá-lo aleatoriamente.

As soluções para o problema seriam: desmembrar o microcontrolador e o driver de potência em circuitos diferentes e utilizar três canais PWM para os três primeiros DOF. Pelo fato de os problemas serem referente ao projeto físico do circuito e o microcontrolador não ser adequado para a tarefa (o PIC18F2550 possui apenas dois canais PWM) não seria possível reparar os erros utilizando o mesmo projeto.

Dessa forma, a motivação para o projeto vigente é propor uma reformulação do projeto de hardware e controle feito.

II. EMPREGO DA ARQUITETURA ARM PARA CONTROLE

A. Requisitos para o microcontrolador

Para atender aos requisitos do projeto, o microcontrolador a ser utilizado deveria ter como características:

- Seis módulos PWM, destinados para cada um dos DOF;
- Conversor A/D com no mínimo quatro canais;
- Sete pinos de saída (GPIO), para chavear os MCC e para acionar o atuador;
- Conexão USB.

Foi adquirido um kit de desenvolvimento em microcontrolador ARM7-LPC2148 produzido pela empresa STHS, que atendia às exigências deste projeto (Figura 7) [7].



Fig. 7. Kit de desenvolvimento em microcontrolador ARM7-LPC2148

O microcontrolador em questão possui USB 2.0, Conversor A/D 10 bits, 2 Timers de 32bits, 6 módulos entre outros atributos.

B. Firmware

O microcontrolador foi programado de forma a realizar o controle dos motores de corrente contínua referentes aos três primeiros graus de liberdade do robô (*Waist, Shoulder e Elbow*), o controle dos servomotores referentes aos três últimos graus de liberdade (*Pitch, Yaw e Roll*) e do atuador (Garra), como mostra a Figura 8.

Em suas instruções, o dispositivo recebe a realimentação proveniente dos sensores de posição das juntas dos MCC e do sensor de abertura da garra pelas portas referente ao conversor analógico-digital. O sinal de referência para definir o posicionamento das juntas e se a garra deve permanecer fechada ou aberta é proveniente do software conectado ao microcontrolador através do seu barramento USB. O controle do posicionamento dos três primeiros DOF's é feito por meio do controle proporcional efetuado pelo microcontrolador. A comparação entre o sinal de realimentação e o sinal de referência resulta em um sinal de erro do compensador implementado no LPC2148, de forma a variar a razão cíclica do PWM que será enviado ao drive de potência. O conversor *full-bridge* atuará nos MCC de maneira a anular o erro de

deslocamento angular. O controle dos três últimos DOF's é feito apenas com o ajuste da razão cíclica do PWM, que varia de 5 a 10% em uma frequência de 40-60Hz. Cada um desses pulsos é direcionado para um servomotor.

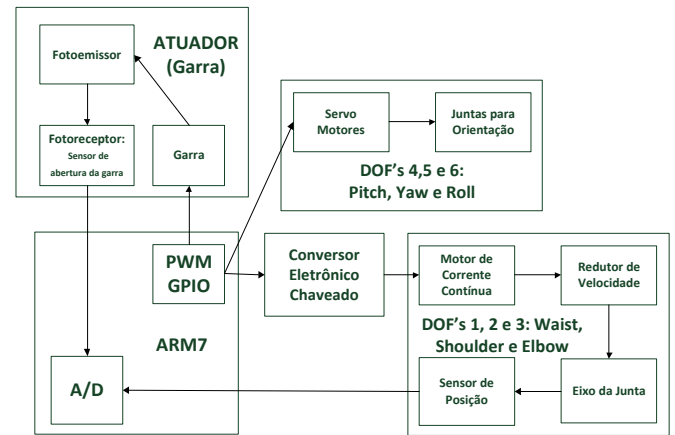


Fig. 8. Diagrama de blocos para operação do robô após a atualização tecnológica

III. REFORMULAÇÃO DO HARDWARE

A. Uso do Circuito Integrado L298 em modo paralelo

O circuito integrado L298 apresenta dois *drivers* de *full bridge*. Esse componente possui pequena dimensão, o que contribui para a dificuldade em acessar os seus pinos (Figura 9).

Ao utilizar os dois *drivers* de um único CI L298 para dois motores distintos, o *layout* da placa de circuito fica restrito quanto à construção das trilhas de conexão, pois esta se encontram próximas umas das outras. Esse tipo de operação limita a corrente máxima a percorrer o componente em 2 Ampères.

Com o propósito de possibilitar um projeto de circuito com maior flexibilidade no posicionamento das trilhas foi optado por realizar a ligação dos CI's em paralelo, conforme a Figura 10. Com isso o desempenho do drive de potência melhorou, de forma aumentar o limite da corrente máxima a ser percorrida pelo CI de 2 para 4 Ampères.

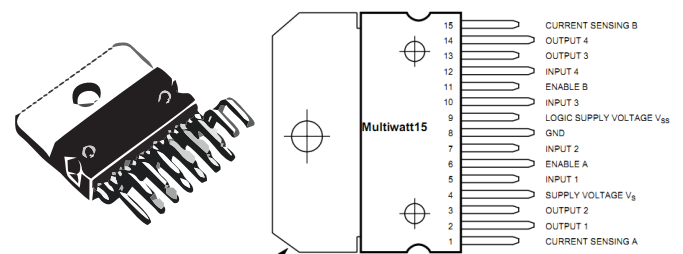


Fig. 9. L298 e seus pinos

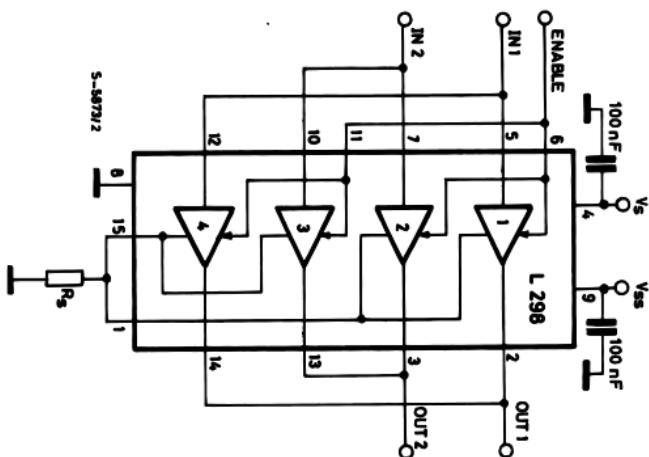


Fig. 10. Diagrama de blocos do L298 em ligação paralela das entradas e saídas em paralelo.

B. Reformulação do hardware do MA2000

O novo projeto consiste em dois circuitos distintos: um de controle, que é composto pelo kit de desenvolvimento do microcontrolador ARM7, e outro composto pelos circuitos integrados *full bridge*, diodos de roda-livre e conectores (Figura 11).

O circuito conta com três CI's L298 ligados em modo paralelo. Cada um desses circuitos integrados é dedicado para um motor de corrente contínua específico. Os servomotores não necessitam de um conversor eletrônico de potência externo tal como os MCC, sendo controlados diretamente pelos PWM enviados pelo microcontrolador.

Os conectores da placa de potência foram dispostos de forma a facilitar a conexão com a placa de controle e com os conectores do robô (motores, atuador, potenciômetros, entre outros) conforme pode ser visualizado na figura 12.

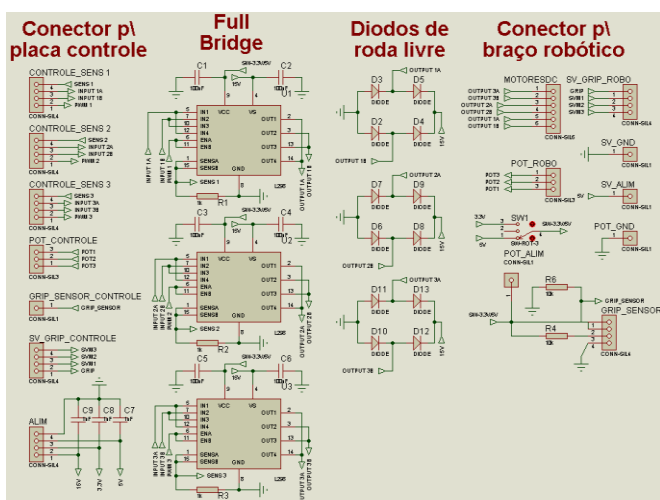


Fig. 11. Projeto do circuito de controle dos MCC, servos e atuadores no *Software Proteus 7.8*

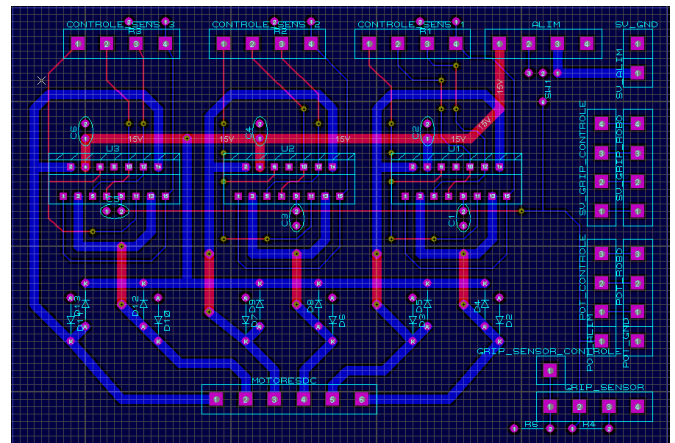


Fig. 12. Layout da placa de potência no *software ARES 7.7*

IV. CONCLUSÕES

Este artigo resultou da continuidade do trabalho de atualização tecnológica do robô MA2000 da FEELT iniciado em projeto anterior.

A separação dos circuitos de controle e de potência em placas distintas possibilitará a resolução do problema de interferência ocasionado pelas impedâncias dos motores que ocorreu no projeto anterior.

A utilização do L298 em modo paralelo aumentou o limite de corrente máxima do CI, e, junto com a utilização de novos conectores de trilha, possibilitou a elaboração de uma placa de circuito mais otimizada, diferente do circuito da atualização anterior no qual os conectores eram pré-definidos.

O emprego do ARM7 adequou o manejo de cada um dos MCC, por possuir uma quantidade de módulos PWM suficientes para atender ao controle proporcional para os três primeiros DOF's.

Com os resultados obtidos em sua primeira atualização, e, principalmente, ao detectar suas falhas técnicas, foi possível propor soluções para viabilizar a operação correta do dispositivo robótico, garantindo a sobrevivência do equipamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Automação, Servomecanismos e Controle (LASEC) pela disponibilização do espaço físico e dos componentes utilizados na confecção do *hardware* atualizado, aos colegas e aos professores deste núcleo pelo apoio neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. T. G. Mariano, J. C. Pulheiz, C. A. Bissochi Jr, A. M. de Freitas, "Desenvolvimento do Software e Atualização do Hardware e Firmware do Braço Robótico MA2000".
- [2] F. Pazos, "Automação de Sistemas e Robótica", pp.257, Axcel Books do Brasil, Rio de Janeiro, 2002.
- [3] J. M. Rosário, "Princípios de Mecatrônica", pp.154, Pearson Prentice Hall, 2005.
- [4] TeqQuipment, manual do Robô MA2000.
- [5] STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES, datasheet L298 Dual Full-Bridge Driver, Itália, 2000.

- [6] J. Schonek, “Pulsador Reversível para a Alimentação de uma Máquina de Corrente Contínua nos Quatro Quadrantes do Plano Torque Velocidade”. Anais II do Congresso Brasileiro de Aeronáutica, Florianópolis, SC, 1978.
- [7] NXP, Datasheet LPC2148