

PROJETO VERTICALMENTE INTEGRADO DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA PARA DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DOS CURSOS ENGENHARIA ELÉTRICA E AUTOMAÇÃO

Resumo: Este documento apresenta o trabalho de pesquisa, projeto e desenvolvimento realizado em uma célula de manufatura integrada, no laboratório da Universidade Luterana do Brasil. Trata-se de uma atividade na qual os alunos têm a oportunidade de desenvolver todo o sistema de controle de uma pequena planta de manufatura real, desde os próprios controladores para braços robóticos até os sistemas supervisórios e comunicação em rede. Devido à sua abrangência e complexidade, esta atividade apresenta um alto nível de interdisciplinaridade e exigência de trabalho em equipe, integrando conceitos de programação, eletrônica digital e de potência, redes industriais, sistemas robotizados e supervisórios, entre outros. A primeira etapa do projeto trata da implementação de um controlador para um robô industrial, baseado no desenvolvimento dos drivers e da unidade de controle, esta última dividida em controle central e teach pendant, ferramenta de operação manual do robô e programação.

Palavras-chave: Automação. Controle. Projeto verticalizado. Plataforma didático-pedagógica. Robótica.

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios dos cursos da área de engenharia é apresentar situações e problemas reais a seus alunos, de forma a prepará-los para o futuro exercício da profissão. Existem experiências externas, como a do programa VIP (*Vertically-Integrated Projects*) da Universidade Americana Georgia Tech's, que possibilita ao graduando atuar desde cedo em um contexto de pesquisa e desenvolvimento [BAXTER, 2011] ou a experiência da Universidade Coreana Inha, na qual os alunos inseridos no programa VIP percebem uma melhora no aprendizado, além do sentimento de satisfação pela participação nos projetos multi-semester e integrados com outras áreas do conhecimento, não somente a engenharia [CHOI, 2017].

Com o objetivo de implementar um programa de integração vertical, propôs-se a utilização do Laboratório de Manufatura Integrada (LabCIM) da Universidade Luterana do Brasil, para pesquisa e desenvolvimento de projetos de sistemas de acionamento, controle e automação.

O LabCIM inclui oito estações de trabalho que implementam em escala reduzida todo um processo produtivo (FMS) englobando: planejamento de produção; estoque de matéria prima; operações de usinagem em torno e um centro de usinagem, ambos comandados por comando numérico (CN) FANUC e robôs da ESHED ROBOTEC, modelo SCORBOT ER IX; operações de soldagem com Inversor Miler profissional e com robô YASKAWA, também profissional, gravação a laser no produto para rastreabilidade, realizada por uma máquina e, por fim, operações de montagem com inspeção e controle de qualidade por visão.

Neste laboratório, os alunos têm a oportunidade de participar das diversas etapas de desenvolvimento para a implantação de uma indústria 4.0, desde o hardware do controlador até sistemas de integração e disponibilidade de dados em nuvem.

No primeiro semestre de 2015 teve início o projeto de pesquisa e desenvolvimento, comandado por um grupo de professores dos cursos de engenharia elétrica, engenharia mecânica e curso superior de tecnologia em automação industrial. Atualmente quinze alunos dos programas de graduação, pesquisa e extensão participam diretamente deste projeto, mas o mesmo envolve

indiretamente um grupo maior de estudantes em atividades tais como trabalhos de conclusão e atividades voluntárias.

O projeto verticalizado foi dividido em diversas etapas conforme a distribuição apresentada a seguir:

- Controlador para o braço robótico, descrito neste artigo;
- Sistema supervisor para coleta de dados de energia, obtidos através do Multimetro PH3100 da Altus e do controlador programável Siemens S7-1500, que ficarão disponíveis na nuvem;
- Comunicação em rede Profinet (desenvolvimento do *gateway*), rede de integração de dados realizada com o uso do KIT de Desenvolvimento ERTEC 200P (Enhanced Real-Time Ethernet Controller);
- Gestão da energia consumida no sistema, através da monitoração de cargas, utilizando redes neurais artificiais para inferir métricas, reduzindo a quantidade de sensores necessários para apoiar os algoritmos de tomada de decisão.

As atividades de cada uma dessas etapas são desenvolvidas por um aluno ou grupo de alunos, sob a supervisão dos professores responsáveis pela respectiva atividade acadêmica no qual está vinculada (trabalho de conclusão, estágio ou pesquisa).

A distribuição das atividades conforme apresentado permite que cada etapa possa ser desenvolvida de forma independente. Neste conceito modular, melhorias e modificações podem ser implementadas posteriormente sem afetar as outras etapas. A integração de dados e comandos se dá através de um protocolo de comunicação ou por acesso à nuvem.

A primeira etapa do trabalho do projeto verticalizado, descrita no presente artigo, é o desenvolvimento de um controlador para um braço robótico. O braço robótico controlado é um modelo SCORBOT ER IX, da ESHED-ROBOTEC, cujo controlador original está obsoleto.

O projeto para a implementação do novo controlador se baseia no desenvolvimento dos *drivers* e da unidade de controle, esta última dividida em controle central e *teach pendant*, que é a ferramenta de operação manual do robô e programação [CRAIG, 2012]. O projeto de pesquisa e desenvolvimento teve seu início no primeiro semestre de 2015 e está em andamento e já envolveu cinco alunos.

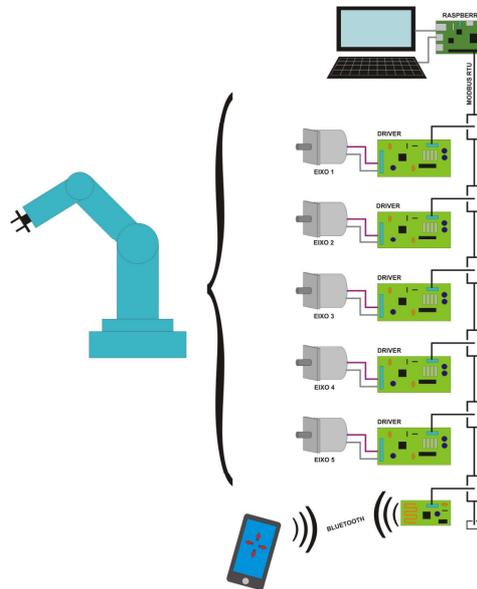
2 DESENVOLVIMENTO

Conforme citado, o desenvolvimento do controlador para o braço robótico, a fim de organizar e evitar sobreposição de atividades, foi segmentado em etapas:

- Unidade de controle;
- Drivers de potência;
- *Teach pendant*.

A Figura 1 apresenta o diagrama simplificado do controlador, com as suas partes: unidade de controle, drivers de potência, *teach pendante* e supervisor.

Figura 1: Diagrama do controlador



2.1 Controlador: Unidade de controle (CPU)

A unidade de controle gerencia os parâmetros operacionais do robô, calculando os comandos enviados aos atuadores com base nas informações dos sensores e na programação de movimento [MATARIC, 2014].

Devido à sua versatilidade e relação custo-benefício, foi proposta a criação de uma Unidade de Controle baseada na plataforma RaspBerry Pi 3. Além disso, esta plataforma também possui conexões USB, ethernet, saída de vídeo HDMI, diversos pinos de I/O (entrada/saída) e pode utilizar o sistema operacional baseado em código aberto (Linux).

Como pré-requisitos, a unidade de controle deverá apresentar os seguintes recursos e funcionalidades:

- Comunicação com os demais periféricos do robô, sendo o mestre de uma rede ModBus RTU, comunicando com os escravos da rede (*drivers* de potência dos motores e *Teach Pendant*);
- Programação em linguagem Python, facilitando a portabilidade e integração entre projetos;
- Execução de cálculos de posicionamento, utilizando-se conceitos de cinemática direta e inversa com a parametrização de Denavit-Hartenberg. Por meio deste será possível obter o posicionamento no plano cartesiano X, Y e Z ou a partir do posicionamento cartesiano e o vetor orientação do manipulador se obter os ângulos de cada eixo para tal posição;
- Interface gráfica para acesso do usuário e programação do robô de acordo com as aplicações desejadas, sem a necessidade de outro computador;
- Possibilidade de armazenar as coordenadas de diversas posições do robô e executar rotinas diversas utilizando as posições armazenadas na CPU, na ordem desejada;
- Comunicação com um sistema externo em protocolo ModBus TCP/IP ou Profinet.

2.2 Controlador: *Driver* de potência

Os motores de todos os braços robóticos usados no projeto são servo-motores CC com *encoder* tipo incremental. Dessa forma, propôs-se o desenvolvimento de uma placa universal para acionamento desses motores. Devido à característica modular do sistema, pode-se implementar uma placa para cada eixo do braço, sendo o número de placas igual ao número de eixos do mesmo. As especificações para essa placa são:

- Comunicação através de protocolo MODBUS RTU: a comunicação entre cada uma das placas e a Unidade de Controle será feita através de rede MODBUS. As placas serão escravos na rede, sendo que cada uma deverá possuir um endereço específico;
- Proteção do motor: a fim de evitar danos ao motor, a placa deverá possuir proteção contra sobretensão e sobrecorrente. Para tanto, é necessário monitorar continuamente a tensão e a corrente elétrica do mesmo;
- Controle PID: em um processo de manufatura, velocidade e precisão nos movimentos são fundamentais tanto para qualidade final do produto quanto para a produtividade. Dessa forma, após receber os dados da nova posição enviada pela Unidade de Controle, o motor deverá ser acionado utilizando o controle PID, de forma a reduzir o tempo de acomodação e eliminar o erro;
- Portabilidade: a proposta para o driver de potência é uma placa versátil, que possa ser empregada para o acionamento da maioria dos motores da CIM sem necessidade de alterações no hardware. Uma vez que os motores são fisicamente diferentes e utilizados em eixos diferentes, alguns parâmetros devem ser configurados para sua correta utilização.

2.3 Controlador: *Teach Pendant*

Também chamado de Painel de Controle Manual, o *Teach Pendant* tem a função de controlar o movimento das articulações do robô manualmente, permitindo que o programador direcione o braço do mesmo até as posições desejadas e faça o seu registro [FILHO, 2001].

Tendo em vista a facilidade de acesso a *smartphones*, foi proposta a implementação de um *Teach Pendant* em plataforma Android, capaz de comunicar-se com a Unidade de controle através de comunicação sem fios (Bluetooth). Dessa forma, tendo em vista a portabilidade e flexibilidade do sistema proposto, este equipamento poderá, com algumas mudanças, ser empregado em outros projetos didáticos, mesmo em escolas de ensino médio, com um custo bastante reduzido.

3. RESULTADOS

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos até então com o desenvolvimento desse projeto. No caso da placa do Driver de Potência, por exemplo, é apresentada a evolução no desenvolvimento da mesma, desde a primeira até a terceira versão (atual), destacando suas melhorias. Outros componentes do projeto, como a Unidade de Controle e o *Teach Pendant* estão ainda na sua primeira versão.

3.1 Controlador: Unidade de Controle (CPU)

A Unidade de Controle foi baseada na plataforma Raspberry Pi 3, empregando o sistema operacional embarcado Raspbian. Este sistema já possui interface gráfica amigável e possibilidade de programação em diversas linguagens.

No software desenvolvido, foi utilizada a comunicação Modbus, utilizando a biblioteca MinimalModBus e implementado o tratamento de erro de comunicação conforme API da biblioteca, que recomenda a utilização da função “*Try*” do Python.

A criação da interface gráfica foi realizada através da biblioteca TKinter e nela constam os “*labels*” que servem para identificar os botões e atualizar o usuário sobre o ângulo atual dos eixos.

Os botões, que iniciam as funções do programa e os espaços para entrada de dados, possibilitam ao usuário selecionar o eixo, a velocidade ou o espaço de memória do arquivo que se pretende utilizar.

O *software* para controle do robô foi desenvolvido em linguagem Python. A Figura 2 e a Figura 3 demonstram o fluxograma de operação do *software* e a rotina de gravação de posições do robô, respectivamente. Já a Figura 4 mostra a tela do supervisor implementado na unidade de controle (Raspberry).

Figura 2: Fluxograma de operação do software

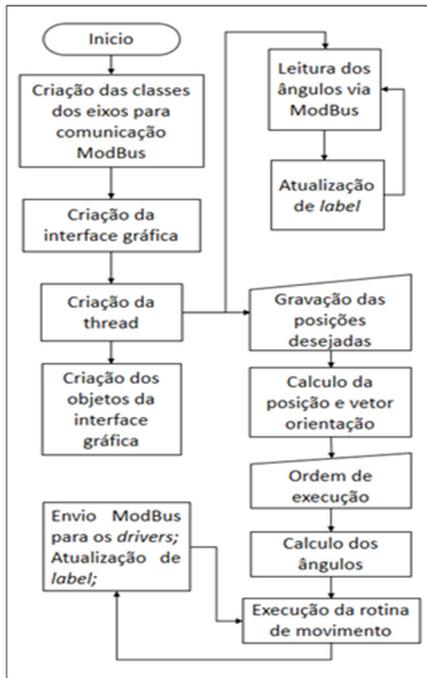


Figura 3: Fluxograma da rotina de gravação de posições

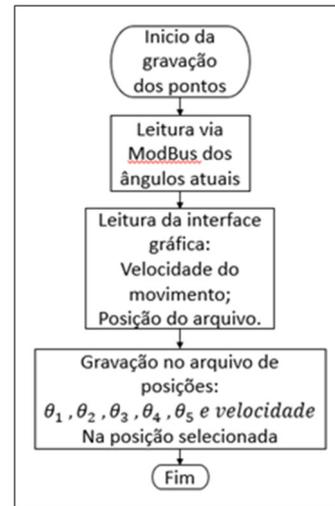
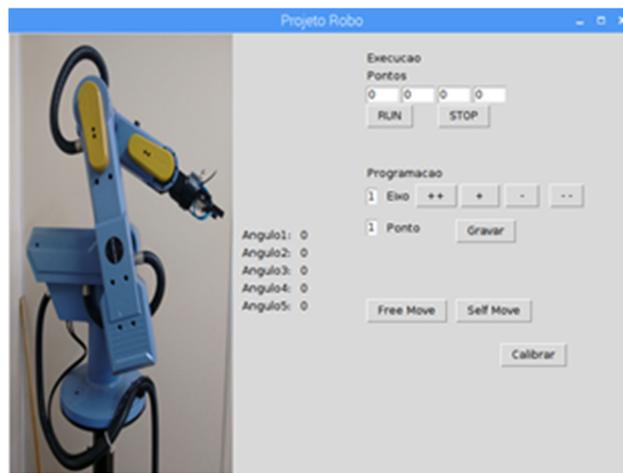


Figura 4: Supervisor implementado na Unidade de Controle



3.2 Controlador: Driver de Potência

A Tabela 1 apresenta as versões das placas confeccionadas para atuar como driver de potência para o acionamento dos motores, descrevendo as suas principais características.

Tabela 1: Versões do driver de potência dos motores

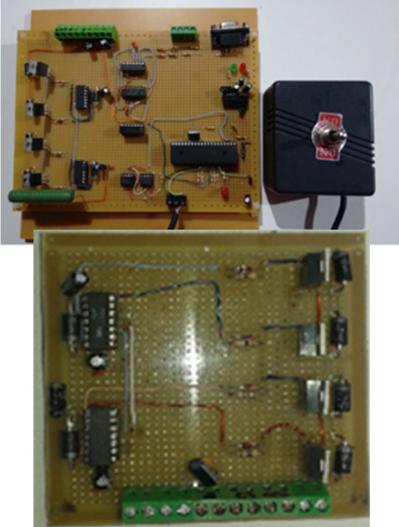
<p>Versão 1 Ano: 2015 (ROXO, 2015)</p>	<p>Versão 2 Ano: 2016 (MARTINS, 2016)</p>	<p>Versão 3 Ano: 2018</p>
		
<p>Funcionalidades e recursos</p>		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acionamento através de PWM ▪ Motores até 24 Vcc, 4 A ▪ 04 opções de velocidade ▪ Monitoração da corrente elétrica do motor ▪ Comunicação RS-232 ▪ Controle através de microcomputador ▪ Interface implementada em linguagem C++ (Figura 5) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acionamento através de PWM ▪ Motores até 12 Vcc, 5 A ▪ Controle da velocidade ▪ Monitoração da tensão e corrente elétrica do motor ▪ Comunicação RS-485 (Modbus RTU) ▪ Controle através de microcomputador ▪ Interface implementada em LabVIEW (Figura 6) ▪ Endereço específico por hardware (selecionável através de microchaves) ▪ Leitura de sensores de fim de curso ▪ Tratamento de erros do Protocolo (CRC) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acionamento através de PWM ▪ Motores até 24 Vcc, 5 A ▪ Controle da velocidade ▪ Monitoração da tensão e corrente elétrica do motor ▪ Comunicação RS-485 (Modbus RTU) ▪ Controle através de microcomputador ▪ Endereço específico por hardware (selecionável através de microchaves) ▪ Leitura de sensores de fim de curso ▪ Tratamento de erros do Protocolo (CRC) ▪ Eliminação de ruídos e fontes de erros na leitura do encoder ▪ Isolação da rede de comunicação ▪ Controle PID digital dos motores ▪ Separação das fontes de alimentação da parte de potência e da parte de processamento

Figura 5: Tela do sistema supervisorio, Versão 1 (ROXO, 2015)

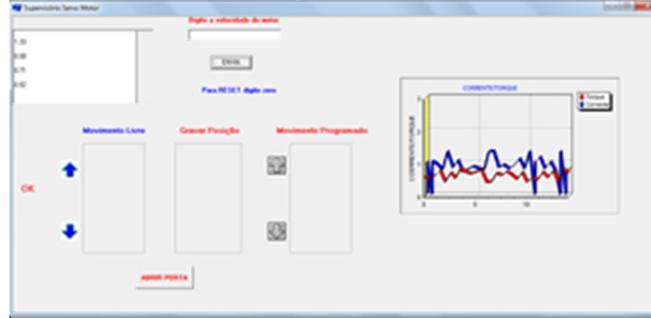


Figura 6: Tela do sistema supervisorio, Versão 2 (MARTINS, 2016)



3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste artigo foi apresentado o desenvolvimento de um sistema de controle de braços robóticos, assim como os resultados já obtidos com este projeto. Esta etapa é componente de um projeto maior, que é a Plataforma Didático-Pedagógica Aplicada de Competências de Automação, integrando extensão, pesquisa e ensino.

Pode-se citar como resultados deste projeto a maior aproximação dos alunos com problemas reais de engenharia, integração de conhecimentos interdisciplinares e integração entre equipes. A participação colaborativa e interdisciplinar dos alunos permitiu aos alunos vencer o desafio de desenvolver um sistema de controle para um robô que não estava mais em uso por problemas no controlador original.

Assim este sistema será utilizado para o ensino das disciplinas de Automação e Sistemas Robotizados para os cursos técnicos, de automação e engenharia.

Além dos temas abordados neste artigo e que estão em desenvolvimento atualmente, a proposta está em constante revisão e ampliação. Na continuidade das atividades será implementada a rede industrial ProfiNet para integração entre estações, gestão da energia consumida e disponibilização de dados em nuvem. O projeto ainda possibilita a integração de outras tecnologias, tais como redes neurais artificiais e processamento de imagens, por exemplo, visando o aumento da produtividade e controle de qualidade

REFERÊNCIAS

CRAIG, J. J.. **Robótica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

MATARIC, M. J.. **Introdução à robótica**. 1 ed., São Paulo: Unesp/Blucher, 2014.

FILHO, A. A.. **Fundamentos de Robótica. Versão 2.02**. São Paulo: CTA-ITA-IEMP, 2001.

BAXTER, Meredith, *et al.* **On Project-Based Learning through the Vertically-Integrated Projects Program**. 41st ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference. October 12 - 15, 2011, Rapid City, SD.

CHOI, Ji-Eun; KIM, Hale. **Vertically Integrated Projects (VIP) at Inha University, The effect of convergence project education on learning satisfaction**. 2017 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE). 12-14 December 2017, Hong Kong.

ROXO, W. W. **Controle Motor CC**. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2015.

MARTINS, R. dos S. **Sistema Básico de Controle para Robô**. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2016.

CASTRO, R. E; BIANCHI, A. L; KLEIN, J. D. de O; FACCIN, M. G; VILLAMAYOR, M. N. C; DEBACO, S. L. **Plataforma Didático-Pedagógica Aplicada de Competências de Automação Integrando Extensão, Pesquisa e Ensino**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Joinville, 2017.

VERTICALLY INTEGRATED PROJECT OF A MANUFACTURING CELL FOR DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE COURSES ELECTRICAL ENGINEERING AND AUTOMATION

Abstract: *This paper presents the research, design and development work carried out in an integrated manufacturing cell, in the laboratory of the Universidade Luterana do Brasil. In this activity the students have the opportunity to develop the entire control system of a small real manufacturing plant, from the controllers themselves to robotic arms to supervisory systems and network communication. Due to its breadth and complexity, this activity presents a high level of interdisciplinarity and teamwork, integrating concepts of programming, digital and power electronics, industrial networks, robotic and supervisory systems, among others. The first stage of the project deals with the implementation of a controller for an industrial robot, based on the development of the drivers and the control unit, the latter being divided into central control and teach pendant, a tool for manual operation of the robot and programming.*

Key-words: *Automation. Control. Vertical design. Didactic-pedagogical platform. Robotics.*