DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL EM CURSOS DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Geraldo Furtado Neto – geraldofurtado@gmail.com
Tatiana de Souza Lima – tattydesouza7@gmail.com
Lindolpho Oliveira de Araújo Junior – lindolpho@leopoldina.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus III
Rua José Peres, 558 – Centro.
36700-000 – Leopoldina – MG

Resumo: *A robótica é uma ciência nova que vem evoluindo ao longo dos anos. A mesma apresenta uma gama de áreas, fazendo com que ela se torne um campo multidisciplinar, que envolve conhecimentos da mecânica, computação e elétrica. Devido à evolução da indústria em todo o mundo e a necessidade de linhas de montagens cada vez mais rápidas e precisas, a robótica se apresenta como uma solução factível para auxiliar neste processo contínuo de evolução. Porém, por ser uma ciência ainda muito nova, principalmente em países que tiveram sua industrialização tardia, há um déficit no estudo desta disciplina dentro de instituições de ensino de graduação. Essa deficiência existe muitas vezes por falta de equipamentos que possam ser utilizados ao longo de aulas práticas. Muitas soluções vêm sendo apresentadas para reduzir este déficit, como o uso de kits de robótica educacional. Visando propor uma solução mais ampla para este problema, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia que está sendo seguida para a criação de uma ferramenta composta de um manipulador robótico e por um ambiente de programação, controle e simulação deste manipulador. Por se tratar de um projeto temático, algumas de suas fases já se encontram em desenvolvimento. O objetivo desta ferramenta é solucionar as dificuldades encontradas no ensino prático, e algumas das vezes teórico, da robótica. Esta ferramenta se tornará um laboratório que poderá ser utilizado tanto para o ensino, como também para a pesquisa de novas técnicas de controle e programação de manipuladores robóticos industriais.*

Palavras-chave: *Modelagem, Programação, Robótica Educacional, Robótica Industrial*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se criar ferramentas que facilitem a atividade humana, tanto para as ações cotidianas quanto para as produtivas, é uma realidade existente desde os tempos antigos. A idéia que estas ferramentas fossem capazes de executar trabalhos sem

a necessidade de um homem manipulando-as é tão antiga quanto à primeira. Isso é evidenciado com a descrição por parte de Aristóteles de instrumentos que executariam tarefas sem o auxílio da mão humana. Mais de mil anos depois das descrições de Aristóteles, a palavra robot é utilizada pela primeira vez pelo dramaturgo Karel Capek, em uma peça teatral intitulada Rossum's Universal Robots. Desde então, a robótica vem evoluindo em todos os seus campos de conhecimento (ROSÁRIO, 2005).

A robótica é um ramo multidisciplinar que abrange conhecimentos das áreas de mecânica, elétrica e computação. Ela tem como base o estudo de sistemas compostos de partes mecânicas e elétricas, capazes de realizar tarefas similares ao seres vivos ou máquinas não automatizadas, controlados de forma manual ou automática por um sistema computadorizado. Com o avanço da produção industrial, fez-se cada vez mais necessário o avanço da robótica, para a substituição do homem em áreas que o mesmo já não era tão eficiente (WEINBERG, 2001).

Um robô industrial é definido pela norma ISO 10218 como sendo uma "Máquina manipuladora, com vários graus de liberdade, controlada automaticamente, reprogramável, multifuncional, que pode ter base fixa ou móvel para utilização em aplicações de automação industrial" (ROMANO & DUTRA, 2002). O início da robótica industrial se dá no começo da segunda metade do século XX. O objetivo principal destes equipamentos era a transferência de objetos de um ponto para o outro. Com a evolução de componentes, como os motores elétricos utilizados nas juntas, os materiais usados na construção, e até mesmo dos circuitos eletrônicos empregados na parte de controle dos manipuladores, os robôs industriais vem se tornando equipamentos cada vez mais ágeis e precisos, e por conseqüência, indispensáveis no cenário da produção industrial. O uso destes equipamentos torna os processos mais econômicos e eficientes, impulsionando o crescimento da indústria (PIRES, 2003).

Segundo a Federação Internacional de Robótica existiam em operação no mundo no final de 2011 cerca de 1,4 milhões de robôs industriais, porém menos de 9 mil destes se encontravam na America Central e do Sul. O crescimento do número de robôs no mundo aumentou cerca de 9% no ano de 2011, um valor elevado em relação aos três anos anteriores onde o crescimento acumulado foi menor que 1%. No ano de 2011 ocorreu um aumento de 125% nas vendas de robôs para o Brasil, chegando a 1.440 unidades no ano. No cenário internacional o Brasil aparece entre os países que impulsionarão o crescimento da indústria da robótica industrial nos próximos três anos (IFR, 2013). Todos estes dados, nos permitem afirmar que o uso de robôs pela indústria brasileira está em crescente aumento, e por consequência a mesma necessita de profissionais aptos a trabalharem com este tipo de equipamento.

Visto esta demanda por profissionais capacitados para trabalhar com robôs industriais, fica clara então a necessidade de se intensificar o ensino desta ciência dentro das universidades do país.

A utilização de kits de robótica, como o Lego MindStorms, Super Robby, Cyberbox, DWS Robotics, Robokit, vem crescendo em larga escala dentro das universidades do Brasil (DE CARVALHO & GRECHI, 2008). O uso destes equipamentos permite criar robôs com características semelhantes aos industriais, possibilitando aos usuários um primeiro contato com esta tecnologia antes do ingresso no mercado de trabalho. Estes kits tornaram-se atrativos para o uso em cursos de graduação devido ao seu custo muito reduzido em relação aos manipuladores industriais, a sua facilidade de montagem e modificação de configurações, e as várias plataformas de programação e simulação que vem surgindo. Mesmo com todas estas vantagens, estes kits apresentam desvantagens que podem ser críticas para o ensino de

robótica nos cursos de graduação. Devido à estrutura proprietária de muitos destes kits, pontos importantes para o estudo de robótica como a cinemática e dinâmica dos manipuladores, características de montagem, como acoplamento e calibragem, ficam restritas ao usuário final. Assim como o controle dos robôs, que muitas vezes fica restrito a um software de arquitetura fechada, ou que permite o mínimo de alteração por parte do usuário, prejudicando a evolução do ensino.

Uma solução muitas das vezes apresentada, mas pouco viável, é a aquisição por parte da universidade de manipuladores robóticos de nível industrial. Porém, o custo de aquisição e manutenção destes equipamentos é elevado para os padrões da universidade brasileira. Ainda que a aquisição destes equipamentos seja possível, os mesmos apresentam quase sempre as mesmas desvantagens acerca dos kits didáticos, impossibilitando ao aluno um estudo aprofundado e amplo da robótica industrial em nível intrínseco.

A certeza que se pode ter a partir das informações já apresentadas neste artigo, é que o ensino de robótica industrial é ainda deficitário em relação à necessidade apresentada pela indústria.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é criar uma ferramenta que visará contemplar todos os aspectos necessários para o ensino completo de robótica industrial. Esta ferramenta será composta de um manipulador robótico com 5 graus de liberdade, uma placa de controle e comunicação e um ambiente visual de programação e simulação. O principal diferencial desta ferramenta será a possibilidade de modificação por parte dos alunos, de toda a metodologia de controle, comunicação e simulação. Esta ferramenta se tornará um laboratório experimental de diferentes técnicas de controle de manipuladores, ou mesmo técnicas de modelagem cinemática e dinâmica.

2. ROBÓTICA INDUSTRIAL

Dentro do estudo da robótica industrial existem conceitos básicos que são relevantes para o entendimento mínimo sobre o tema.

Um robô industrial é composto por uma cadeia linear de vínculos e juntas. Uma junta robótica é a conexão entre dois vínculos. Existem três diferentes tipos de juntas robóticas, as juntas deslizantes que proporcionam o movimento linear entre duas juntas, as juntas de rotação que proporcionam o movimento de rotação entre os dois vínculos e as juntas de bola-e-encaixe que possibilitam o movimento em torno dos três eixos (ROSÁRIO, 2005). Na Figura 1 podem ser observados estes três tipos de juntas.

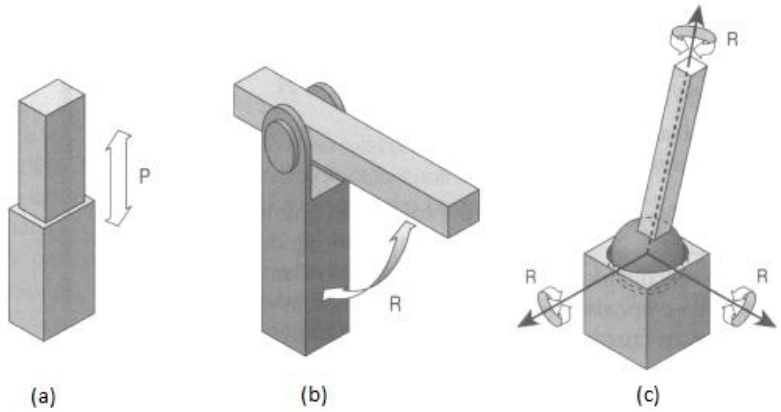

Figura 1 – Junta deslizante (a), rotação (b) e bola-e-encaixe (c)

Os robôs industriais ainda podem ser classificados segundo o número de graus de liberdade que os mesmos possuem. O número de graus de liberdade está normalmente associado à quantidade de juntas que o manipulador possui, porém se uma das juntas possibilitarem o movimento em mais de um eixo, a mesma possuirá mais de um grau de liberdade. A maioria dos robôs industriais possui entre quatro e seis graus de liberdade.

Dois conceitos que devem ficar claros são as coordenadas de juntas e coordenadas cartesianas. As coordenadas de juntas são os ângulos referentes a cada grau de liberdade do manipulador, já as coordenadas cartesianas representam a localização no espaço do atuador final. O atuador final é o último vínculo ou ferramenta do manipulador.

A modelagem cinemática de um manipulador robótico é um tema importante a ser abordado dentro de sala de aula. Existem dois tipos de modelagem cinemática, a direta e a inversa. A cinemática direta de um manipulador robótico define a transformação das coordenadas de juntas para coordenadas cartesianas, ou seja, a partir de um conjunto de ângulos referentes às juntas pode-se se estabelecer em qual ponto do espaço o atuador final se encontra. O método mais difundido para se estabelecer a cinemática direta de um manipulador é o Algoritmo de Denavit-Hartenberg (DENAVIT & HARTENBERG, 1955). Este algoritmo consiste na obtenção de uma matriz de transição homogênea para cada grau de liberdade deste manipulador. Para a obtenção desta matriz devem ser estabelecidos os quatro parâmetros de Denavit-Hatenberg de cada junta, estes parâmetros são:

- θ_i: ângulo de rotação em torno do eixo Z_{i-1};
- d_i: distância da origem do sistema i-1 à intersecção dos eixos Z_{i-1} e X_i, medida sobre o eixo Z_{i-1};
- a_i: é a distância da intersecção de Z_{i-1} e X_i à origem do sistema i, medida sobre o eixo X_i;
- α_i: é o ângulo de rotação em torno de X_i, medido de Z_{i-1} à Z_i.

Na Figura 2 é mostrada uma ilustração de juntas robóticas através da notação de Denavit-Hartenberg. São dois links conectados por uma junta móvel com duas superfícies que deslizam uma sobre a outra e permanecem em contato.

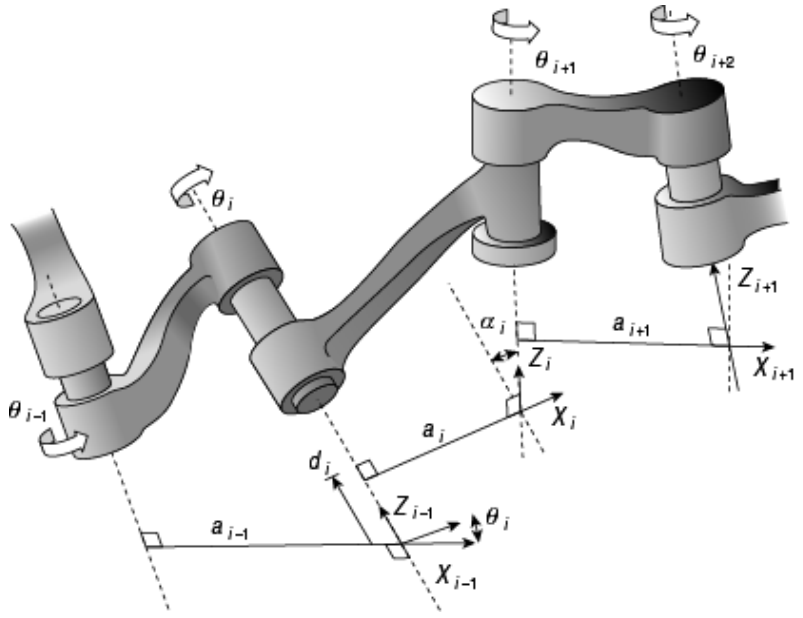

Figura 2 – Notação de Denavit-Hatenberg (ROSÁRIO, 2005)

Já a cinemática inversa de manipuladores apresenta uma grande complexidade para ser resolvida. Este problema consiste na obtenção das coordenadas de junta a partir das coordenadas cartesianas do manipulador final (PAUL, 1981). A obtenção da cinemática inversa é extremamente importante, pois é através dela que se podem definir trajetórias no espaço e fazer com que o manipulador a siga. Existem diferentes técnicas para a obtenção da cinemática inversa. Porém, diferente do algoritmo de Denavit-Hatenberg, essas técnicas não são gerais e só podem ser utilizadas em manipuladores específicos. Com o avanço da computação, técnicas de métodos numéricos vêm sendo utilizadas como maior freqüência para a solução deste problema.

Dentro do estudo da robótica industrial existem outros temas como a dinâmica dos manipuladores, sistema de controle de colisão, métodos de programação, dentre outros, que não serão abordados neste trabalho, mas que poderão ser objetos de estudos para trabalhos futuros, utilizando a ferramenta que será descrita ao longo das próximas seções.

3. METODOLOGIA

Este trabalho possui três frentes principais que são, o desenvolvimento físico do manipulador, que é composto basicamente do projeto, montagem e calibração do manipulador, o desenvolvimento da placa de controle e comunicação, que consisti da criação de um circuito de controle para os servos motores e de um circuito de comunicação com o PC, e por fim a etapa de programação e construção da interface gráfica, que contempla desde a modelagem cinemática até a criação de um ambiente de controle e simulação do dispositivo a ser construído. Na Figura 3 pode ser observado um esquema de ligação entre estas três frentes de trabalho.

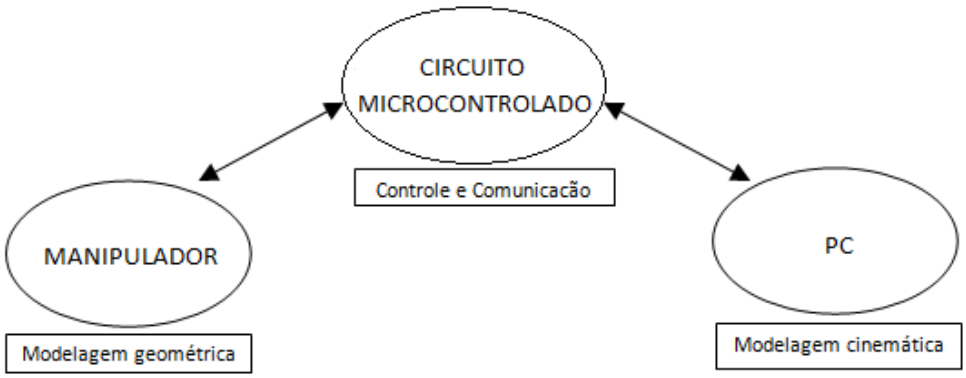

Figura 3 – Esquema de ligação do projeto

Ao longo de cada uma destas etapas haverá a preocupação de possibilitar ao usuário final, no caso os alunos, vislumbrarem de maneira clara cada método e técnica utilizada para a elaboração do projeto. Além desta preocupação, o projeto visará ser o mais modular possível, propiciando o estudo parte a parte da construção da ferramenta.

A modularidade deste trabalho permite que o mesmo seja executado por diferentes pessoas, e é o que já vem acontecendo. Encontram-se trabalhando no desenvolvimento desta ferramenta, três alunos de graduação, dois de Engenharia de Controle e Automação e um de Engenharia Elétrica, sendo este último intercambista francês, e dois alunos de nível técnico, um do curso Técnico de Mecânica e o outro do curso Técnico de Eletrotécnica.

A metodologia proposta possibilitará ao aluno um conhecimento avançado de todas as etapas do trabalho, o que lhe permitirá propor modificações na arquitetura utilizada, que é um dos principais objetivos do projeto. Desta forma o aluno poderá propor e implementar novos métodos de modelagem cinemática, de controle do dispositivo, novas técnicas de interpolação de movimentos, e também terá um conhecimento amplo do projeto, possibilitando a crescente evolução da ferramenta e implementação de novas tecnologias ao projeto.

Algumas etapas do projeto já se encontram em desenvolvimento, desta forma algumas partes da ferramenta encontram-se em fase de testes, isoladamente.

3.1. Desenvolvimento do protótipo

No início desta etapa realizou-se uma pesquisa de mercado para manipuladores robóticos e em artigos acadêmicos sobre o tema, visando encontrar um modelo de manipulador de 5 graus de liberdade mais popular dentre os pesquisados.

Findada a etapa de pesquisa e então definido o modelo do manipulador, foi dado início a etapa de projeto. Inicialmente será feito um modelo em CAD de todas as peças do manipulador e então gerado um modelo em 3D do mesmo. Esta modelagem será importante para estabelecer as proporções e após definir as dimensões, possibilitando a manufatura dos moldes para o corte das peças.

Para a manufatura dos vínculos do manipulador serão utilizadas placas de acrílico translúcidas de 2 mm de espessura. Este material foi escolhido devido ao seu custo benefício em relação ao demais. Outro fator que priorizou a escolha deste material foi a possibilidade de o aluno poder observar todas as ligações elétricas, acoplamentos mecânicos, dentre outras características, graças à transparência do material. Serão utilizadas chapas de material metálico ainda não definido, para a construção da base do manipulador.

Quanto aos motores utilizados para o movimento das juntas, foram escolhidos servos motores de pequeno porte, normalmente utilizados em aeromodelismo ou robótica móvel. Para os três primeiros graus de liberdade, serão usados servos motores mais robustos que os que serão utilizados nos dois últimos graus de liberdade, como também na abertura e fechamento da garra.

3.2. Controle e Comunicação

Inicialmente, será utilizada para realizar o controle dos 7 servos motores e para a comunicação entre o PC e o manipulador, o circuito que pode ser observado na Figura 4.

Este circuito possui como principais componentes o PIC16F628A, que tem como principal função receber os sinais de controle e gerar os pulsos PWM para o controle da posição dos servos motores, e o circuito MAX232N, que tem como função a decodificação serial dos sinais de entrada e saída do circuito de controle e comunicação com o meio externo.

Já foram realizados testes com este circuito utilizando os sete servos motores que serão utilizados na manufatura do manipulador, o mesmo apresentou um bom desempenho quanto à comunicação e controle dos servos. Porém ainda se encontra em fase de estudo, a necessidade da utilização de um circuito de potência entre os servos motores e a placa de controle, visando reduzir a potência exigida de forma direta do circuito de controle.

A comunicação com o PC será estabelecida através da conexão de um cabo serial entre o circuito de controle e a porta serial do computador. Encontra-se já em fase de desenvolvimento uma nova versão da placa com comunicação via USB e outras funcionalidades. Está projeto está sendo desenvolvido por um aluno de intercâmbio da Universade Joseph Fourier, de Grenoble-França.

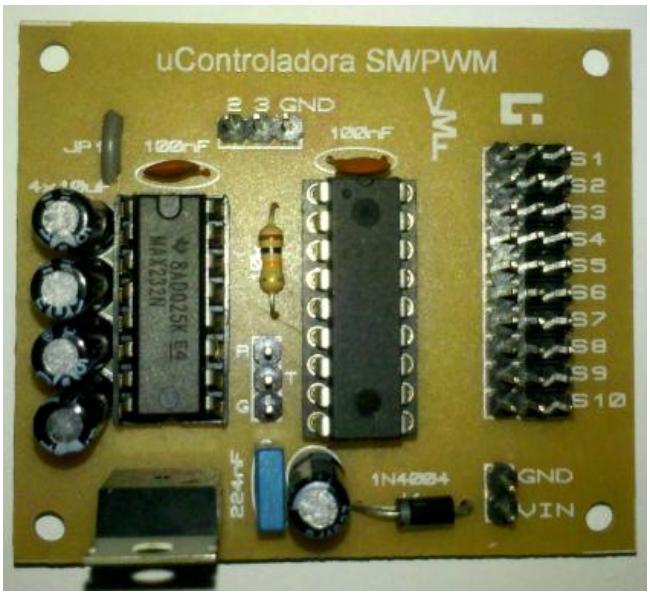

Figura 4 – Placa de controle e comunicação

3.3. Programação e Interface gráfica

Para a programação das estratégias de controle do manipulador optou-se pela utilização do software MATLAB®. Para auxiliar na programação, principalmente na modelagem da cinemática direta vem sendo utilizada a toolbox rvctools. Está toolbox foi criada por Peter Corke, e possui funções que modelam geometricamente o manipulador, estabelecem sua cinemática direta e inversa, realizam a geração de trajetórias, além de possuir funções de visualização gráfica do manipulador robótico (CORKE, 1996).

A primeira etapa de programação, que já se encontra em fase de testes e validação, consiste em estabelecer o modelo de Denavit-Hatenberg do manipulador. Através deste modelo será possível realizar as ações que necessitem da cinemática direta, como a geração de trajetória e simulação da mesma.

A função da toolbox que é utilizada para a obtenção da cinemática inversa do manipulador robótico, não apresenta resultados satisfatórios para manipuladores com número de graus de liberdade diferentes de seis. Devido a este problema serão utilizados outros tipos de estratégias para obter equações ou modelos que definam a cinemática inversa dos manipuladores. A princípio, a principal estratégia que esta sendo desenvolvida é a utilização de redes neurais, para obtenção de um modelo de rede que seja capaz de corresponder à cinemática inversa.

Após definidas estas principais funções, será iniciada a criação de um conjunto de funções que terão por objetivo a criação de métodos de controle, como por exemplo, a criação de trajetórias de diferentes perfis, a programação por pontos e a definição do espaço de trabalho incluindo possíveis obstáculos. Além deste conjunto, serão criadas

funções que servirão para auxiliar a comunicação entre o PC e o circuito de controle, como por exemplo, funções que padronizem a saída de dados de forma que o circuito de controle possa decodificar funções que rastreiem possíveis dados equivocados que foram gerados, mas que não podem ser enviados para o circuito de controle, além de funções que recebam informações sobre a posição atual de cada junta.

O segundo momento desta etapa será a criação de um ambiente de programação, simulação e controle do manipulador. Para a criação desta interface será utilizado o software MATLAB® e sua ferramenta de geração de interfaces a GUI. Optou-se pelo uso desta ferramenta devido a já utilização de outras toolbox do MATLAB® ao longo do projeto. A principal função desta interface gráfica é a possibilidade da utilização do equipamento por discentes em diferentes níveis, dentro da formação do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação. Desta forma, discentes que não possuem conhecimentos aprofundados em robótica poderão iniciar seus estudos, utilizando este equipamento através do uso desta interface. Da mesma forma, alunos que possuem conhecimentos aprofundados do tema poderão desenvolver através desta interface, estratégias de controle e geração de trajetórias com características de elevado grau de dificuldade. Além de possuir características de controle, simulação e programação, este ambiente terá como objetivo também auxiliar no ensino de robótica industrial, apresentando de forma detalhada todos os métodos e técnicas utilizados no controle e programação do manipulador, como o controle em espaço de juntas, controle de trajetórias e coordenação com o ambiente. Serão também apresentados nesta interface rotinas testes que auxiliarão o professor na apresentação do software para os alunos e para suporte no desenvolvimento de novas técnicas e modelos. Está interface será a mais intuitiva possível ao usuário iniciante e o mais abrangente possível para os usuários experientes.

4. TRABALHOS FUTUROS

Após o término da montagem do manipulador e da criação da interface gráfica, o objetivo imediato, para disseminar o uso do equipamento dentro da graduação, será a criação de cursos voltados tanto para os discentes quanto para os docentes, apresentado de forma detalhada todos os recursos da ferramenta e da interface gráfica. Estes cursos acontecerão no âmbito do programa de Educação Tutorial em Engenharia de Controle e Automação.

Tendo então estabelecido o nível básico de conhecimento da ferramenta na comunidade acadêmica, será possível dar início a criação de novas metodologias de controle, geração de trajetórias, definição da cinemática inversa, dentre outros possíveis métodos e técnicas, fazendo então da ferramenta um laboratório para o estudo e pesquisa sobre robótica industrial.

Uma pesquisa que se pretende iniciar ao término deste trabalho é o desenvolvimento de um laboratório virtual para o ensino de robótica industrial à distância. Neste laboratório os alunos poderão estudar o tema e realizar o estudo prático via web, pois poderão ter a possibilidade de comandar remotamente o manipulador, via internet, testando suas rotinas previamente programadas e simuladas no ambiente virtual, acompanhando as ações do manipulador real via webcam.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa realizada no início deste trabalho, foi possível identificar a necessidade da ênfase no ensino de robótica industrial nos cursos de graduação. Esta identificação da respaldo a necessidade da criação de ferramentas que seguem a mesma linha da proposta neste trabalho.

A idéia de se criar ferramentas com arquitetura aberta, que possibilite aos usuários entender toda a sua estrutura e também realizar modificações na mesma, é uma tendência que vem crescendo cada vez mais, ao redor do mundo. O domínio público é uma necessidade crescente para a disseminação de novas tecnologias que auxiliem no aumento da qualidade de ensino dentro das instituições de nível superior.

No desenvolvimento deste trabalho foi possível vislumbrar inúmeras dificuldades que poderão surgir ao longo do processo de criação desta ferramenta de ensino. No entanto estas dificuldades são fundamentais para o processo de criação, e que poderão ser solucionadas e essas soluções enriquecerem o projeto, além do ensino, pesquisa e o domínio da tecnologia robótica.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPEMIG e ao CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CORKE, Peter I. A robotics toolbox for MATLAB. Robotics & Automation Magazine, IEEE, v. 3, n. 1, p. 24-32, 1996.

DE CARVALHO, J. A. D.; GRECHI, R.. Metodologias de ensino em robótica industrial e proposta de aprendizagem vivencial. XXXVI – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. São Paulo: 2008.

Denavit, J., & Hartenberg, R. S. (1955). A kinematic notation for lower-pair mechanisms based on matrices. J. Appl. Mech., 22, 215-221.

IFR International Federation of Robotics, Industrial Robotics Statistics. Disponível em <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/> Acessado em: 10 maio 2013.

PAUL, Richard P. Robot manipulators: mathematics, programming, and control: the computer control of robot manipulators. the MIT Press, 1981.

PIRES, J. Norberto. Os Desafios da Robótica Industrial. Journal Robótica, n. 51, p. 14-17, 2003.

Romano, V. F., & Dutra, M. S. (2002). Introdução à Robótica Industrial.Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, 1, 1-19.

Rosário, J. M. (2005), Princípios de Mecatrônica, Prentice Hall.

WEINBERG, J. B. A Multidisciplinary Model for Using Robotics in Engineering Education. In: Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, 2001.

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR TEACHING DIDACTIC INDUSTRIAL ROBOTICS IN UNDERGRADUATE COURSES IN ENGINEERING

Abstract: *Robotics is a new science, which has evolved over the years. The same features a range of areas, causing it to become a multidisciplinary field that involves knowledge of mechanical, electrical and computing. Due to the evolution of the industry worldwide, and the need for assembly lines ever faster and more accurate, robotics is presented as a feasible solution to assist in this process of continuous evolution. But if by a science still very new, especially in countries that have had their late industrialization, there is a deficit in the study of this discipline within institutions of undergraduate education. This deficiency is often due to lack of equipment that can be used during classes. Many solutions have been shown to reduce this problem, as the use of educational robotics kits. Aiming to propose a broader solution to this problem this paper aims to present a methodology that will be followed for the creation of a tool consisting of a robotic manipulator and a programming environment, control, and simulation of this handler. The purpose of this tool is to remedy the difficulty lies on practical teaching, and sometimes the theoretical robotics. This tool will become a laboratory that can be used both for teaching but also for research into new techniques for control and programming of industrial robotic manipulators.*

Key-words: *Modeling, Programming, Educational Robotics, Industrial Robotics*