

SIMULADOR DE CINEMÁTICA DIRETA DE UM ROBÔ DIDÁTICO (ROBIX) EM AMBIENTE LABVIEW

Hayanne Soares PINHEIRO (1); José F. L. NASCIMENTO (2); José P. QUEIROZ-NETO (3)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - Campus Manaus Distrito Industrial
Av. Governador Danilo Areosa, SL01 – Distrito Industrial CEP: 69075-350 - Manaus / Amazonas

(1) e-mail: hayanne.soares@gmail.com (2) e-mail: josefabioln@hotmail.com (3) e-mail: pinheiro@ifam.edu.br

RESUMO

Os robôs industriais realizam tarefas repetitivas e/ou difíceis, trabalhando em ambientes hostis e condições extremas. Tais robôs substituem humanos em tarefas perigosas ou impossíveis de serem realizadas por pessoas. Pela sua presença marcante nos sistemas de automação industrial em geral e no próprio Pólo Industrial de Manaus e a necessidade de melhorias e implementações, os robôs manipuladores merecem destaque como objeto de estudo e pesquisa. Todavia, há uma dificuldade no ensino de cinemática de robôs industriais, importante para se descrever os movimentos da ferramenta terminal do robô, pois, por vezes não é possível a aquisição de vários tipos de robôs para se estudar a cinemática de cada um deles. Através deste projeto, tem-se a possibilidade de se estudar e simular vários manipuladores sem ter necessariamente que adquiri-los. A partir da obtenção dos modelos matemáticos para as estruturas do *Robix*, o qual possui várias formas geométricas distintas, tais como, jogador de golfe, desenhista, feitor de café, desenvolveu-se, em ambiente *LabView*, um simulador educacional para auxiliar no estudo da cinemática direta de diversos tipos de manipuladores robóticos. É feita ainda uma comparação dos valores reais medidos no robô com aqueles obtidos através do simulador. Este projeto tem o apoio da FAPEAM como agência de fomento em pesquisa.

Palavras-chave: cinemática direta, robô manipulador, simulação, LabView, Robix

1 INTRODUÇÃO

Na sociedade atual, é crescente a necessidade de realizar tarefas com eficiência e precisão. Há também tarefas em que a ação humana é difícil e até impossível. Faz-se, então, necessária presença de dispositivos capazes de executá-las sem grandes riscos. A robótica é a área que se preocupa com o desenvolvimento de tais dispositivos. Ela é multidisciplinar e está em constante evolução. Busca o desenvolvimento e a integração de técnicas e algoritmos para a criação de robôs (RUSSELL, 2004).

A robótica moderna vem sendo consolidada e sua aplicação, principalmente nas indústrias só tem aumentado. Um exemplo é o Pólo Industrial de Manaus onde há uma demanda crescente por automação, incluindo robôs. Este crescimento implica na necessidade de estudos de pesquisa e pessoas qualificadas para lidarem com estas tecnologias.

Existem muitos tipos de robôs e suas características estão de acordo com cada finalidade pretendida e o ambiente em que estão inseridos. Para atender as finalidades deste trabalho, o foco estará nos robôs industriais, mais especificamente o robô didático do *kit Robix* (Robix™ Rascal, 2008).

Após análise das configurações, o modelo matemático do Robô é desenvolvido utilizando conceitos da cinemática direta para manipuladores robóticos. A investigação cinemática é necessária para a construção de simuladores e algoritmos de controle. Definido o modelo matemático da estrutura, foi desenvolvido um software em ambiente *LabView* para simulação de trajetória de movimento.

O *LabView* foi a linguagem gráfica de programação escolhida para o desenvolvimento do software simulador pois possui grande potencial para resolver satisfatoriamente o problema proposto e ajuda a tornar o código mais legível e modificável através da manipulação de seus blocos funcionais.

2 ROBÔS MANIPULADORES

2.1 Definição

Existem vários tipos de robôs, tais como os intitulados humanóides ou antropomórficos, brinquedos articulados com feições que lembram animais de estimação e que se destinam ao entretenimento e os robôs manipuladores. O robô manipulador é aquele que agrega várias áreas do conhecimento, da ciência e da engenharia como mecânica, eletroeletrônica e computação, com diversas formas de controle e diversidade de metodologias aplicáveis (ROSSATO, 2009).

O Japão é o atual líder mundial em desenvolvimento de robótica e uso de robôs. A Associação Japonesa de Robótica Industrial e o Comitê Japonês de Padrões Industriais definem um robô industrial manipulador como uma máquina que possui funções similares aos membros superiores humanos e move abjetos em um espaço (MITTAL; NAGRATH, 2003).

2.2 Trabalhos relacionados

O trabalho de Tartari Filho (2006) trata da modelagem de manipuladores. O autor utiliza robôs de arquitetura paralela. Foi construído um simulador virtual em ambiente MATLAB 6.5, porém, nenhum protótipo físico foi construído. Souto (2007) discorre em seu trabalho sobre a modelagem de um robô quadrúpede. Diferentemente deste trabalho, o autor utiliza filtragem estocástica. Lopes e Machado (2005) fizeram uma modelação de um robô industrial utilizando conceitos de cinemática inversa. Entretanto, não desenvolveram nenhum tipo de simulador. Silva et al (2006) também faz a modelagem cinemática de um robô, porém não utiliza conceitos de cinemática direta. Como neste trabalho, Rossato (2009) desenvolveu um projeto para o auxílio no ensino de robôs manipuladores. O sistema proposto permite a configuração de alternativas próprias para simulação e controle de robôs.

2.3 Elementos Básicos Constituintes de um Robô

Há alguns fatores que caracterizam os manipuladores e que são em grande parte responsáveis por tornar determinada configuração do manipulador mais adequada a certa automação. Citam-se: Anatomia, volume de trabalho, sistemas de acionamento, sistema de controle, desempenho e precisão, órgãos terminais, programação e sensores.

Alguns manipuladores (ou braço robótico) possuem muitas similaridades com o corpo humano. A estrutura mecânica do robô, que corresponde ao esqueleto no corpo humano, consiste de braço, punho e órgão terminal. Estes componentes de um manipulador são constituídos de partes rígidas, os elos, ligados entre si pelas juntas (ver figura 1) (CARRARA, 1999).

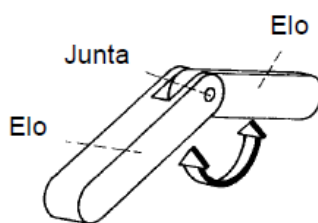


Figura 1 – Elos e junta de um manipulador (SANTOS, 2004)

Em uma junta qualquer, o elo mais próximo da base é denominado elo de entrada e o elo de saída é aquele mais próximo do órgão terminal. O braço é a parte do manipulador que está normalmente associada ao posicionamento (MITTAL; NAGRATH, 2003). O punho consiste de várias juntas próximas entre si, que permitem a orientação do órgão terminal nas posições que correspondem à tarefa a ser realizada. (SANTOS, 2004). O órgão terminal é o componente ligado à extremidade do braço, isto é, ligado ao ultimo elo do manipulador, e que tem funções adicionais (agarrar ou prender um objeto, por exemplo) (SANTOS 2004). Em resumo, a base sustenta o corpo que movimenta o braço, que posiciona o punho, que orienta o órgão terminal que executa a ação.

2.3.1 Juntas

Uma das partes fundamentais na cinemática do robô são as juntas, pois, são elas que unem as partes rígidas do robô. As juntas podem ser do tipo rotativo, prismático (ou linear), cilíndrico, esférico parafuso e planar (FU, 1987 apud CARRARA, 1999, p 15). Robôs industriais utilizam principalmente juntas rotativas e prismáticas (SOUTO, 2007), que podem ser visualizadas na Figura 2. A junta prismática, ou linear, move em linha reta. É composta de duas hastes que deslizam entre si. A junta rotacional gira em torno de uma linha imaginária estacionária chamada de eixo de rotação (SANTOS, 2004).

As juntas rotativas podem ser classificadas de acordo com as direções dos elos de entrada e de saída em relação aos eixos de rotação (CARRARA, 1999):

- Junta rotativa de torção ou torcional **T**: Os elos de entrada e de saída têm a mesma direção do eixo de rotação da junta.
- Junta rotativa rotacional **R**: Os elos de entrada e de saída são perpendiculares ao eixo de rotação da junta.
- Junta rotativa revolvente **V**: O elo de entrada possui a mesma direção do eixo de rotação, mas o elo de saída é perpendicular a este.

A Figura 2 mostra uma representação esquemática destas juntas e também da junta prismática.

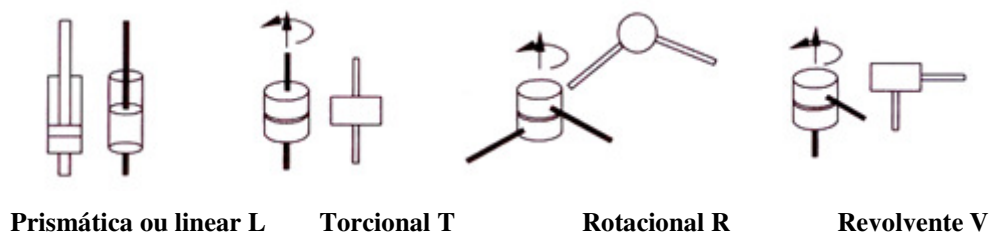


Figura 2 - Representação esquemática de juntas (CARRARA, 1999)

2.3.2 Tipos de configurações

A configuração física dos robôs está relacionada com os tipos de juntas que ele possui (SILVA et al, 2006). Cada configuração pode ser representada por um esquema de notação de letras. A nomenclatura para manipuladores considera primeiro as juntas mais próximas da base. Assim um manipulador **TRR** teria a primeira junta (da base) torcional e as duas seguintes seriam rotacionais (especificações de juntas são mostradas na seção anterior). O punho, parte do robô que permite a orientação do órgão terminal, segue a mesma notação, porém separa-se o corpo do punho por dois pontos “:”. Na Figura 3 é possível visualizar um manipulador **VRR** (Figura 3a) e um robô cartesiano (**LLL**) (Figura 3b), este ultimo usa três juntas lineares e trabalha dentro de um envoltório de trabalho cúbico.

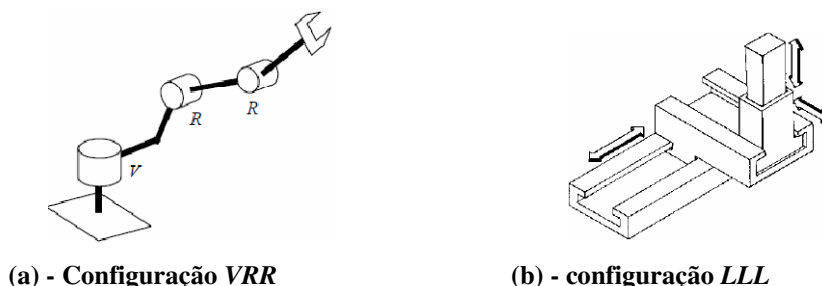


Figura 3 - Desenhos esquemáticos das estruturas **VRR** e **LLL**. (CARRARA, 1999; SANTOS, 2004)

3 CINEMÁTICA DIRETA

A cinemática trata do estudo dos movimentos dos robôs sem considerar as causas que lhes dão origem (TARTARI FILHO, 2006). A análise cinemática trata da dedução ou obtenção das equações de movimentos relativos entre os vários corpos rígidos de um manipulador. Existem dois tipos de análise cinemática: a inversa e a direta (TARTARI FILHO, 2006).

A Cinemática Direta serve para a obtenção de uma posição (x, y, z) do órgão terminal a partir dos ângulos das juntas do robô (SOUTO, 2007). Através da cinemática direta pode-se calcular a posição e orientação do

órgão terminal em relação ao sistema de coordenadas fixo, dadas as posições de todas as articulações (MITTAL, NAGRATH, 2003).

3.1 Notação de Denavit-Hartenberg

A evolução no tempo das coordenadas das juntas de um robô representa o modelo cinemático de um sistema articulado no espaço tridimensional. A notação de Denavit Hartenberg é uma ferramenta utilizada para sistematizar a descrição cinemática de sistemas mecânicos articulados com n graus de liberdade (SILVA et al, 2006).

Os parâmetros de Denavit-Hartenberg permitem obter o conjunto de equações que descreve a cinemática de uma junta com relação à junta seguinte e vice-versa. São quatro os parâmetros: o ângulo de rotação da junta θ , o ângulo de torção da junta t , o comprimento do elo a e o deslocamento da junta d . Segue a tabela contendo os parâmetros θ , d , a e t , conhecidos como parâmetros de Denavit-Hartenberg (CARRARA, 1999; MITTAL, NAGRATH, 2003):

Tabela 1 - Parâmetros de Denavit-Hartenberg (CARRARA, 1999)

Elos	Ângulo de rotação	Deslocamento da junta	Comprimento do elo	Ângulo de torção	Variável da junta
0	θ_1	d_1	a_1	t_1	θ_1 ou d_1
1	θ_2	d_2	a_2	t_2	θ_2 ou d_2
...
n	θ_n	d_n	a_n	t_n	θ_n ou d_n

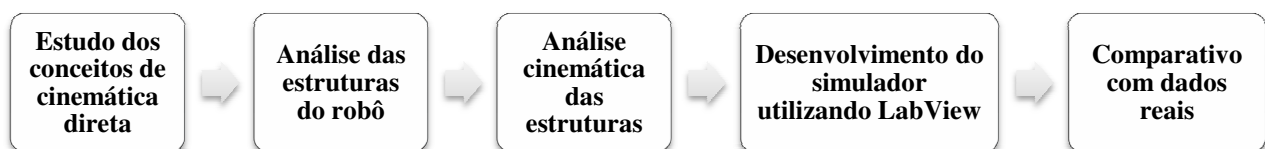
Um dado vetor em um sistema n pode ser expresso no sistema $(n-1)$ por meio da matriz transformação que relaciona os dois sistemas: $T_{n-1,n} = Rot(z, \theta) Trans(0, 0, d_n) Trans(a_n, 0, 0) Rot(x, t_n)$, no qual $Rot(i, \theta)$ indica uma matriz de rotação de um ângulo θ ao redor do eixo i , e $Trans(s_x, s_y, s_z)$ é a matriz de translação de um vetor $s = (s_x, s_y, s_z)$. O produto destas matrizes resulta na equação mostrada a seguir:

$$T_{n-1,n} = \begin{pmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos t_n & \sin \theta_n \sin t_n & a_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos t_n & -\cos \theta_n \sin t_n & a_n \sin \theta_n \\ 0 & \sin t_n & \cos t_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad [\text{Eq. 01}]$$

A matriz que relaciona o sistema da base com o sistema do órgão terminal será dada por:

$$A = T_{1,2} T_{2,3} \dots T_{n-2,n-1} T_{n-1,n} \quad [\text{Eq. 02}]$$

4 METODOLOGIA



4.1 Análise das estruturas do robô

O robô didático *Robix* (Robix™ Rascal, 2008) possui várias configurações possíveis como jogador de Golfe, Desenhista e Arremessador de bolas de tênis de mesa. Neste trabalho foram analisadas as estruturas do Jogador de Golfe e do Desenhista.

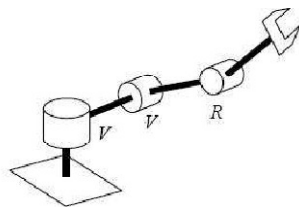
Os comprimentos dos elos utilizados nos modelos matemáticos foram os medidos no *Robix* utilizando-se um paquímetro digital, os quais são: elo1: 13,05 cm; elo2: 10,65cm; Elo3: 5,75; Elo4: 5,75cm. O *Robix* jogador de golfe possui algumas limitações mecânicas, seus servos-motores possuem um limite angular de giro especificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Ângulos de rotação possíveis a cada motor do Robô

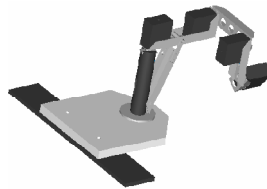
Limitações angulares	
Motor	Variação angular de rotação
1	135° a -45°
2	0° a -180°
3	90° a -90°

O robô foi acionado através de micro-controladores e linguagem C. Foram levadas em consideração as limitações angulares dos motores para o acionamento do robô. Para fazer o controle das variáveis angulares do robô utilizou-se o microcontrolador AT89S8252 família x51o qual foi programado em linguagem C no ambiente de desenvolvimento Keil uVisio2.

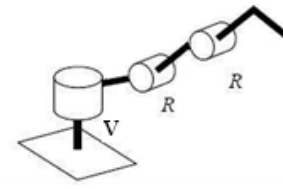
A nomenclatura definida para a estrutura do *Robix* Jogador de Golfe está mostrada na Figura 4a. A estrutura possui as duas primeiras juntas rotativas revolventes (V) e a última rotacional (R), a Figura 4b mostra o robô Jogador de Golfe. O robô Desenhista possui uma estrutura VRR (uma junta revolvente e duas rotacionais) como mostra a Figura 4c:



(a) – Configuração VVR
(Robô Jogador de Golfe)



(b) - Robix Jogador de Golfe



(c) – configuração VRR
(Robô Desenhista)

Figura 4 – Configurações do Robô utilizado

4.2 Análise cinemática

Com base no tipo de estrutura o modelo matemático é desenvolvido utilizando a notação de Denavit-Hartenberg para cinemática direta de manipuladores, como explicado anteriormente. Os parâmetros obtidos através da análise da estrutura VVR do robô (ver Figura 5) são mostrados na Tabela 3. A obtenção dos parâmetros da estrutura VRR é obtida de forma análoga.

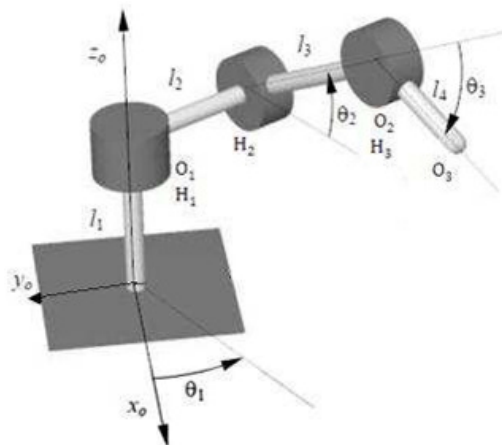


Figura 5 - Modelo esquemático para obtenção dos parâmetros de Denavit-Hartenberg da estrutura VVR

Tabela 3- Parâmetros de Denavit-Hartenberg para manipulador VVR

Elo	ângulo de rotação θ_n	Comprimento Do elo α_n	Deslocamento da junta d_n	Ângulo de torção t_n	Variável da junta
1	θ_1	0	l_1	90°	θ_1
2	θ_2	l_3	l_2	0°	θ_2
3	θ_3	l_4	0	0°	θ_3

A partir da [Eq. 01] e dos parâmetros relacionados na Tabela 3 foram obtidas as seguintes equações:

$$T_{0,1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 & 0 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 03}]$$

$$T_{1,2} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 & l_3 \cos \theta_2 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 & l_3 \sin \theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 04}]$$

$$T_{2,3} = \begin{bmatrix} \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 & 0 & l_3 \cos \theta_3 \\ \sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 & l_3 \sin \theta_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [\text{Eq. 05}]$$

Multiplicando-se [Eq. 03], [Eq. 04] e [Eq. 05] (como mostrado na [Eq. 02]), obtêm-se a matriz transformação a qual possibilita a obtenção das variáveis x , y e z . O simulador feito em *LabView*, através do método apresentado nesta seção, obtém as variáveis cartesianas.

4.3 Desenvolvimento de simulador em ambiente *LabView*

O simulador foi desenvolvido em um computador Intel Celeron, sistema Microsoft Windows XP e foi utilizado o *LabView* versão 8.5. Os programas feitos no *LabView* são chamados Instrumentos Virtuais ou VIs (do inglês Virtual Instrument). As VIs do *LabView* contêm duas partes principais: o painel frontal e o diagrama de blocos (National Instruments Corporation, 2005).

O painel frontal é a interface de usuário, ele é construído com controles e indicadores, os quais são terminais interativos de entradas e saídas respectivamente. O diagrama de blocos contém o código fonte gráfico para controlar os objetos do painel frontal que aparecem como terminais no diagrama de blocos.

No simulador desenvolvido em *LabView* define-se as entradas e as saídas. As entradas indicam o dado puro a ser processado. As entradas são os ângulos de posicionamento de cada eixo e o comprimento dos elos do robô. As saídas representam os resultados de cálculos, processamentos ou outras condições que o processo de solução programe. As variáveis cartesianas (x , y , z) são dadas como saída. O programa fornece a posição do órgão terminal levando em consideração as relações existentes entre a posição das juntas e a posição generalizada do órgão terminal (cinemática direta). Foram desenvolvidos programas para cálculo tanto do manipulador do tipo VVR quanto do tipo VRR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizados os mesmos ângulos das juntas (valores de entrada no simulador) tanto no robô real quanto no simulador para se saber as variáveis cartesianas x , y , z (os valores de saída). Os valores e posições foram comparados e os erros são aceitáveis, o que demonstra a funcionalidade do software. Ver Tabelas 4 e 5 dos experimentos realizados com a especificação dos valores tanto para o simulador quanto para robô real bem como os resultados. Nas Figuras (6) e (7) são apresentadas as interfaces do software com os valores obtidos na simulação para o manipulador VVR (Figura 6) e para o manipulador VRR (Figura 7).

Tabela 4 – Experimento 1

Simulador			Robô real		
Variáveis θ_n de entrada	Valores atribuídos	Saída (x, y, z)	Variáveis θ_n das juntas	Valores atribuídos	Saída (x, y, z)
θ_1	0°	(11.50, -10.65, 13.04)	θ_1	0°	(11.48, -10.67, 12)
θ_2	0°		θ_2	0°	
θ_3	0°		θ_3	0°	

Tabela 5 – Experimento 2

Simulador			Robô real		
Variáveis θ_n de entrada	Valores atribuídos	Saída (x, y, z)	Variáveis θ_n das juntas	Valores atribuídos	Saída (x, y, z)
θ_1	90°	(10.65, 5.75, 18.79)	θ_1	90 °	(10.51, 5.73, 18.87)
θ_2	0 °		θ_2	0 °	
θ_3	90 °		θ_3	90 °	



Figura - 6 Interface de usuário do simulador para cálculo da cinemática direta de um manipulador VRR

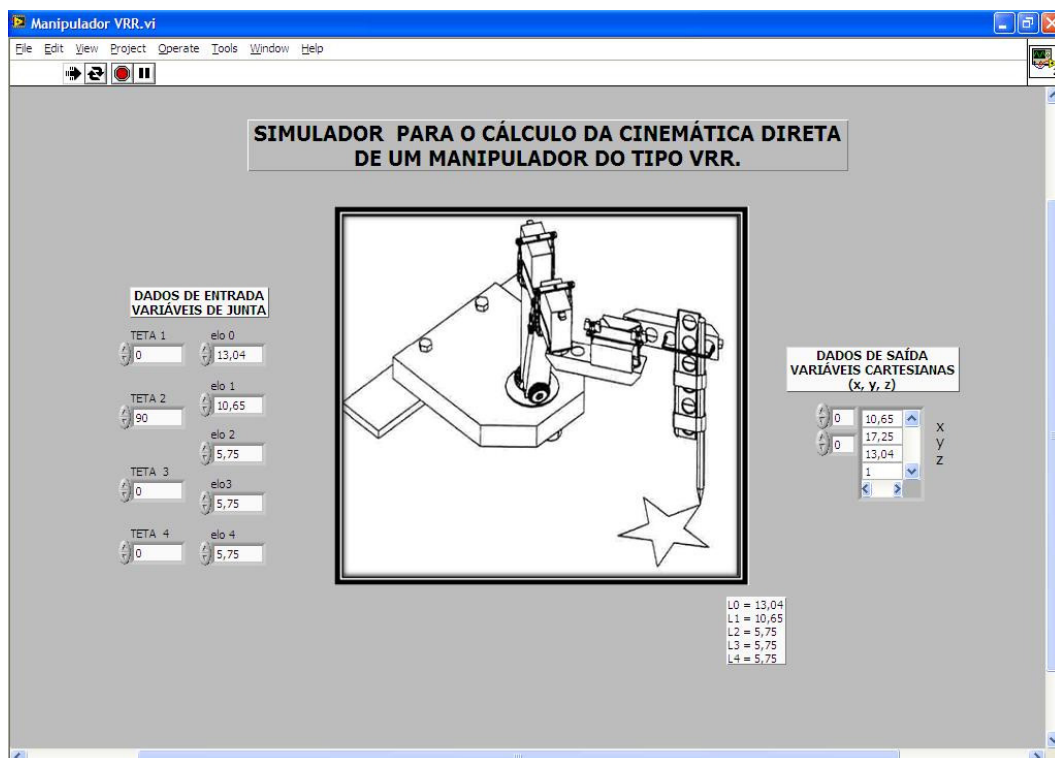


Figura 7 - Painel frontal do LabView do simulador para manipulador VRR

Apesar das pequenas variações entre os valores reais e os simulados, o software está validado, pois, a diferença entre os resultados dos valores deveu-se a erros de medição (medições feitas com paquímetro) e folgas nas juntas do Robô.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado o método de modelagem cinemática para manipuladores utilizando-se das noções de Denavit-Hartenberg. A partir dos parâmetros para um manipulador VVR foi possível desenvolver um simulador em ambiente *LabView*, o qual foi validado pelo método de comparação de valores obtidos em um sistema real. Sistema este composto por um robô do Kit Robix com estrutura de Jogador de Golfe, um microcontrolador do tipo AT89S8252 família x51o qual foi programado em linguagem C no ambiente desenvolvimento Keil uVisio2. De forma análoga foi desenvolvido também o simulado de cinemática direta para um manipulador VRR.

O desenvolvimento de um simulador didático para análise da cinemática de manipuladores, além de poder auxiliar nas aulas práticas de disciplinas de Robótica, por exemplo, poderá ser utilizado como base para desenvolvimento de trabalhos futuros como: Projetos de controladores para compensação dos erros de posicionamento de juntas nos robôs industriais; Projeto de controladores para processo com planejamento de trajetória.

7 AGRADECIMENTOS

Ao IFAM por ceder os equipamentos necessários para realização deste trabalho e pelo financiamento deste projeto. À FAPEAM pelo financiamento de passagens.

REFERÊNCIAS

CARRARA, V. **Apostila de Robótica**, 1999. Universidade de Braz Cubas. Mogi das Cruzes. Disponível em: <http://www.valcar.net/cursos/rb_apostila.pdf>. Acesso em novembro de 2009.

MITTAL, R.K.; NAGRATH, I.J. **Robotics and Control**. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2003.

NATIONAL INSTRUMENTS CORPORATION. **LabVIEW Básico 1: Manual do curso de Desenvolvimento**. Versão8.0. Ed. de outubro. 2005.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**, Prentice Hall, 2005.

ROSSATO, D.B.; **Desenvolvimento de um Sistema Aberto para Ensino de Robôs Manipuladores**, 2009. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Inteligência Artificial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SANTOS, V. M. F. **Robótica Industrial**. Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, 2003.

SILVA, J. C. S.; LINDER, M.; IRMÃO, M. A. S.; SILVA, R. P. S. **Modelagem Cinemática de um Robô Manipulador**. XXXIV COBENGE, Universidade de Passo Fundo, 2006.

SOUTO, R. S. **Modelagem Cinemática De Um Robô Quadrúpede e Geração de Seus Movimentos Usando Filtragem Estocástica**. 2007. 51f. (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

TARTARI FILHO, S. C. **Modelagem e Otimização de um robô de arquitetura paralela para aplicações industriais**. 2006. 227f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.