



PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIAS PARA UM ROBÔ PNEUMÁTICO DE ESTRUTURA CINEMÁTICA TIPO GANTRY

João Ricieri Pereira Barbieri, Cristiano Cardoso Locatelli, Edson Baal, Antonio Carlos Valdiero, Pedro Luis Andrighetto

UNIJUI, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Departamento de Tecnologia
Av. Prefeito Rudi Franke, 540, Bairro Arco Íris, CEP 98280-000, Panambi, RS
e-mail: joaorecieri@hotmail.com; cris_loc@yahoo.com.br; edson.baal@unijui.edu.br; valdiero@unijui.edu.br;
pedro@unijui.edu.br

Resumo: *O presente trabalho apresenta o planejamento de trajetórias para um robô pneumático de estrutura cinemática tipo Gantry. A trajetória a ser descrita consiste no número 100. Para tanto segue-se uma linha de pesquisa a partir dos trabalhos já realizados pelo grupo de pesquisa. Na metodologia utilizada, realizou-se a pesquisa e o estudo de robótica para o controle do robô e foi utilizada a técnica da modelagem cinemática do manipulador robótico utilizando a convenção de Denavit-Hartenberg. Esta pesquisa possibilita a sinergia de esforços entre acadêmicos de iniciação científica, de trabalhos de conclusão de curso e de mestrado na busca de soluções inovadoras em robotização de baixo custo. Como resultado obtemos a definição das coordenadas da trajetória a ser realizada pelo manipulador robótico. Como perspectivas futuras, têm-se a construção de um efetuador final (porta-caneta) para o presente robô e a realização dos testes experimentais de seguimento de trajetórias.*

Palavras-chave: *Robô, Efetuador Final, Estrutura Cartesiana, Manipulador Robótico, Controle.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho trata das atividades realizadas no sub-projeto de pesquisa “Robótica: desenvolvimento e projeto de manipuladores controlados por computador”, no qual foi definida a trajetória descrita pelo traçado do número 100.

Valdiero et al (2006) apresenta os desafios e os resultados do projeto de pesquisa em mecatrônica na UNIJUI, além de definir a mecatrônica como a integração e sinergia de conhecimentos de mecânica, eletro-eletrônica e informática para o projeto de produtos e processos automáticos. O robô é um representante típico de sistemas mecatrônicos e seu uso tem como principal objetivo melhorar as condições de trabalho do ser humano, por meio da eliminação de atividades perigosas ou insalubres de seu contato direto, além de melhorar também a qualidade do produto, através de um controle mais racional dos parâmetros de produção. A seguir descreve-se os antecedentes do grupo de pesquisa relacionados ao presente trabalho.

Langner et al (2006) define que o robô pneumático tem a função de realizar tarefas através da movimentação de uma ferramenta de trabalho, montada na extremidade do último elo, que realiza trajetórias previamente planejadas de acordo com a aplicação industrial. As trajetórias realizadas pelo efetuador final devem ser comparadas com as trajetórias desejadas (obtidas do planejamento de trajetórias) para estimativa de erros de seguimento de trajetórias e para as ações de controle que visam minimizar tais erros.

O rastreamento das trajetórias realizadas no efetuador final pode ser obtido indiretamente a partir das medições das posições de junta, através do cálculo das equações da cinemática direta. Porém, este método depende da precisão na medição dos parâmetros cinemáticos e da calibração dos sensores que medem as posições de junta.

Por isso, surge a necessidade de registrar a real trajetória realizada pelo efetuator final no espaço da tarefa.

Em Schneider et all (2006) foi apresentado o desenvolvimento de um robô pneumático para tarefas de acabamento superficial em painéis de aço inoxidável, o qual foi construído, testado, e seus resultados publicados. Bavaresco (2007) desenvolveu uma proposta de modelagem matemática e de controle de atuadores pneumáticos e aplicou nos testes experimentais de controle de dois graus de liberdade do manipulador robótico pneumático utilizado para acabamento de painéis.

O uso da pneumática torna-se vantajoso devido à maioria de seus componentes serem leves, versáteis e utilizam-se do ar comprimido disponível na maioria das instalações industriais, porém possuem características dinâmicas não lineares que requerem o estudo do comportamento e a aplicação de estratégias de controle. A partir do projeto do mecanismo do manipulador e o desenvolvimento de seu efetuator final, o objetivo é registrar em trabalhos futuros os resultados dos testes experimentais para o seguimento da trajetória planejada com a meta de atingir o máximo de precisão na realização desta.

2. DESCRIÇÃO DA BANCADA DE TESTES DO ROBÔ

Gonçalves et all (2007) descreve que o manipulador robótico foi concebido com a posição de três eixos de movimentação, sendo dois horizontais perpendiculares entre si para posicionamento da ferramenta e um vertical para realização do contato da ferramenta com o papel. O protótipo do manipulador robótico acionado pneumaticamente foi projetado e construído a partir dos materiais disponíveis na Indústria (elementos do mecanismo). Este protótipo permite a validação de estratégias de controle e a realização de testes experimentais para a realização de trajetórias planejadas dentro do espaço da tarefa.

O acionamento horizontal é composto por dois tubos industriais com diâmetro 25,4 mm e parede 2,65 mm, com o objetivo de construir um mecanismo de baixo custo, de fácil construção e manutenção, desenvolveu-se um sistema com tubos mecânicos onde internamente alojamos as guias de nylon, estas guias construídas em tubos de nylon ficam presas nos mancais através de anéis elásticos.

2.1 Acionamento Pneumático

O sistema de acionamento pneumático do robô é composto por: dois cilindros de ação dupla, responsáveis por transformar a energia do ar comprimido em energia mecânica, ou seja, produzir o movimento linear dos elos do manipulador; dois transdutores de pressão, responsáveis pelo controle da pressão nas câmaras dos cilindros; duas servo-válvulas responsáveis por permitir a passagem de ar comprimido desejada para o movimento dos cilindros; uma unidade de conservação de ar comprimido, responsável por filtrar, regular e lubrificar o ar comprimido; e compressor responsável por manter a pressão de ar comprimido desejada. O esquema do sistema pneumático está detalhado na figura 1.

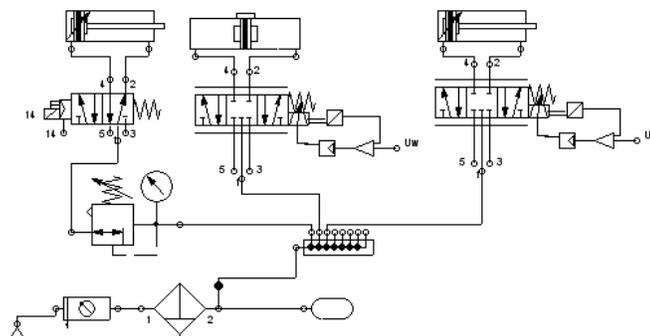


Figura 1 - Desenho dos itens que compõem o sistema de guia do cilindro de avanço

3. PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIAS DO ROBÔ

Como um Robô é controlado a partir de informações de suas variáveis de junta, a realização do planejamento de trajetórias e o controle de posição em relação ao sistema de coordenadas cartesianas implica o desenvolvimento de metodologias para a transformação de coordenadas. Para a indicação do sistema de coordenadas, utiliza-se a convenção de Denavit-Hartenberg já descrita em Gonçalves et al (2007).

A partir do estudo da modelagem cinemática vemos que a partir da equação da cinemática direta podemos determinar a posição do efetuador final (porta-caneta) a partir dos ângulos das juntas. A partir da cinemática inversa, processo inverso da cinemática direta obtemos os ângulos das juntas entre os elos articulados a partir da posição final do efetuador.

3.1 Modelagem Cinemática do Manipulador Robótico Pneumático Tipo Gantry

A seguir tem-se cada uma das etapas apresentadas na metodologia do capítulo anterior aplicadas na modelagem cinemática do robô cartesiano. Na figura 2 e Equações seguintes definiram-se respectivamente a identificação dos elos e das juntas, dos sistemas de coordenadas de referência nos elos do robô cartesiano, os parâmetros de DH, as matrizes de transformação, a cinemática direta e a cinemática inversa.

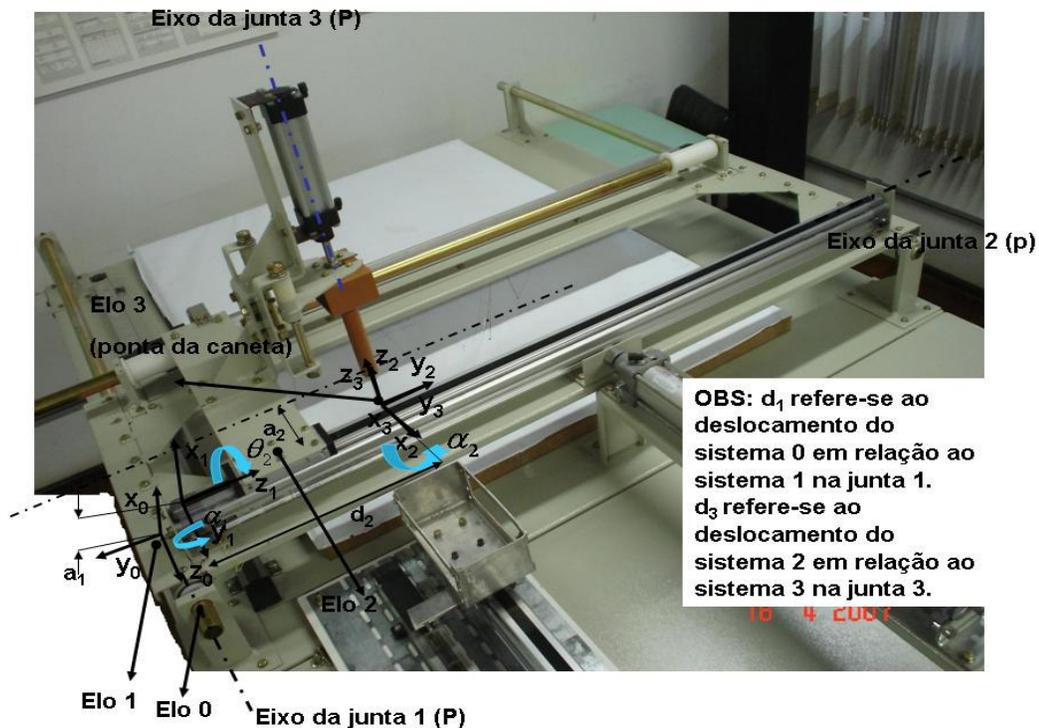


Figura 2 – Foto do robô cartesiano com representação dos sistemas coordenados de referência nos elos do robô cartesiano, dos elos e juntas e dos parâmetros de DH.

Ao determinar os sistemas de referência de modo que facilite os cálculos, encontram-se os parâmetros de Denavit-Hartenberg segundo a metodologia descrita e que podem ser vistos na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros de Denavit-Hartenberg do robô cartesiano.

Elo i	a_i	θ_i	α_i	d_i (variável)
1	0,085m	0	$\pi/2$	d_1
2	0,195m	$-\pi/2$	$-\pi/2$	d_2
3	0	0	0	d_3

A descrição matemática das matrizes de transformação homogênea será realizada inicialmente pela convenção de DH. Utilizando a metodologia citada e adotada para o cálculo das matrizes em Gonçalves et al (2007). Calculou-se as Matrizes (1), (2) e (3) de cada elo do robô cartesiano, obtendo-se o resultado final que é igual $T_3^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2$ (4).

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & a_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_3^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 \quad (4)$$

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & d_3 + a_1 \\ 0 & -1 & 0 & -d_2 \\ 1 & 0 & 0 & a_3 + a_2 + d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

A partir da Equação matricial (5) tem-se a equação da cinemática direta que é utilizada no planejamento de trajetórias no espaço das juntas e constitui-se na relação cinemática entre a posição do efetuator final e os ângulos das juntas que é dada pela seguinte Equação (6):

$$P = \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_3 + a_1 \\ -d_2 \\ a_3 + a_2 + d_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Da Equação (6) da cinemática direta, pode-se facilmente isolar as variáveis de junta e obter as equações da cinemática inversa dadas pelas Equações (7).

$$\begin{aligned}d_1 &= P_z - a_2 - a_3 \\d_2 &= -P_y \\d_3 &= P_x - a_1\end{aligned}\quad (7)$$

3.2 Espaço Operacional de Trabalho e Planejamento da Trajetória

O volume de trabalho é definido como o conjunto de todos os pontos que podem ser manipulados pelo efetuator durante a sua movimentação. Ele é determinado pelo número e tipos de juntas do manipulador, as dimensões físicas das juntas e barras.

A distância máxima da garra à base é chamada o alcance (*reach*) do robô. Os pontos que não podem ser alcançados pela garra formam o espaço morto (*deadspace*). Alguns robôs permitem programar este espaço não alcançável através da limitação do movimento das juntas. Desta forma definem-se zonas proibidas para o deslocamento do robô, evitando-se desta forma possíveis colisões com objetos existentes na zona de trabalho.

Na Figura 3 define-se o volume de trabalho de um manipulador cartesiano construído na UNIJUÍ Campus Panambi. Trata-se de um manipulador cujas três primeiras juntas são prismáticas.

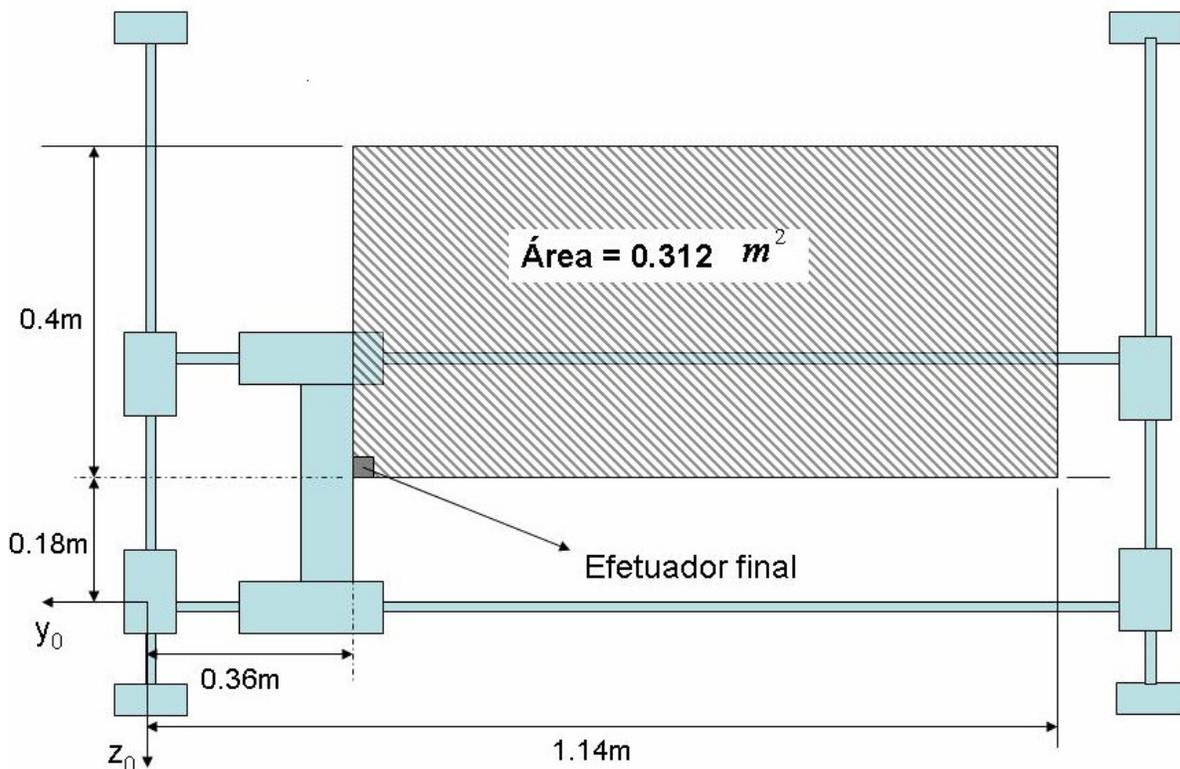


Figura 3 – Volume de trabalho do manipulador cartesiano

Na Figura 4 apresenta-se o planejamento de trajetórias de posicionamento em pontos numeralmente identificados e cujos valores das coordenadas são mostradas na Tabela 2.

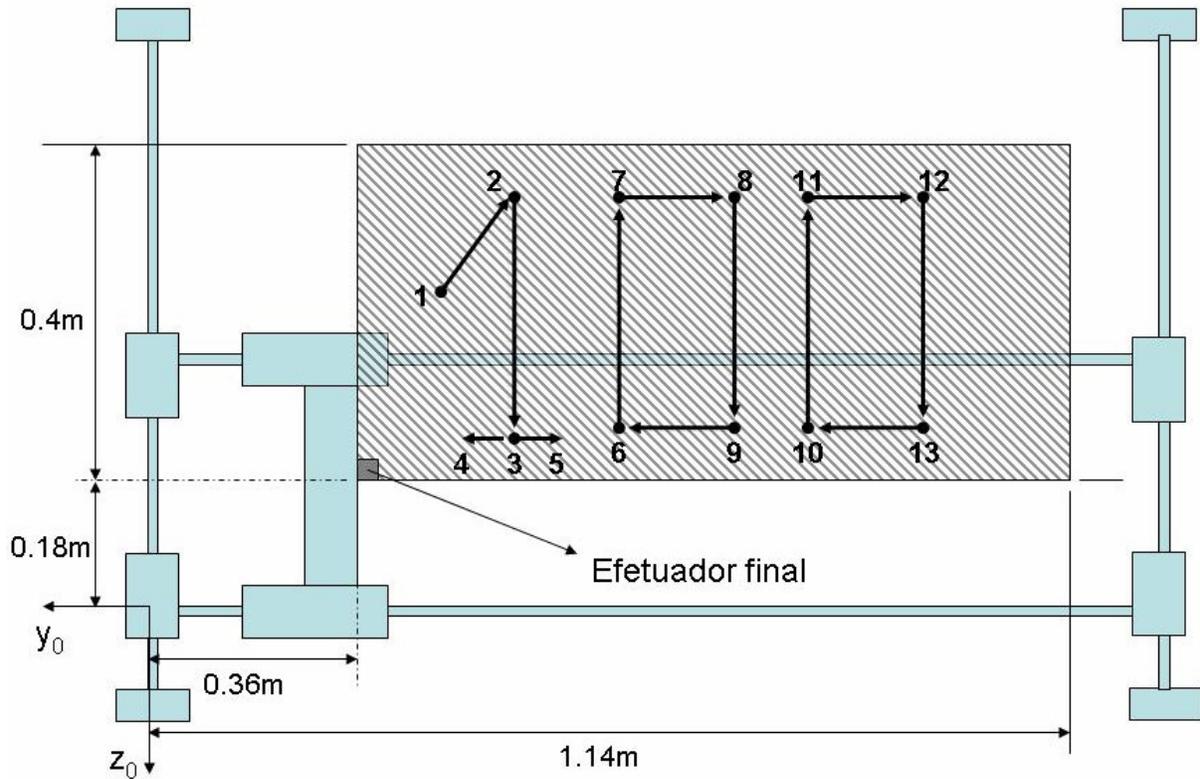


Figura 4 – trajetória de trabalho do manipulador cartesiano

Os dados de planejamento de trajetória dentro do espaço de trabalho do robô cartesiano mostrados nesta seção serão utilizados em testes experimentais nas próximas etapas do cronograma de atividades.

Tabela 2 – Quadro de Identificação das trajetórias a serem realizadas pelo robô cartesiano.

Ponto i	Coordenadas (y_i, z_i) no espaço operacional (sistema de referência da base fixa)	Observações
1	$y = -0.46$ m $z = -0.42$ m	Abaixa a caneta, começa a trajetória em direção ao ponto 2;
2	$y = -0.53$ m $z = -0.52$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 3;
3	$y = -0.53$ m $z = -0.28$ m	Caneta sem contato com a superfície do papel em direção ao ponto 4;
4	$y = -0.49$ m $z = -0.28$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 5;
5	$y = -0.57$ m $z = -0.28$ m	A caneta, e vai do ponto 5 para o próximo ponto;
6	$y = -0.67$ m $z = -0.28$ m	Abaixa a caneta e recomeça a trajetória, retornando ao mesmo no fim desta trajetória levantando a caneta.
7	$y = -0.67$ m $z = -0.52$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 8;
8	$y = 0.82$ m $z = 0.52$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 9;
9	$y = -0.82$ m $z = -0.28$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 6, onde será erguida
10	$y = -0.92$ m $z = -0.28$ m	Abaixa a caneta, recomeça a trajetória em direção ao ponto 11;
11	$y = -0.92$ m $z = -0.52$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 12;
12	$y = -1.07$ m $z = -0.52$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 13;
13	$y = -1.07$ m $z = -0.28$ m	Caneta em contato com a superfície do papel em direção ao ponto 10 onde será erguida a caneta, dando fim ao trajeto.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a descrição da bancada de testes de um robô pneumático, sua modelagem cinemática e o espaço de trabalho, visando o planejamento de trajetórias. A trajetória desejada a ser seguida pelo efetuador final do manipulador robótico foi definida pelo traçado do número 100. Foram apresentados os métodos e as técnicas utilizadas para planejamento da trajetória descrita.

Atualmente estão em andamento as modificações e aperfeiçoamentos do manipulador robótico com estrutura cartesiana (projeto e desenvolvimento do efetuador final porta-caneta). Estão sendo realizados estudos da construção do diagrama de blocos dos modelos cinemáticos para a simulação e testes do robô cartesiano e o sistema de controle (hardware e software) utilizado na bancada de testes do robô.

Percebe-se a importância da utilização de manipuladores robóticos para o bem da humanidade, como por exemplo em aplicações da indústria em procedimentos perigosos e insalubres ao homem.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à UNIJUÍ e aos professores por disponibilizarem este espaço para o desenvolvimento de projetos e pesquisa, aos colegas pelo apoio e incentivo e a FAPERGS por disponibilizar o apoio financeiro através da bolsa BIC/FAPERGS na UNIJUÍ. Agradecimentos também ao CNPq e à SC&T/RS pelos incentivos financeiros de anos anteriores que permitiram a aquisição de uma infra-estrutura laboratorial mínima.

Agradecimentos à empresa FOCKINK pela doação dos materiais metálicos utilizados na estrutura mecânica (mecanismos e bancada) do robô cartesiano.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Langner, E.F., Carlotto, L., Gonçalves, A., Valdiero, A.C. 2006. “Desenvolvimento de um robô pneumático com efetuador porta-caneta”. In: Seminário de Iniciação Científica da UNIJUÍ, 14, 2006, Panambi. Anais do XI JP/UNIJUÍ.
- Schneider, C. 2006. “Desenvolvimento e construção do protótipo de um manipulador robótico para acabamento de painéis”. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIJUÍ.
- Gonçalves, A. 2007. “Mecatrônica orientada para os desafios da sociedade”. Relatório parcial de estágio CNPQ. UNIJUÍ.
- Bavaresco, D. 2007. “Modelagem matemática e controle de um atuador pneumático”. Dissertação. UNIJUÍ.

TRAJECTORIES PLANNING FOR A PNEUMATIC ROBOT OF GANTRY TYPE STRUCTURE

João Ricieri Pereira Barbieri, Cristiano Cardoso Locatelli, Edson Baal, Antonio Carlos Valdiero, Pedro Luis Andrighetto

UNIJUÍ, Regional University of the Northwestern Rio Grande Do Sul State, Technology Department, Av. Prefeito Rudi Franke, 540, CEP 98280-000, Panambi, RS

Email: joaorecieri@hotmail.com; cris_loc@yahoo.com.br; edson.baal@unijui.edu.br; valdiero@unijui.edu.br; pedro@unijui.edu.br

Abstract: *The present work addresses of the trajectories planning for a pneumatic robot of kinematics Gantry type structure. The trajectory to be described consists of number 100. For in such a way a line of research from the works already carried through by the group of research is followed. In the used methodology, it was become fulfilled research and the study of robotics for the control of the robot and was used the technique of the modeling kinematics of the robotic*

manipulator using the convention of Denavit-Hartenberg. This research makes possible the synergy of efforts between academics of scientific initiation, works of conclusion of master course and of in the innovative brainstorming in automation of low cost. As result we get the definition of the coordinates of the trajectory to be carried through by the robotic manipulator. As perspective future, they have it construction of a end effector (door-pens) for the present robot and the accomplishment of the experimental tests of pursuing of trajectories.

Keywords: *Robot, End Effector, Cartesian Structure, Manipulating Robotic, Control.*