



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

## PROJETO CONCEITUAL E MODELAGEM DE UM ROBÔ DESTINADO A COLHEITA DE LARANJAS<sup>1</sup>

**Paulo Eduardo de Oliveira Cabral<sup>2</sup>, Antonio Carlos Valdiero<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de Pesquisa realizado no Núcleo de Inovação e Mecanização da Agricultura Familiar (NIMAF) da Unijui Campus Panambi

<sup>2</sup> Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNIJUI, bolsista PIBIC/CNPq, [duduhcabral@yahoo.com.br](mailto:duduhcabral@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Orientador, [valdiero@unijui.edu.br](mailto:valdiero@unijui.edu.br)

**Resumo:** Este trabalho trata de um resultado obtido na pesquisa “Mecanização da Agricultura Familiar”, mas especificadamente do problema de uma máquina de colher laranjas. O Brasil é um dos maiores produtores de laranja do mundo o que justifica a preocupação e a necessidade da construção de uma máquina capaz de fazer isso. Como resolução deste problema, propõe-se o projeto de um robô capaz de desempenhar esta função de colher frutos. O trabalho manual é insalubre, já que o fruto está fora do alcance normal do ser humano, além disto pode estar exposto a picadas de insetos, arranhões e até queda de grandes alturas. Para que seja possível fazer o controle de um robô, é necessário que se faça a modelagem matemática, para obter as equações que regem o seu funcionamento.

**Palavras-Chave:** Agricultura familiar, robô pneumático, colheita de frutos.

O Brasil é o segundo maior produtor de suco de laranja do mundo atualmente. A colheita é feita manualmente e os problemas existentes são dos mais diversos: ergonômicos (STEINKE, 2011), estar sujeito à altura, movimentos repetitivos, picadas de insetos, etc. Analisando o trabalho insalubre na colheita de laranjas foi pensado em uma máquina que conseguisse colher os frutos das árvores. O valor social e tecnológico agregado é de grande importância para a saúde do trabalhador, qualificação do mesmo e mecanização da agricultura familiar. Uma contribuição econômica pode ser possível pela mecanização da colheita de laranjas. Schuler (2011) mostra o estado da técnica da colheita de laranjas, inclusive uma plataforma de colheita onde se elevam vários trabalhadores em diferentes alturas, de modo a facilitar o alcance dos frutos.

Assim, dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é pesquisa uma concepção de robô para colheita e apresentar sua modelagem matemática.

Utiliza-se a metodologia de projeto de produtos industriais (descrita em VALDIERO, 1997) e de robótica industrial (descrito em VALDIERO, 2010). Foi realizada a pesquisa bibliográfica em livros, apostilas e artigos, com a finalidade de reunir dados para a pesquisa.

Na análise das necessidades do robô para colheita de laranjas utiliza-se a técnica da Casa da Qualidade.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

Para modelagem matemática das relações cinemáticas do robô utiliza-se a convenção de Denavit-Hartenberg.

Como resultados, apresenta-se uma análise das necessidades com a aplicação da técnica da Casa da Qualidade. Esta é a primeira fase do processo do projeto, onde se identifica o problema de engenharia. A casa da qualidade é uma metodologia estruturada para organização de informações do consumidor, ajudando a identificarem explicitamente o desejo do consumidor, relacioná-los com características de engenharia e encontrar soluções de compromisso. São definidas as variáveis de projeto, ou melhor, características de engenharia. Para simplificar e facilitar a compreensão descreve-se a casa da qualidade dividindo-a em 5 principais partes: atributos do consumidor, características de engenharia, corpo (relação entre as características de engenharia e atributos do consumidor), telhado (relação entre as características de engenharia) e informações complementares tais como informações referentes ao estado da técnica ou características dos produtos dos concorrentes. O resultado da aplicação da técnica da Casa da Qualidade é mostrado na Figura 1.

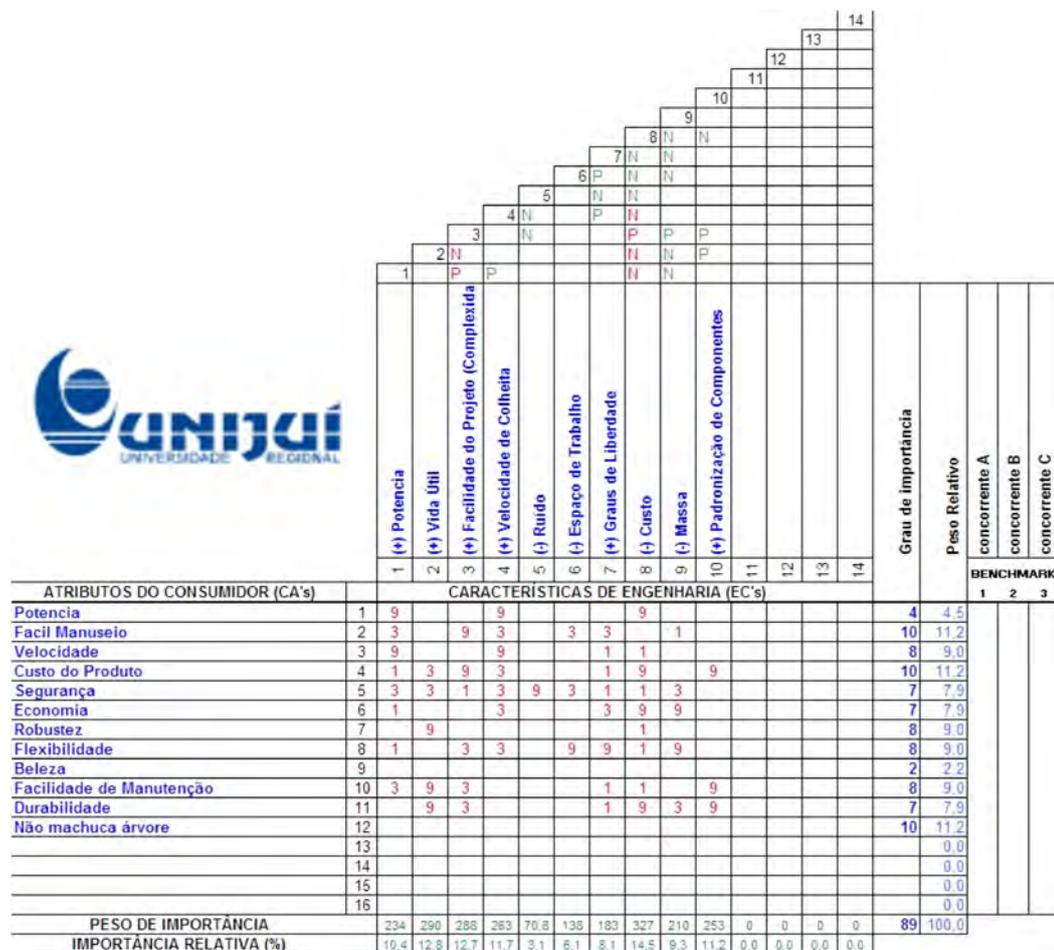


Figura 1 – Casa da qualidade para o robô de colheita de laranjas





**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

Após analisada a necessidade do robô para colheita de laranjas, realiza-se o projeto conceitual de um robô com 3 graus de liberdade, os quais são suficientes para efetuar a tarefa de colher laranjas com sucesso. Seu funcionamento é o mais simples possível, possuindo 4 elos (base fixa, elo 0, elo 1, elo 2 e elo 3), conforme mostrado nas Figura 2 e Figura 3.



Figura 2 – Foto mostrando a maquete eletrônica do robô obtida até o momento desenvolvida no software de CAD utilizado para o projeto (SOLIDWORKS)

# SALÃO DO CONHECIMENTO

XX Seminário de Iniciação Científica  
XVII Jornada de Pesquisa  
XIII Jornada de Extensão

II Mostra de Iniciação Científica Júnior  
II Seminário de Inovação e Tecnologia

2012



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

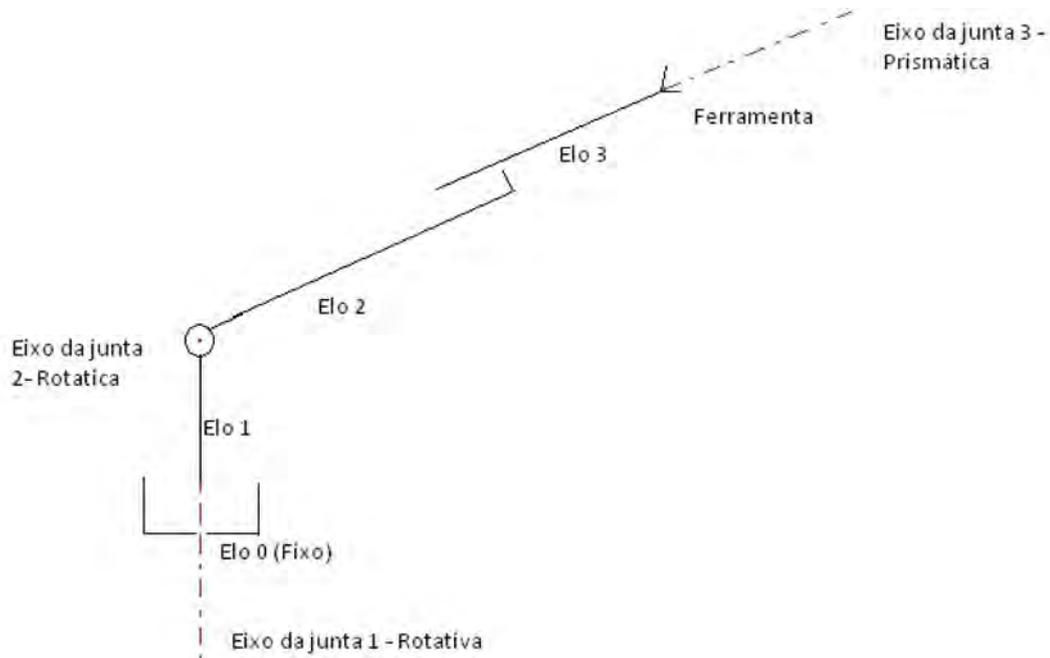


Figura 3 – Indicação dos elos e das juntas do robô

Para a realização dos estudos, e ajuda no aprendizado, estão sendo utilizados alguns materiais, equipamentos e softwares. As projeções geométricas do espaço de trabalho do robô estão representadas na Figura 4.

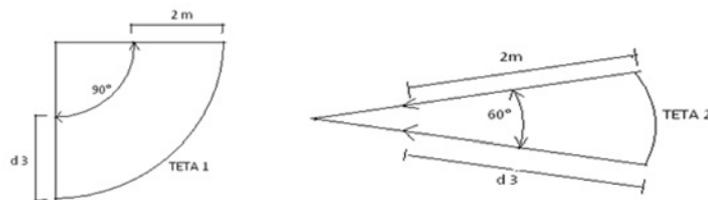


Figura 4 – Espaço de trabalho do robô: vista superior e vista lateral

A modelagem cinemática do robô de colher laranjas e a definição dos parâmetros possibilitam a determinação da equação da posição final do robô em função das variáveis de junta.

Para descrever as relações de translação e de rotação, entre cada dois elos adjacentes, utiliza-se o método Denavit-Hartenberg para atribuição de um referencial a cada elo da cadeia cinemática.



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

O método de D-H conduz a uma representação baseada em transformações homogêneas, que exprimem cada referencial em relação ao referencial anterior. Assim através de uma sequência de transformações, a posição generalizada do órgão terminal do robô manipulador pode ser expressa em relação ao sistema de eixos da base, o qual pode construir o referencial inercial do sistema. Figura 5 ilustra o sistema de referencia representado segundo o método D-H, onde as variáveis e as constantes serão expressas na Figura 6.

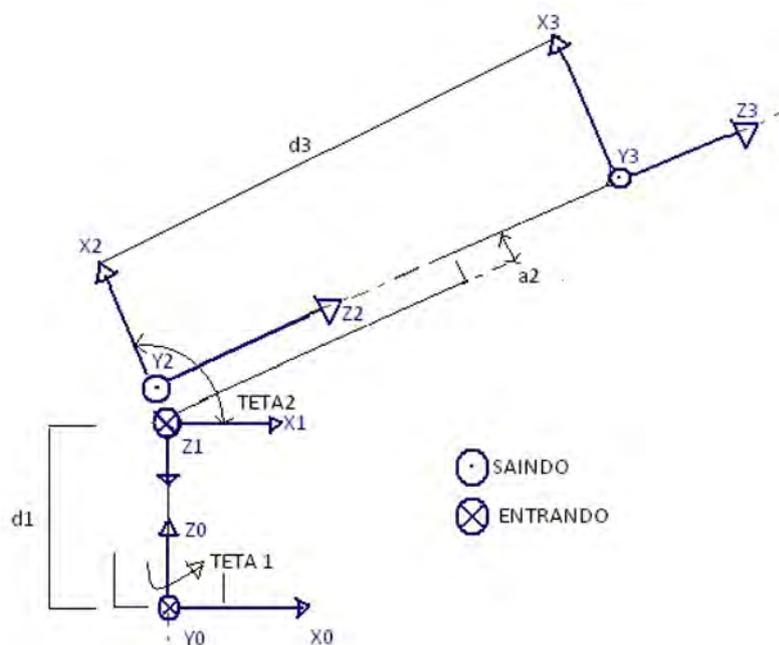


Figura 5 – Posicionamento dos sistemas de referência e dos parâmetros do robô.

O sistema de referência do robô é obtido através dos passos listados abaixo:

1. Em cada junta “i” representa-se o eixo  $z_{i-1}$ ;
2. Na normal comum entre  $z_{i-1}$  e  $z_i$ , representa-se o eixo  $x_i$ ;
3. Representa-se  $y$  através da regra da mão direita;

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. Para obter os parâmetros de Denavit-Hartenberg aplicam-se os seguintes procedimentos tendo definido já o sistema de referência:

São os quatro parâmetros:

1.  $a_i$ : é a distância entre os eixos  $z_i$ ;
2.  $d_i$ : é a coordenada medida ao longo do eixo  $z_{i-1}$ , representando a posição de  $x_i$  em relação à  $x_{i-1}$ ;



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

- 3.  $\alpha_i$ : é o ângulo entre os eixos  $z_{i-1}$  e  $z_i$  em torno de  $x_i$ ;
- 4.  $\theta_i$ : é o ângulo entre os eixos  $x_{i-1}$  e  $x_i$  em torno do eixo  $z_{i-1}$ ;

Elo i	$a_i$	$d_i$	$\alpha_i$	$\theta_i$
Elo 1	Constante = 0 m	Constante = 0,5 m	$-\pi/2$	$\theta_1$
Elo 2	Constante = 0,1 m	0	$\pi/2$	$\theta_2$
Elo 3	Constante = 0 m	$d_3$	0	0

Figura 5 – Principais características do robô Parâmetros dos diferentes tamanhos de cilindros utilizados na simulação do comportamento do atuador pneumático.

Com os parâmetros definidos, montam-se as matrizes de transformação homogênea:

Usando a notação simplificada, considera-se que:

$$\begin{aligned} \text{sen}\theta_i &= S_i \\ \text{cos}\theta_i &= C_i \end{aligned}$$

Figura 6 – Notação Simplificada

Então as matrizes de transformação do robô ficam:

- Matriz de transformação de 1-0:

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} c1 & 0 & -s1 & 0 \\ s1 & 0 & c1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 7 – Matriz de transformação de 1-0

- Matriz de transformação de 2-1:



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} c2 & 0 & s2 & 0,1.c2 \\ s2 & 0 & -c2 & 0,1.s2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 8 – Matriz de transformação de 2-1

- Matriz de transformação de 3-2:

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 9 – Matriz de transformação de 3-2

A matriz homogênea  $T_{0-3}$ , que especifica a localização do referencial i em relação ao referencial da base, pode ser encontrada fazendo o produto das sucessivas transformações. Assim, tem-se:

$$T_3^0 = [A_1^0 A_2^1 A_3^2]$$

Figura 10 – Equação que especifica a localização do referencial i em relação ao referencial de base

A obtenção do resultado, vem da multiplicação das matrizes ilustradas na figura acima

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} c1.c2 & -s1 & c1.s2 & c1.c2.0,1+c1.s2.d3 \\ s1.c2 & c1 & s1.s2 & s1.s2.0,1+s1.s2.d3 \\ -s2 & 0 & c2 & s2.0,1+0,5+c2.d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 11 – Matriz de transformação do movimento do efetuador final em relação a base fixa

Assim, é possível a determinação do movimento no eixo X:



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

$$X_3^0 = \begin{bmatrix} c1.c2 \\ s1.c2 \\ -s2 \end{bmatrix}$$

Figura 12 – Matriz correspondente ao movimento no eixo X

No eixo Y:

$$Y_3^0 = \begin{bmatrix} = s1 \\ c1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Figura 13 – Matriz correspondente ao movimento no eixo Y

No eixo Z:

$$Z_3^0 = \begin{bmatrix} c1.s2 \\ s1.s2 \\ c2 \end{bmatrix}$$

Figura 14 – Matriz correspondente ao movimento no eixo Z

E a equação do movimento da garra:

$$P_3^0 = \begin{bmatrix} c1.s2.d3 + c1.c2.0,1 \\ s1.s2.d3 + s1.s2.0,1 \\ c2.d3 + s2.0,1 + 0,5 \end{bmatrix}$$

Figura 15 – Matriz correspondente ao movimento da garra

O Jacobiano constitui uma das mais importantes ferramentas para a caracterização da estrutura de um robô. Ele é útil para:

- Achar as configurações singulares;
- Análise de redundâncias;
- Relação entre as forças estáticas no efetuador final e os torques de junta;

O cálculo do Jacobiano dá-se por:



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

$$\bar{v} = \begin{bmatrix} \dot{P}_x \\ \dot{P}_y \\ \dot{P}_z \\ wx \\ wy \\ wz \end{bmatrix} = J \cdot \dot{q} = \begin{bmatrix} Jp1 & Jp2 & Jp3 \\ Jo1 & Jo2 & Jo3 \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\theta} \\ \dot{d3} \end{bmatrix}$$

Figura 16 – Jacobiano

O valor de Jp1 e Jo1, junta rotativa, é dado por:

$$Jp1 = \begin{bmatrix} -(s1.s2.d3 + s1.s2.0,1) \\ c1.s2.d3 + c1.c2.0,1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$Jo1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Figura 17 – Valor de Jp1 e Jo1

O valor de Jp2 e Jo2, junta rotativa, é dado por:

$$Jp2 = \begin{bmatrix} c1.c2.d3 + c1.s2.0,1 \\ s^2 1.s2.d3 + s^2 1.c1.0,1 \\ (-s^2 1.s2.d3 - s^2 1.c2.0,1) + (-c^2 1.s2.d3 - c^2 1.c2.0,1) \end{bmatrix}$$

$$Jo2 = \begin{bmatrix} -s1 \\ c1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Figura 18 – Valor de Jp2 e Jo2

O valor de Jp3 e Jo3, junta prismática, é dado por:



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XX Seminário de Iniciação Científica

$$Jp3 = \begin{bmatrix} c1.s2 \\ s1.s2 \\ c2 \end{bmatrix}$$

$$Jo3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Figura 19 – Valor de Jp3 e Jo3

Substituindo na equação, iremos obter:

$$\bar{v} = \begin{bmatrix} \dot{P}x \\ \dot{P}y \\ \dot{P}z \\ wx \\ wy \\ wz \end{bmatrix} = J \cdot \dot{q} \begin{bmatrix} -((s1.s2.(d3 + 0,1))\dot{\theta}1 + (c1(c2.d3 + s2.0,1))\dot{\theta}2 + (c1.s2)\dot{d}3 \\ (c1.(s2.d3 + c2.0,1))\dot{\theta}1 + (s^21(s2.d3 + c1.0,1))\dot{\theta}2 + (s1.s2.)\dot{d}3 \\ [(-s^21.(s2.d3 + c2.0,1)) + (-c1.(s2.d3 + c1.c2..0,1))]\dot{\theta}2 + c2d3 \\ -s1\dot{\theta}2 \\ c1\dot{\theta}2 \\ \dot{\theta}1 \end{bmatrix}$$

Figura 20 – Substituição

Retiramos as Equações Velocidades Lineares:

$$\dot{P}x = [ -((s1.s2.(d3 + 0,1))\dot{\theta}1 + (c1(c2.d3 + s2.0,1))\dot{\theta}2 + (c1.s2)\dot{d}3 ]$$

$$\dot{P}y = [ (c1.(s2.d3 + c2.0,1))\dot{\theta}1 + (s^21(s2.d3 + c1.0,1))\dot{\theta}2 + (s1.s2.)\dot{d}3 ]$$

$$\dot{P}z = [ (-s^21.(s2.d3 + c2.0,1)) + (-c1.(s2.d3 + c1.c2..0,1)) ]\dot{\theta}2 + c2d3 ]$$

Figura 21 – Equações de Velocidade Linear

E as equações de Velocidades Angulares

$$wx = [-s1\dot{\theta}2]$$

$$wy = [c1\dot{\theta}2]$$

$$wz = [\dot{\theta}1]$$

Figura 22 – Equações de Velocidade Angular



**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XX Seminário de Iniciação Científica

O projeto da máquina de colher frutas foi objeto de pesquisas nas atividades de iniciação científica, dando continuidade aos trabalhos anteriores referentes ao desenvolvimento de um microtrator para agricultura familiar, assim como da colheita de plantas aromáticas. Foi possível a integração do projeto com outros alunos de graduação do curso de Engenharia Mecânica do Campus Panambi, sendo utilizado como instrumento de ensino em aulas práticas.

SCHULER, D. Projeto de um manipulador para colheita de frutos. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Orientador: Antonio Carlos Valdiero.

STEINKE, C.V.. Estudo da ergonomia na colheita de frutas. 2011. Monografia. (Aperfeiçoamento/Especialização em Pós-Grad. Lato Sensu em Eng. de Seg. do Trabalho) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Orientador: Antonio Carlos Valdiero.

VALDIERO, A. C.. Inovação e desenvolvimento do projeto de produtos industriais. Ijuí: UNIJUI, 1997. Programa de incentivo à produção docente: Coleção Cadernos Unijuí - Série Tecnologia Mecânica n. 2.

VALDIERO, Antonio C. Robótica Industrial. Panambi: 2010. Curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI. Notas de aulas