



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

## DINÂMICA DO MOVIMENTO DE UM BRAÇO ROBÓTICO<sup>1</sup>

**Claudio da Silva Dos Santos<sup>2</sup>, Sandra Edinara Baratto Vicilli<sup>3</sup>, Vanessa Faoro<sup>4</sup>, Antonio Carlos Valdiero<sup>5</sup>.**

<sup>1</sup> Trabalho de Dinâmica de Sistemas Não Lineares Do Mestrado em Modelagem Matemática

<sup>2</sup> Bolsista UNIJUI,aluno do curso do Mestrado em Modelagem Matemática da Unijui

<sup>3</sup> Bolsista CNPQ,aluna do curso do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI

<sup>4</sup> Bolsista UNIJUI,aluna do curso do Mestrado de Modelagem Matemática da UNIJUI.

<sup>5</sup> Professor Doutor do curso do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI.

Resumo: Trata-se da modelagem matemática da dinâmica do movimento de um braço robótico de um grau de liberdade com junta rotativa. O sistema mecânico abordado possui diversas aplicações em automação industrial e mecanização agrícola, proporcionando aumento da produtividade, qualidade e desempenho de trabalhos insalubres e perigosos. Tem-se por objetivos a formulação de um modelo matemático a determinação dos parâmetros, a simulação computacional e análise das características do movimento. A metodologia utilizada baseia-se no Princípio D'Alembert na formulação do modelo matemático e da utilização da ferramenta computacional Matlab/Simulink, para implementação das simulações. Para a representação do fenômeno de atrito utiliza-se o modelo Lugre. Como resultados tem-se um modelo computacional que pode ser utilizado para fins de análise das dinâmicas, do projeto mecânico e da síntese do controle. Espera-se contribuir para o entendimento da modelagem de robôs por meio de um exemplo mais simples.

Palavras-Chave: braço robótico, modelagem matemática, simulação computacional.

Este trabalho trata-se da modelagem matemática da dinâmica não linear do movimento de um braço robótico de um grau de liberdade com junta rotativa. O sistema mecânico abordado possui diversas aplicações em automação industrial e mecanização agrícola.

Como aplicação na área de automação industrial, pode-se citar os braços robóticos utilizados em processos de soldagem e pintura, assim como os manipuladores robóticos, utilizados para montagem de peças e manuseio de objetos, conforme CARLOTTO(2006).

Na agricultura de precisão pode-se utilizar mecanismos similares ao braço robótico em equipamentos para poda, colheita, pulverização e movimentação e classificação de produtos agrícolas. De acordo com (TABILE,INAMASU, PORTO, 2008) o uso de tecnologia de informação está presente no setor agrícola, proporcionando aumento da produtividade, qualidade e desempenho de trabalhos insalubres e perigosos.

De acordo com (VALDIERO,2005) o estudo da mecânica e de controle dos manipuladores(robôs) não é uma nova ciência. São apenas coleções de tópicos de áreas clássicas: a engenharia mecânica que fornece metodologias para o estudo das máquinas em situações estáticas e dinâmicas; a matemática



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

fornece a ferramenta para as descrições dos movimentos espaciais e outros atributos do manipulador; a teoria de controle providencia ferramentas para a formulação e avaliação de algoritmos que realizam os movimentos desejados e controlam as forças; a engenharia elétrica fornece técnicas para projetar sensores e interfaces para manipuladores e a informática fornece as bases para programar robôs na realização das tarefas desejadas.

Segundo (VALDIERO, 2012) a dedução do modelo dinâmico é importante para fins de simulação computacional e de análise do desempenho, pois as simulações computacionais baseadas no modelo permitem testar as estratégias de controle, prevendo problemas de projeto do controlador, sem o perigo de acidentes decorrentes de instabilidade ou de falhas no projeto.

Tem-se por objetivos a formulação de um modelo matemático a determinação dos parâmetros, a simulação computacional e análise das características do movimento.

A metodologia adotada neste trabalho compõe-se das etapas de definição do sistema de coordenadas de referência, de consideração das hipóteses para o problema, da determinação dos parâmetros, da formulação matemática pela aplicação do Princípio D'Alembert, da utilização da ferramenta computacional Matlab para implementação e resolução das equações do modelo. Utiliza-se o modelo Lure para a apresentação do comportamento não linear do fenômeno de atrito.

O desenho esquemático do braço robótico é mostrado na figura 1, onde também estão apresentadas algumas características geométricas e dinâmicas consideradas.

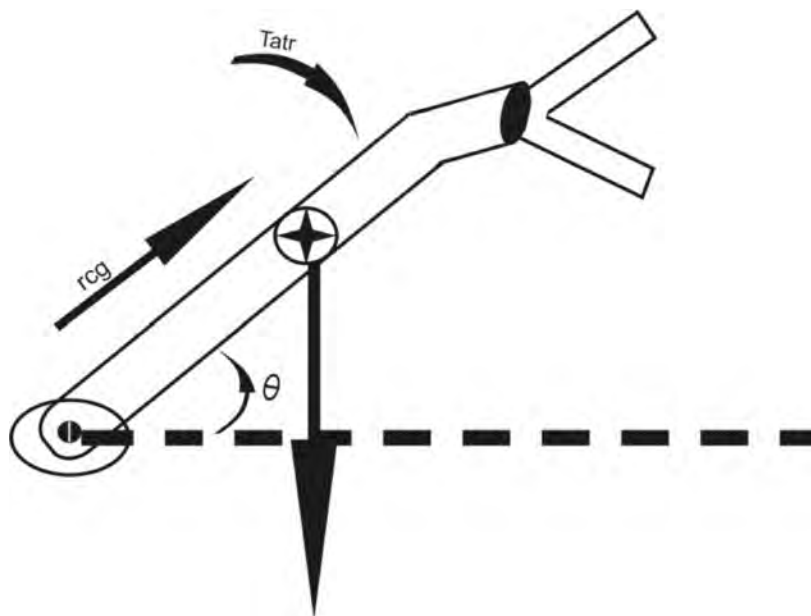


Figura1: Desenho esquemático do braço robótico

Ao ser aplicado um torque motor,  $T_m$ , na junta rotativa do braço robótico, obtêm-se um deslocamento angular  $\theta$ , resultante do equilíbrio dinâmico. Pela aplicação do Princípio D'Alembert, tem-se:



**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

$$\sum T_0 - I_0 \alpha = 0 \quad (1)$$

onde  $I_0$  é o momento de inércia do braço robótico,  $\alpha = \theta''$  é a aceleração angular e o somatório dos torques na junta rotativa,  $\sum T_0$ , considera o efeito gravitacional da força peso do braço ( $mg$ ), o torque motor ( $T_m$ ) e o torque de atrito resistente ao movimento ( $T_{atr}$ ). Logo:

$$T_m - T_{atr} - m g r_{CG} \sin \theta = I_0 \theta''$$

onde  $\theta''$  é aceleração angular,  $m$  é a massa do braço robótico,  $g$  é aceleração da gravidade,  $\theta$  é a posição angular do braço e o torque de atrito é modelado a partir da seguinte equação Não Linear:

onde  $T_c$  representa o torque devido a característica de atrito Coulomb,  $T_s$  torque de atrito estático e  $v$  é a velocidade de Stribeck.

O torque motor ( $T_m$ ) que instabiliza o sistema é calculado utilizando os valores da posição do centro da gravidade ( $r_{CG}$ ), a massa ( $m$ ) e a da aceleração da gravidade ( $g$ ) através da equação:

Para a simulação computacional, desenvolveu-se o diagrama de blocos, construído através do MatLab Simulink, baseado na equação do modelo, como mostra a figura 2. Observamos que o diagrama de blocos construído, possui a opção de implementar o valor do torque do motor calculado, que será somado no modelo matemático, podendo assim ter a flexibilidade da movimentação do braço robótico. Possui também dois integradores, devido a equação matemática ser de segunda ordem.

# 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: Ensaio teórico

Evento: XVII Jornada de Pesquisa

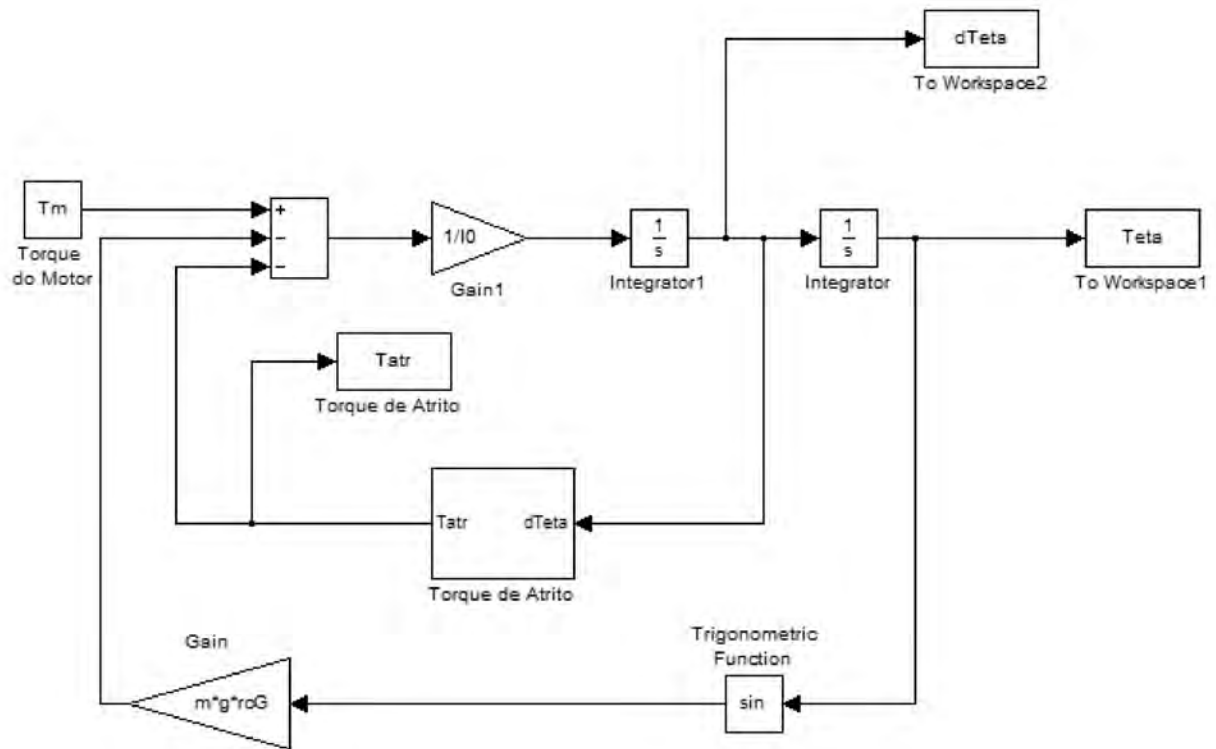


Figura 2: Diagrama de blocos

Os parâmetros do modelo matemático e as condições iniciais utilizadas na simulação computacional estão apresentadas na tabela 1. Os dados foram obtidos através do experimento realizado no laboratório no campus Panambi.



# SALÃO DO CONHECIMENTO

XX Seminário de Iniciação Científica II Mostra de Iniciação Científica Júnior  
 XVII Jornada de Pesquisa II Seminário de Inovação e Tecnologia  
 XIII Jornada de Extensão

2012



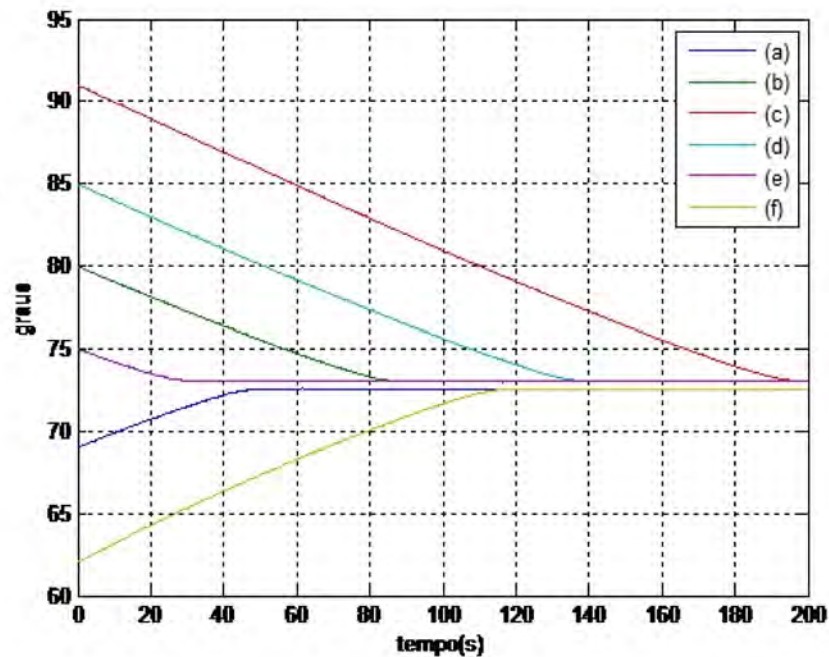
Modalidade do trabalho: Ensaio teórico

Evento: XVII Jornada de Pesquisa

Descrição do parâmetro	Notação	Valores	Observações:
Momento de Inércia	$I_0$	0,06 kg.m <sup>2</sup>	Calculado
Massa do braço	$M$	0,83 Kg	Pesado
Posição do centro de gravidade.	$R_{CG}$	0,27 m	Calculado
Aceleração da gravidade.	$G$	9,81 m/s <sup>2</sup>	
Torque de Coulomb.	$T_c$	0,44 <i>N.m</i>	Ajustado através da simulação computacional.
Torque Estático	$T_s$	1,0 <i>N.m</i>	Ajustado através da simulação computacional
Comprimento do braço	$L$	0,27 m	Medido
Torque Motor	$T_m$	2,1 <i>N.m</i>	Calculado

Tabela 1 – Parâmetros do modelo e condições iniciais.

Para a verificação dos resultados foi gerados gráficos no Matlab, observando a trajetória do movimento do braço robótico e o deslocamento angular em graus, com diferentes condições iniciais.





**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

Figura 3: Gráfico da posição angular inicial com diferentes simulações: (a)= 690; (b)=800; (c)=910, (d)=850, (e)=750 e (f)=620.

Na figura 3 apresenta-se a simulação do movimento do braço robótico a partir de uma posição angular inicial, aplicando um torque motor de 2,1 N.m (valor calculado) produzindo o movimento do braço. Percebe-se que o ponto de equilíbrio é aproximadamente no ângulo de 72,50, por isso, quando o ângulo for maior que o ponto de equilíbrio, o braço tende a cair, mas quando o ângulo é menor ele tende a subir, atingindo assim o ponto de equilíbrio, sendo a instabilidade do sistema. Além disso, podemos observar que existe uma diferença no movimento quando o ângulo inicial é superior ao ângulo do ponto de equilíbrio, pois o movimento de descida faz com que o braço cai em tempo menor atingido assim o equilíbrio. Já quando temos o movimento a partir do ângulo menor que o ponto de equilíbrio o movimento ocorre mais lentamente necessitando um tempo maior até atingir o ponto de equilíbrio.

Através deste trabalho foram demonstradas as etapas da modelagem matemática da dinâmica do movimento de um braço robótico com um grau de liberdade. A partir da formulação de um modelo matemático, da simulação computacional e de determinados parâmetros foi possível analisar as características do movimento do braço, através de um modelo simples. Com isso foi possível perceber que o movimento do braço robótico é rotacional e portanto, um dos parâmetros que dificulta a trajetória é o atrito pois possui características que interferem nos movimentos de subida e descida da trajetória.

Os resultados obtidos com essa pesquisa demonstram a necessidade de estudar mais para poder tecer estratégias de controle de movimentos preciso do braço robótico na realização de tarefas compensando erros em folgas e atrito nos componentes.

Agradecemos a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul ( UNIJUÍ ) e o Cnpq pelas bolsas disponibilizadas. Ao professor Antônio A. Carlos Valdiero por ter nos proporcionado esse momento de pesquisa, experiências e aprendizagem, importante para o nosso desempenho profissional.

CARLOTTO, Leonardo; Controle de um robô pneumático em aplicações de segmento de trajetórias retilíneas no espaço da tarefa. Trabalho de conclusão de curso – Curso de Engenharia Mecânica, departamento de tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul ( UNIJUÍ ). Panambi: 2006.

TABILE, Rubens Andre; INAMASU, Ricardo Y.; PORTO, Arhtur José Vieira. Robótica na agricultura de precisão. Publicado em Janeiro de 2008. Disponível em <http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/laboratorio-nacional-de-agricultura-de-preciso> o/livro-agricultura-de-precisao-um-novo-olhar/2.12





**Modalidade do trabalho:** Ensaio teórico

**Evento:** XVII Jornada de Pesquisa

VALDIERO, Antonio Carlos; Modelagem Matemática de Robôs Hidráulicos. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul ( UNIJUÍ ): Ed. Unijuí, 2012.

VALDIERO, Antonio Carlos; Projeto Mecânico de Robôs Industriais. Cadernos Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul ( UNIJUÍ ). Ed. Unijuí 2005.