

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA RIGIDEZ NO POSICIONAMENTO DE ESTRUTURAS ROBÓTICAS APLICADO A ESTRUTURA 6-RSS

Glicerinho Danter Lopes Soares Júnior,  
João Carlos Mendes Carvalho e  
Rogério Sales Gonçalves

UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Curso de Engenharia Mecatrônica  
Campus Santa Mônica – Bairro Santa Mônica - CEP 38400-902 - Uberlândia – Minas Gerais  
E-mail para correspondência: gliglijr@hotmail.com

### Introdução

Os sistemas multicorpos possuem uma vasta gama de aplicações, desde a aeronáutica à exploração marítima, da área médica à automobilística. Um sistema multicorpo muito estudado nos últimos anos é a denominada estrutura robótica paralela. Embora possua diversas vantagens em relação às estruturas seriais, a resolução de problemas como a singularidade, a rigidez e a acuracidade são bastantes complexos, (Gonçalves, 2009).

Para o estudo da rigidez de estruturas paralelas Gonçalves (2009) propõe a utilização do método *MSA* (Análise Matricial de Estruturas) acoplado ao modelo cinemático da estrutura e das principais fonte de flexibilidade: segmentos e articulações.

A Análise Matricial de Estruturas consiste na discretização da estrutura contínua nos seus componentes, segmentos e articulações e posteriormente realizar o agrupamento destas matrizes, respeitando-se um conjunto de regras derivadas da teoria da elasticidade (Gonçalves, 2009).

### Objetivo

O objetivo deste trabalho é a validação do modelo proposto por (Gonçalves, 2009) para o cálculo dos deslocamentos flexíveis, através da análise da rigidez de estruturas robóticas utilizando-se da análise matricial de estruturas – *MSA*, com a realização de testes experimentais na estrutura 6-RSS, mostrada na Fig. 1a.

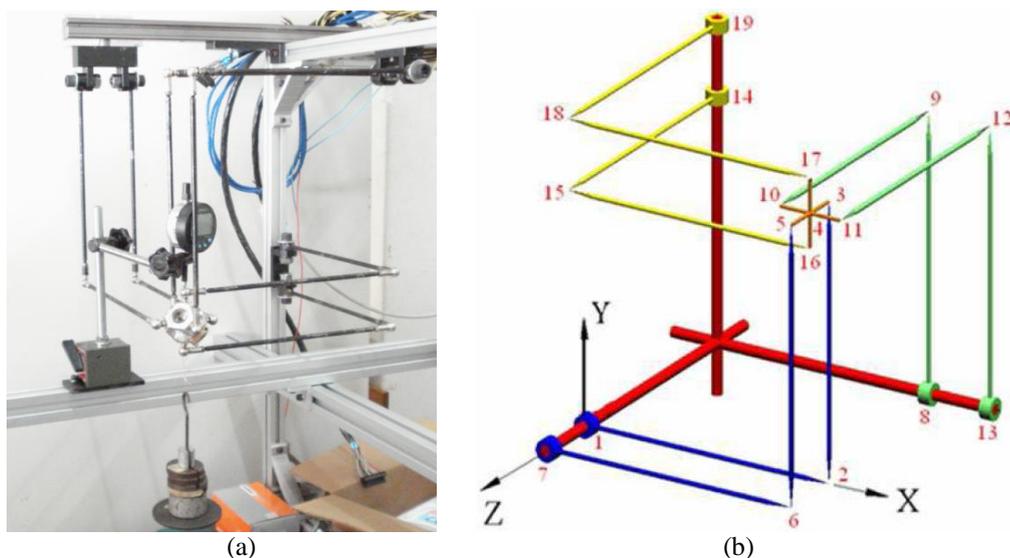


Figura 1 – Estrutura 6-RSS. (a) Teste Experimental; (b) Modelo MSA da estrutura 6-RSS.

### Estrutura 6-RSS

Por motivo de simplificação, em um primeiro modelo, na modelagem *MSA* foi considerada somente a flexibilidade dos segmentos. Assim, para a estrutura paralela 6-RSS, os braços e antebraços foram modelados como sendo segmentos e a montagem da matriz de rigidez da estrutura é realizada em função de como os elementos estão arranjados na estrutura, através dos nós, Fig. 1b, (Gonçalves e Carvalho, 2008a)

e (Gonçalves e Carvalho, 2008b). Este modelo é composto por 19 nós e 18 segmentos.

A obtenção das coordenadas de cada nó é feita utilizando-se do modelo cinemático da estrutura (Bezerra, 1996) e (Carvalho *et. al.*, 2001).

Como cada segmento possui uma orientação arbitrária no espaço, é necessário fazer a transformação de coordenadas, para cada segmento, de forma a obter sua matriz de rigidez no sistema de referência inercial.

A matriz de rigidez da estrutura completa é uma matriz quadrada 114 x 114 (19 nós x 6 graus de liberdade), (Gonçalves, 2009). Aplicando as condições de contorno que, neste caso, os atuadores foram considerados bloqueados e, portanto, os antebraços podem ser considerados engastados nas articulações de rotação (nós 1, 7, 8, 13, 14 e 19), obtém-se uma matriz de dimensões 78 x 78 que permite realizar o cálculo dos deslocamentos flexíveis dos demais nós com o uso da Eq. (1), (Gonçalves, 2009):

$$\{u\} = [K]^{-1} \{W\} \quad (1)$$

Onde,

$u$ : deslocamentos flexíveis do centro do elemento terminal;

$K$ : matriz de rigidez da estrutura no sistema de referencial inercial;

$W$ : forças e momentos aplicados no elemento terminal da estrutura (nó 4).

## Metodologia

Para validar o modelo proposto por (Gonçalves, 2009) foram realizadas, na estrutura 6-RSS, diversas medidas de deslocamento, Fig. 1a, após inseridas cargas no elemento terminal, as medidas foram realizadas utilizando-se um relógio comparador com resolução de 1µm.

O número de medidas para cada carga utilizada foi estimada por planejamento estatístico.

## Resultados

As medidas foram realizadas no ponto 17 da estrutura 6-RSS, conforme mostrada na Fig. 1b, e as cargas foram aplicadas no elemento terminal (ponto 4) na direção do eixo  $y$  e com sentido negativo, Fig. 1a.

Os valores das cargas aplicadas e as médias dos valores medidos podem ser vistos na Tab. 1.

Tabela 1 – Valores obtidos experimentalmente.

Massa [kg]	Média [mm]	Desvio Padrão [mm]	Valor teórico [mm]	Erro [%]
0,9935	1,995	0,047	2,1356	6,6
1,2435	2,696	0,043	1,2435	0,9
1,4915	3,201	0,049	3,2061	0,16

Como observado na Tab. 1, o método *MSA* teve uma excelente aproximação dos valores medidos experimentalmente.

## Conclusões

O uso da metodologia *MSA* fornece bons resultados, permite uma fácil implementação computacional devido ao fato de ser todo escrito em formato matricial, bastando apenas ser acoplado com o modelo cinemático do sistema multicorpo para permitir a realização do mapeamento da rigidez em função dos esforços aplicados na estrutura em todo o espaço de trabalho. Os trabalhos futuros envolvem medições experimentais dos deslocamentos flexíveis para outros pontos e para diferentes configurações da estrutura robótica 6-RSS.

## Referências Bibliográficas

- Bezerra, C. A. D., “Geometric Model of a Fully Cartesian Parallel Structure”, MSc Thesis, Federal University of Uberlândia, Brazil, 1996. (Em português)
- Carvalho, J. C. M., Duarte, M. A. V., Ribeiro, C. R., “Forward and Inverse Kinematic Model of a Parallel Cartesian Structure Using Neural Network”, In: IX DINAME, pp. 207 – 211, Florianópolis, 2001.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., “Análise de Rigidez de Estruturas Robóticas Paralelas”, CONEM 2008, V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador, Bahia, Brasil, 2008a.
- Gonçalves, R. S., Carvalho, J. C. M., “Stiffness analysis of parallel manipulator using matrix structural analysis”, EUCOMES 2008, 2-nd European Conference on Mechanism Science, Cassino, Italy, 2008b.
- Gonçalves, R. S., “Estudo de rigidez de cadeias cinemáticas fechadas”, Tese, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil, 2009.