

ANÁLISE DE COMPONENTES MECÂNICOS CRÍTICOS DE UM ROBÔ DELTA

GABRIEL NARDES GIAMPIETRO¹, SHERFIS GIBRAN RUWER²

¹ Graduando em Engenharia de Produção, Bolsista PIBIFSP, IFSP – Campus Registro, gabrielnardeslobao@gmail.com

² Professor MSc. em Engenharia e Tecnologias Espaciais, IFSP – Campus Registro, sherfis@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.04.06-6 Métodos de Síntese e Otimização Aplicados ao Projeto Mecânico

Apresentado no

10º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP

27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: Este trabalho analisou componentes críticos de um robô de arquitetura paralela do tipo Delta, de três graus de liberdade com aplicabilidade em tarefas *pick and place* (pega e põe), visando identificar e melhorar aspectos de rigidez mecânica. Um protótipo do robô foi desenvolvido por este grupo de pesquisa em projetos anteriores. Os componentes críticos foram identificados através de análise em elementos finitos (FEA). As deformações críticas foram encontradas nas hastes maiores do robô, analisadas sob os métodos FEA e modelo analítico. Para o estudo analítico foram modeladas as equações de tensão-deformação e simuladas as condições de carga no software Scilab. Estudou-se a substituição do alumínio para a fibra de carbono. Tomando como base uma seção transversal circular e o módulo de elasticidade do carbono, a inércia móvel do robô foi reduzida, aumentando seu desempenho dinâmico.

PALAVRAS-CHAVE: robô Delta; elementos finitos; análise mecânica; tensão-deformação.

ANALYSIS OF CRITICAL MECHANICAL COMPONENTS OF A DELTA ROBOT

ABSTRACT: This work analyzed critical components of a three degree of freedom Delta architecture parallel robot with applicability in pick and place tasks, aiming to identify and improve aspects of mechanical rigidity. A prototype robot was developed by this research group on previous projects. Critical components were identified through finite element analysis (FEA). Critical deformations were found in the larger links, analyzed under the FEA methods and analytical model. For the analytical study the stress-strain equations were modeled and the load conditions simulated in the Scilab software. The replacement of aluminum for carbon fiber was studied. Based on a circular cross section and carbon modulus of elasticity, the robot's mobile inertia has been reduced, increasing its dynamic performance.

KEYWORDS: Delta robot; finite element analysis; mechanical analysis; stain-stress.

INTRODUÇÃO

Robô Delta é um robô de arquitetura paralela de três graus de liberdade (GdL), que consiste em três paralelogramos conectados à uma base móvel por meio de uma cadeia cinemática fechada (TAGHIRAD, 2013, p. 17). Sua principal utilização é o *pick-and-place* (pega-e-põe) de objetos pequenos e leves, uma vez que é caracterizado por alta velocidade, chegando a 200 ciclos por minuto. Essa velocidade é consequência da baixa inércia da base móvel e suas articulações, já que estas não suportam o peso de motores e acionamentos.

Um protótipo do robô Delta foi desenvolvido por este grupo de pesquisa. A otimização de componentes de um protótipo é parte fundamental do projeto, a fim de diminuir custos e melhorar performance. Métodos de otimização devem levar em conta certas características como massa, momento de inércia, geometria, rigidez, coeficientes de amortecimento, entre outros, pois afetam o comportamento dinâmico do sistema (BESTLE; EBERHARD, 2012, p. 33). Softwares que utilizam o método de Análise Elementos Finitos (*Finite Element Analysis*, FEA) são usados em modelagem e simulação de fenômenos físicos, pois simplificam o processo de análise e evitam o cálculo manual de muitas variáveis. Partindo do princípio de analisar a parte pelo todo, o FEA divide o domínio de um sistema em um conjunto de sub-domínios, sendo a solução do sistema a soma da solução dos sub-domínios.. Para um grande número de pontos faz-se necessário a utilização de softwares

especializados, que irão dividir os componentes mecânicos em malhas (DESAI, 2011, p. 27). Este trabalho tem por objetivo identificar quais componentes mecânicos do robô Delta são críticos à sua performance para, assim, otimizá-los.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise dos componentes mecânicos foi realizada no software Autodesk Inventor, que permite a análise estrutural de forças atuando sobre um componente, utilizando a FEA. Aplicam-se as cargas no modelo, ilustrada por uma flecha amarela na figura 1. O resultado é ilustrado por uma escala de cores no próprio componente, indicando deformações, deslocamentos, tensões, torções, etc.

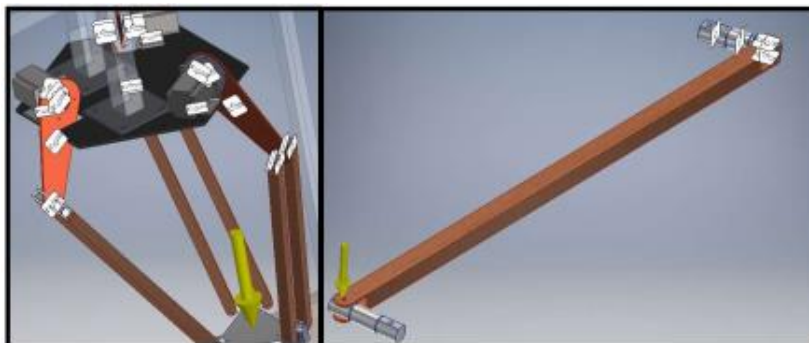


FIGURA 1. Restrições e cargas aplicadas nos modelos mecânicos para análise de elementos finitos.

A primeira análise considera o robô inteiro e a segunda apenas a haste maior e os eixos. Foi especificado o alumínio como material das peças. Foram avaliados os deslocamentos e as tensões ocorridas a partir da aplicação da carga. Para aferir a validade dos resultados produzidos pela FEA foram utilizadas as fórmulas para deslocamento em testes de flexão (YOUNG; BUDYNAS, 2002), computadas no software livre de análise numérica Scilab. As seções das hastes analisadas foram: quadrada vazada; quadrada cheia, circular vazada e circular cheia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de componentes críticos identificou as hastes maiores como as mais sujeitas a deformações elásticas. Trata-se de peças de maior comprimento, mais suscetíveis à esforços de flexão produzidas por momento fletor devido à carga em suas extremidades. Os resultados do Inventor para deformação e tensão se encontram respectivamente nas figuras 2 e 3, e os valores críticos máximos são mostrados na tabela 1.

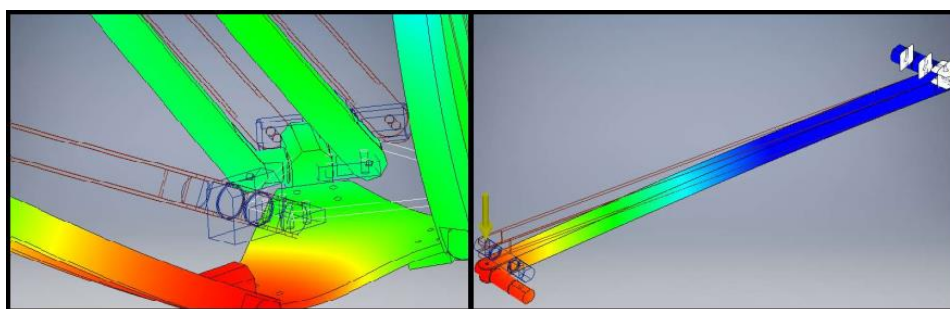


FIGURA 2. Resultado da FEA em Inventor para a deformação.

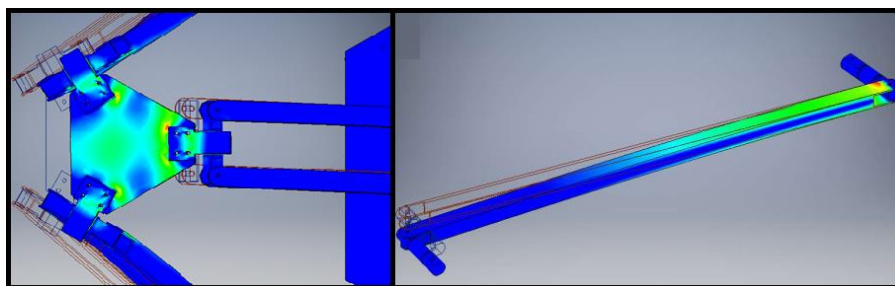


FIGURA 3. Resultado da FEA em Inventor para a tensão.

TABELA 1. Dados da deformação e tensão obtidos pela Análise de Elementos Finitos no Inventor.

Análise	Deformação máxima (mm)	Tensão máxima (MPa)
Robô inteiro	0,138	6,482
Haste	2,231	17,04

O módulo de elasticidade da fibra de carbono utilizado foi 100,51 GPa (ASHORI ET AL, 2015). A tabela 2 apresenta os valores para as simulações com os dois materiais.

TABELA 2. Dados obtidos pela análise numérica das deformações das hastes, a partir de quatro seções transversais e dois materiais, em Scilab.

Máxima Deformação	Alumínio (mm)	Fibra de carbono reforçada (mm)
Quadrado vazado	2,200	1,511
Quadrado cheio	1,299	0,892
Círculo vazado	0,233	0,160
Círculo cheio	0,138	0,095

A deformação calculada para o quadrado vazado em alumínio é próxima da calculada pelo Inventor, com uma diferença de 1,39%. Seguindo a análise da tabela, o tubo circular de fibra de carbono apresenta a menor deformação, de apenas 0,095 mm.

CONCLUSÕES

Este projeto abrangeu a análise de componentes críticos de um robô manipulador de arquitetura paralela do tipo Delta, visando otimizar sua estrutura e reduzir sua inércia. Foi possível identificar as hastes maiores como componentes críticos, devido ao seu comprimento e consequente flexão. A FEA da haste resultou em valores próximos aos calculados pelas equações de tensão-deformação, indicando confiabilidade no estudo. Observou-se que a haste sofre um esforço maior perto da região fixada à base fixa, indicando que esta região pode ter sua seção transversal aumentada. Caso este protótipo fosse aplicado à uma linha de produção de montagem de circuitos eletrônicos impressos, por exemplo, um erro de 2,200 mm seria bastante significativo. A haste quadrada vazada em alumínio deverá, então, ser substituída pela haste circular em fibra de carbono reforçada, uma vez que menores valores para deformação resultarão em maior precisão, confiabilidade e repetibilidade do manipulador do robô. A escolha entre o perfil circular cheio ou vazado deverá ser analisada, pois ao mesmo tempo que a haste cheia oferece mais resistência à deformação, o aumento de massa poderá implicar na performance do robô. Deverá ser analisado também o custo dessa aquisição, uma vez que esta troca aumentará o custo do projeto.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica e Tecnológica do IFSP (PIBIFSP).

REFERÊNCIAS

ASHORI, Alireza; RAHMANI, Hossein; NAJAFI, Mahmoudi S. Heydar; MAHDI, Golriz. **Elastic Properties of Carbon Fibre-Reinforced Epoxy Composites**. Polymers and Polymer Composites nº 23, 2015.

BESTLE, D.; EBERHARD, P. Werner. **Multi-Criteria Multi-Model Design Optimization**. Solid Mechanics and Its Applications, v. 43, p. 33-48, 2012.

DESAI, Y. M. **Finite Element Method with Applications in Engineering**. Chennai: Pearson Education India, 2011.

TAGHIRAD, Hamid D. **Parallel Robots: Mechanics and Control**. Boca Raton: CRC Press, 2013.

YOUNG, Warren C. BUDYNAS, Richard G. **Roark's Formulas for Stress and Strain**. 7 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2002.