

ESTUDO DO LUGAR DAS RAÍZES EM UM MODELO DE ROBÔ PARALELO

BREGANON, Ricardo¹; ALVES, Uiliam Nelson Lenzion Tomaz²; MARTINS, Luis F. Barone³; ALMEIDA, João Paulo L. Silva de⁴

¹ Doutor em Engenharia Mecânica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, ricardo.breganon@ifpr.edu.br

² Doutor em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, uiliam.alves@ifpr.edu.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, luis.martins@ifpr.edu.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Instituto Federal do Paraná (IFPR), Jacarezinho, Paraná, joao.almeida@ifpr.edu.br

RESUMO

Um robô paralelo é um dispositivo de seis graus de liberdade, em que uma plataforma móvel é ligada a uma base fixa por meio de seis atuadores. A alteração da posição e orientação da plataforma móvel é realizada por meio da extensão de cada atuador e o comprimento de cada atuador para uma dada configuração é determinada pela cinemática inversa do equipamento. O modelo matemático utilizado neste trabalho para o projeto do controlador foi obtido por meio da função de transferência de um atuador eletromecânico, relacionando a tensão aplicada e o comprimento do atuador, que foi replicada para todos os outros que compõem o robô analisado. O projeto do controlador foi realizado por meio do estudo do lugar das raízes e então um ganho K foi encontrado para a realimentação. Resultados de simulação são apresentados para verificar o desempenho do sistema e validar a metodologia proposta.

PALAVRAS-CHAVE: Robô paralelo. Lugar das raízes. Atuador eletromecânico.

INTRODUÇÃO

Os robôs paralelos são estruturas que podem ser usadas para controlar ou gerar movimentos em 6 graus de liberdade, com aplicações em diferentes processos de manufatura, bases de simuladores de voo e de automóveis e tarefas de precisão (DASGUPTA & MRUTHYUNJAYA, 2000; BEN-HORIN, SHOHAM & DJERASSI, 1998).

O mecanismo deste tipo de robô consiste em uma base inferior fixa e uma base superior móvel que são conectadas por 6 elos. Estes elos estão formados por duas juntas universais posicionadas nos extremos de cada atuador (AT). Os atuadores podem se movimentar de forma independente mudando seu comprimento, porém, para a base móvel alcançar uma posição desejada, precisa-se da combinação dos comprimentos de todos os atuadores, obtendo-se desta forma a transformação dos seis deslocamentos lineares em três movimentos de translação (X , Y , Z) e três movimentos de rotação (φ , θ , ψ) da base superior móvel. A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático de um robô paralelo, também conhecido como plataforma de Stewart (STEWART, 1965).

Para o controle de posição e orientação do robô paralelo, a cinemática inversa é um aspecto a ser considerado, onde, a partir da posição e atitude da base superior móvel com relação à base inferior fixa obtém-se os comprimentos dos atuadores. A saída da cinemática inversa é o comprimento que cada atuador deve possuir para que a base móvel alcance a posição desejada, gerando assim a referência a ser aplicada em cada um dos atuadores (BREGANON, 2018; ACUÑA, 2009).

Este trabalho apresenta o projeto de um controlador pelo método do lugar das raízes aplicados a um modelo de robô paralelo. O modelo matemático do robô paralelo juntamente com a cinemática inversa utilizados para o projeto do controlador podem ser consultados em Breganon (2014).

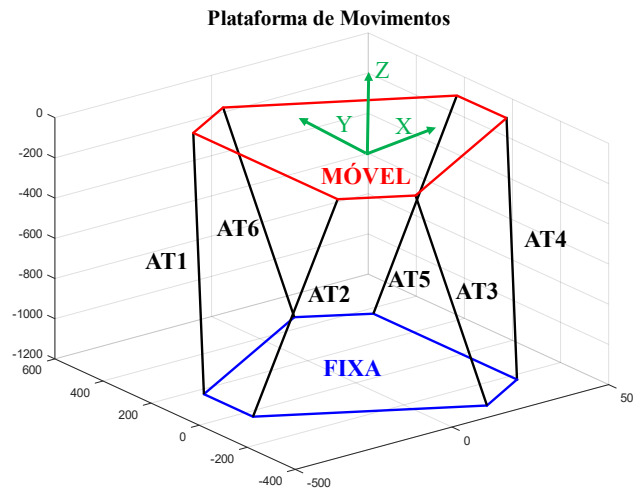
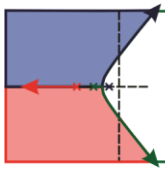


Figura 1 - Esquemático de um robô paralelo.

PROJETO DO CONTROLADOR USANDO O LUGAR DAS RAÍZES

Para o projeto do controlador, foi utilizado o modelo matemático de um robô paralelo. Ele consiste na dinâmica de um atuador eletromecânico, composto por um motor elétrico 12V DC com transmissão por engrenagens para o fuso de esfera com curso máximo de 610 mm, que é replicada para todos os atuadores. Esta dinâmica é mostrada na Equação (1), sendo a entrada a tensão aplicada ($V(s)$) e a saída, o comprimento do atuador ($L(s)$).

$$\frac{L(s)}{V(s)} = \frac{7137}{s^3 + 68,45s^2 + 1171s} \tag{1}$$

O método do lugar das raízes permite analisar graficamente como os polos de um sistema de malha fechada variam conforme a mudança de um parâmetro do sistema. A abordagem mais comum analisa como os polos de malha fechada variam conforme o valor de um ganho de realimentação K assume valores de 0 a ∞ (NISE, 2011). A Figura 2 mostra o uso do controlador com ganho K no controle dos atuadores do robô paralelo.

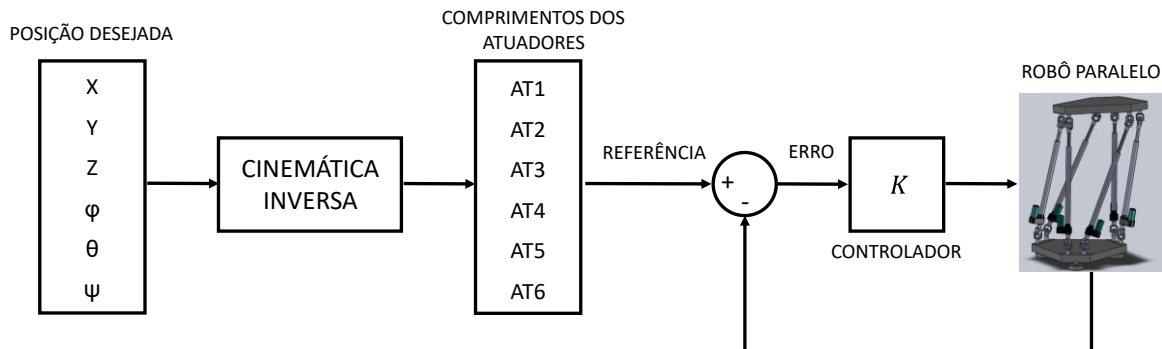
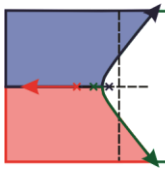


Figura 2 - Diagrama de blocos do robô paralelo.

Para a dinâmica do atuador (Equação (1)), é possível obter o gráfico do lugar das raízes apresentado na Figura 3. Através da ferramenta *rtool* do Matlab®, foi escolhido um tempo de acomodação de $t = 1s$ e obteve-se um ganho $K = 0,32927$, utilizado para o controle de cada atuador que posiciona e



orienta o robô paralelo. Assim, o sistema de malha fechada tem a função de transferência dada na Equação (2), sendo $L(s)$ o comprimento do atuador e $R(s)$ a referência. Os polos em malha fechada destacados com asterisco na Figura 3 são $[-45,5629 \quad -13,1045 \quad -9,7826]$.

$$\frac{L(s)}{R(s)} = \frac{5841}{s^3 + 68,45s^2 + 1171s + 5841} \quad (2)$$

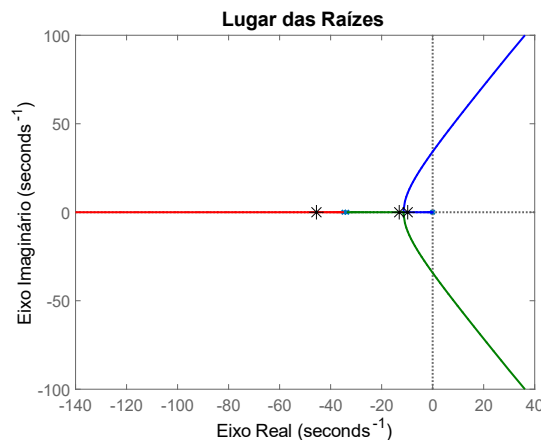


Figura 3 - Lugar das Raízes do sistema.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de validar a proposta deste trabalho, aplicou-se ao modelo matemático do robô paralelo o controlador projetado pelo método do lugar das raízes. Resultados de simulação foram analisados para uma mudança de configuração da plataforma superior de 15° em φ .

A Figura 4 apresenta a posição final dos 6 atuadores para o ângulo requerido, a Figura 5 mostra que o erro tendeu a zero para todos os atuadores e por fim, a Figura 6 apresenta a tensão aplicada para cada atuador chegar no comprimento requerido, necessário para posicionar o robô paralelo na configuração desejada. É importante ressaltar que, para uma tensão nula (ou próxima de zero), o atuador fica imóvel.

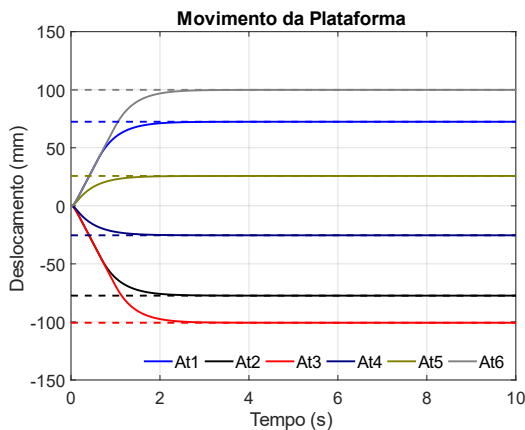


Figura 4 - Comprimento dos atuadores para configuração de 15° em φ .

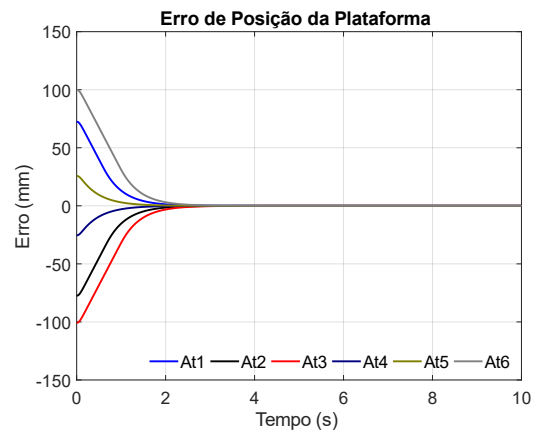


Figura 5 - Erro entre a referência e o comprimento dos atuadores para configuração de 15° em φ .

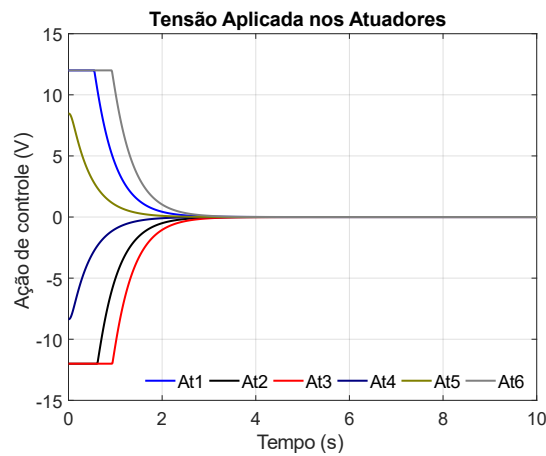
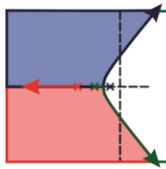


Figura 6 - Ação de controle para configuração de 15° em φ .

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho realizou-se o projeto do controlador pelo método do lugar das raízes, utilizando a ferramenta *rltool* do Matlab® e aplicou-se no modelo matemático de um robô paralelo.

Conclui-se que a metodologia utilizada foi adequada para o robô paralelo, pois, através de resultado de simulação, observou-se que o sistema foi capaz de chegar na posição desejada, fazendo o erro tender a zero.

REFERÊNCIAS

- ACUÑA, H. G. **Projeto mecatrônico de uma plataforma de Stewart para simulação dos movimentos nos navios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 112 p., 2009.
- BEN-HORIN, R., SHOHAM, M., & DJERASSI S. **Kinematics, dynamics, and construction of a planary actuated parallel robot**. Robotics and Computer Integrated Manufacturing. V.14, 163-172 p., 1998.
- BREGANON, R. **Análise, desenvolvimento e controle de uma plataforma de movimentos com 6 graus de liberdade**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 143 p., 2014.
- BREGANON, R., MONTEZUMA, M. A. F., SOUZA, M. M., LEMES, R. C., & BELO, E. M. **Optimal H Infinity Controller Applied to a Stewart Platform**. International Journal of Advanced Engineering Research and Science. V.5 (7), 51-59 p., 2018.
- DASGUPTA, B., & MRUTHYUNJAYA, T. S. **The Stewart Platform Manipulator: a review**. Mechanism and Machine Theory. 35. 15-40 p., Pergamon, 2000.
- NISE, N. S. **Control Systems Engineering**. John Wiley & Sons, 2011.
- STEWART, D. **A Platform with Six Degrees of Freedom**. Proceedings of Institution of Mechanical Engineers. V.180, n.15, 371-386 p., 1965.