



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

ES827 - Robótica Industrial

Projeto Final

Dinâmica e Cinemática do Robô Puma 560

Nome:

Daniel Dello Russo Oliveira

Marcelli Tiemi Kian

RA

101918

117892

20 de junho de 2015

1 Objetivos

O objetivo desse projeto é simular e analisar aspectos dinâmicos de um robô Puma 560, e cinemática de um robô criado pelo arquivo “ini_Rbt.m” [3] conforme sugerido pelo roteiro [1].

2 Dinâmica do Puma 560

Pelo roteiro foi sugerido para a análise dinâmica, utilizar o robô Puma 560 construído automaticamente pela “toolbox” de robótica [2], a função “accel” e a “Matlab Function” pelo Simulink. Entretanto, algumas modificações foram feitas. Retiramos o atrito seco (de Coulomb) nas juntas do robô, pois gerava longos tempos de simulação, e utilizamos um “script” do Matlab em vez de usar o Simulink.

2.1 Malha aberta

A seção 6.3 da tese [5] utilizada como base mostra simulações feitas com o robô em malha aberta. A partir de entradas desejadas para q_{des} e \dot{q}_{des} calculamos o vetor de torque u necessário para manter a posição. Como podemos observar, fizemos as simulações abaixo utilizando o robô Puma 560 também em malha aberta para as mesmas condições iniciais informadas pela tese [5], mas com o vetor u calculado para o robô Puma 560.

$$q_{des} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\pi}{2} & -\frac{\pi}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (1)$$

$$\dot{q}_{des} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (2)$$

$$u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

2.1.1 Simulação 1

Condições iniciais:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

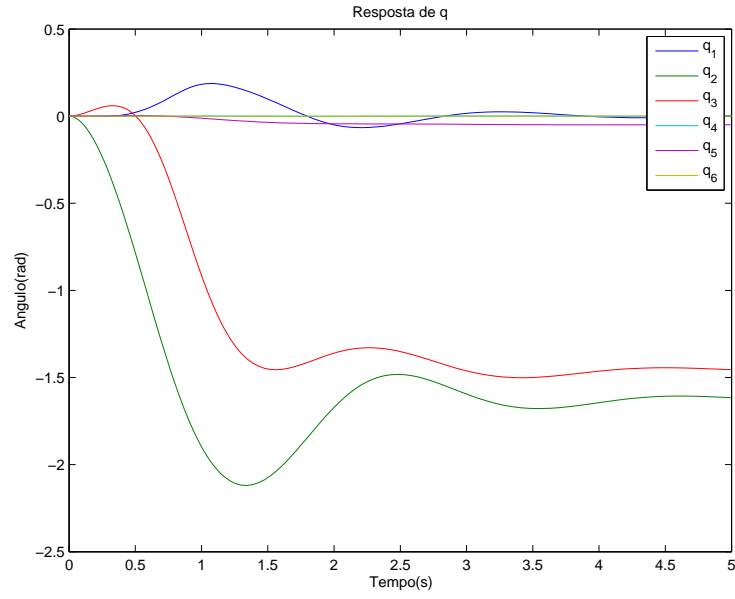


Figura 1: Simulação 1 para o robô Puma

2.1.2 Simulação 2

Condições iniciais:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & \pi & -\frac{\pi}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (7)$$

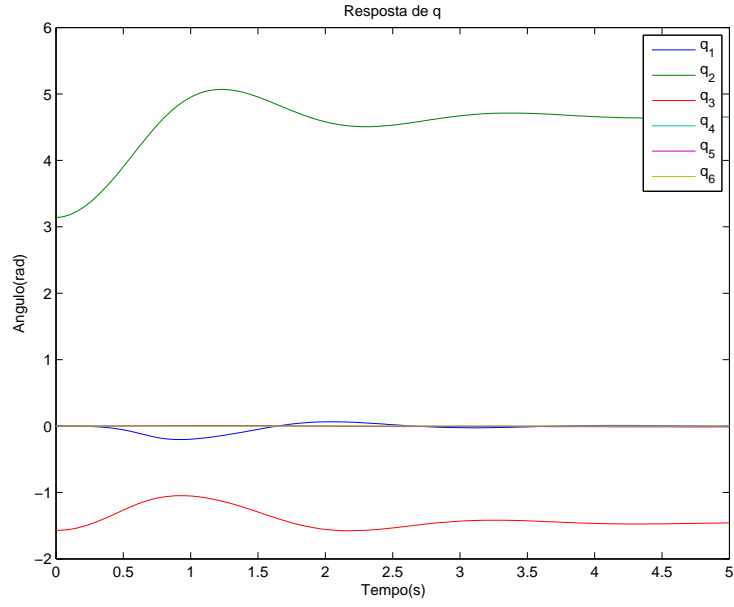


Figura 2: Simulação 2 para o robô Puma

2.1.3 Simulação 3

Condições iniciais:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\pi}{2} & -\frac{\pi}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

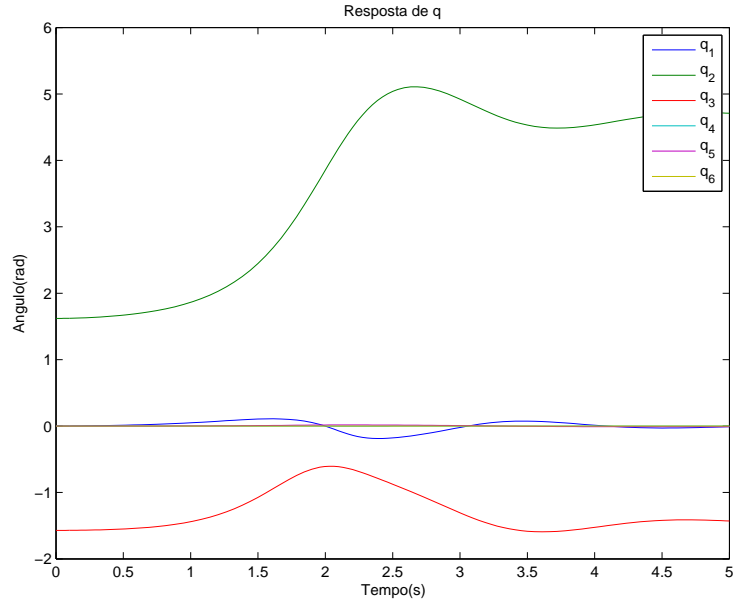


Figura 3: Simulação 3 para o robô Puma

2.1.4 Simulação 4

Condições iniciais:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\pi}{2} + 0.05 & -\frac{\pi}{2} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (10)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

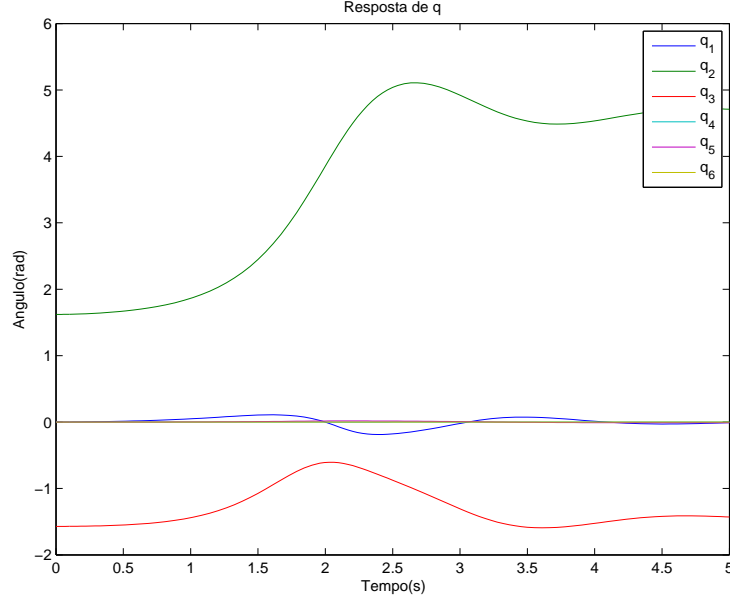


Figura 4: Simulação 4 para o robô Puma

2.2 Equilíbrio de energia

A seção 6.4 da tese[5] utilizada como base trata da análise de equilíbrio de energia do robô. No nosso estudo, vamos considerar nulos os esforços de compensação da força gravitacional, fazendo um estudo da energia cinética do robô Puma 560 (translação e rotação), conforme mostrado nas simulações a seguir, sendo as simulações 5 e 6 feitas com atrito viscoso (sem atrito seco), e sem atrito viscoso nem atrito seco.

2.2.1 Simulação 5

Condições iniciais e torque:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (12)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (13)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (14)$$

Figura 5: Simulação 5 para o robô Puma com atrito viscoso

Figura 6: Simulação 5 para energia do robô Puma com atrito viscoso

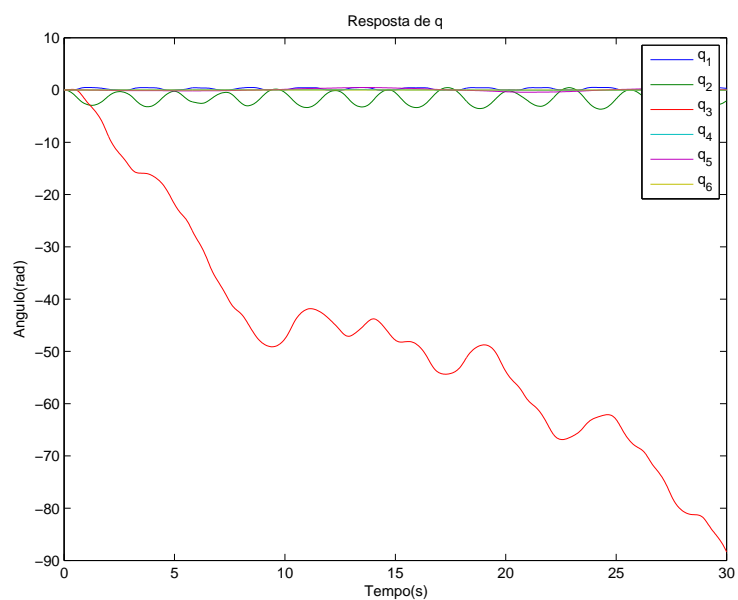


Figura 7: Simulação 5 para o robô Puma sem atrito viscoso

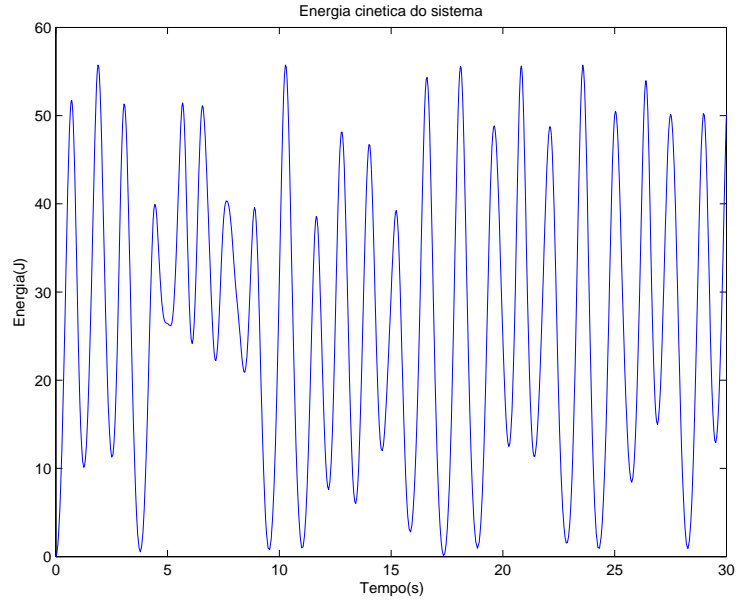


Figura 8: Simulação 5 para energia do robô Puma sem atrito viscoso

2.2.2 Simulação 6

Condições iniciais e torque:

$$q_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0.000001 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (15)$$

$$\dot{q}_{init} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (17)$$

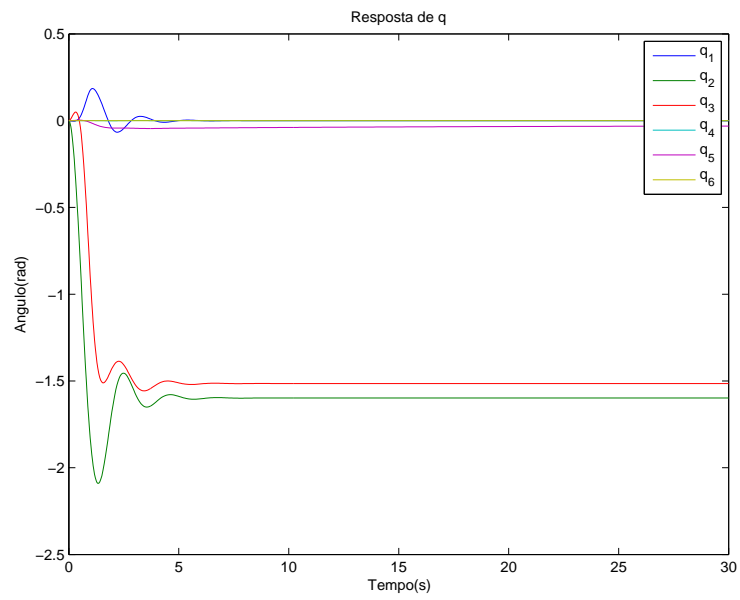


Figura 9: Simulação 6 para o robô Puma com atrito viscoso

Figura 10: Simulação 6 para energia o robô Puma com atrito viscoso

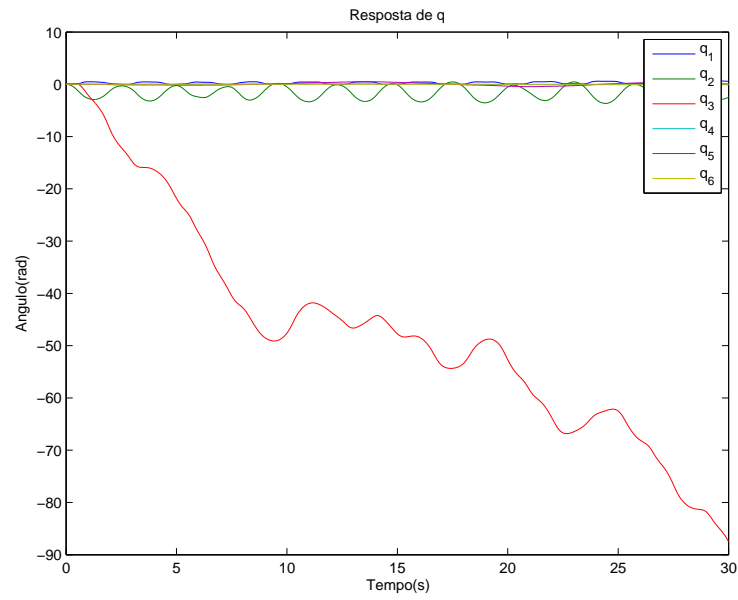


Figura 11: Simulação 6 para o robô Puma sem atrito viscoso

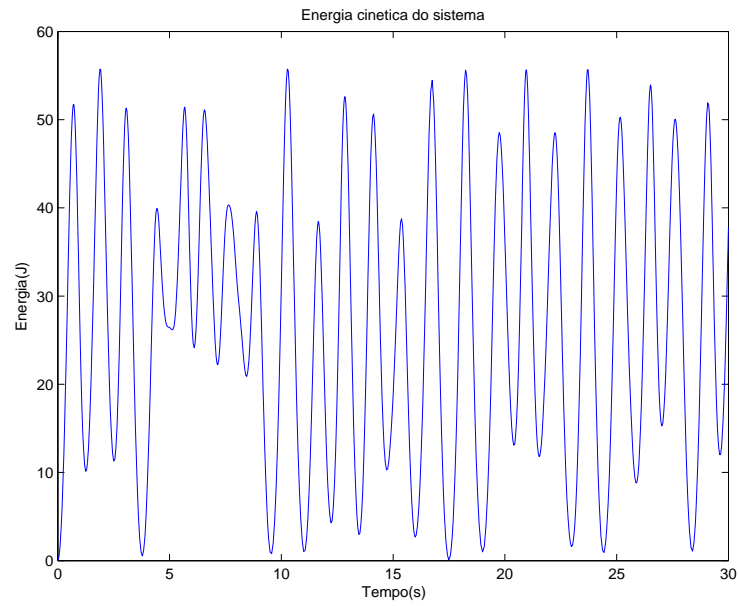


Figura 12: Simulação 6 para energia do robô Puma sem atrito viscoso

2.3 Controle em malha fechada

3 Cinemática

3.1 Controle de Trajetória

3.2 Elipse

4 Questões

- Por que na seção “Controle em malha fechada” os torques finais obtidos são nulos? O torque final não deveria ser igual ao torque de compensação da força da gravidade?
- Na seção “Equilíbrio de energia cinética” foi indicado um comando do Matlab para se obter a matriz de massa/inércia no espaço das juntas $\rightarrow M(q)$. Como você faria para obter essa matriz de massa utilizando o método de Newton-Euler além de manipulação simbólica? Veja os apêndices B e C da tese[5]. Essa matriz corresponde à matriz $M(q)$ da equação geral da dinâmica de um robô, como dado abaixo, onde “u” é o vetor de torques nas juntas.

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = u \quad (18)$$

- Por que essa matriz de massa $M(q)$ não é do tipo da matriz de massa abaixo de um corpo rígido, que é uma matriz 6×6 com uma matriz diagonal M e outra matriz de inércia do corpo J ?

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \quad (19)$$

5 Referências

- [1] Roteiro do projeto disponibilizado para os alunos
- [2] Peter Corke, Robotics Toolbox, disponível em http://www.petercorke.com/Robotics_Toolbox.html
- [3] Código ini_Rbt.m fornecido pelo professor

- [4] Código Rbtsquare.m fornecido pelo professor
- [5] Herman Høifødt, Dynamic Modeling and Simulation of Robot Manipulators, The Newton-Euler Formulation, disponível em <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:436733/FULLTEXT01.pdf>