

ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO

Raphael Barros Parreira

1 Controle Cinemático de Manipuladores

1.1 Controle

De acordo com a tabela de Denavit Hartenberg Standard, o manipulador Antropomórfico 6R possui um punho equivalente a um punho esférico, cujo tamanho dos elos é 0. Isto significa que as 3 últimas juntas não influenciam na posição do efetuador. O objetivo deste exercício é controlar a posição do efetuador dados 3 trajetórias, e nada é pedido em relação à orientação do manipulador. Portanto iremos trabalhar com um sistema reduzido em que apenas as 3 primeiras juntas serão controladas (as outras três juntas permanecerão na posição ready).

No controle cinemático assume-se que a velocidade do manipulador é a variável manipulada.

$$J = \begin{bmatrix} J_p \\ J_o \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \vec{v} \\ \vec{\omega} \end{bmatrix} = J\dot{\theta} = Ju = \begin{bmatrix} J_p u \\ J_o u \end{bmatrix}$$

$$u = \begin{bmatrix} u_{13} \\ u_{46} \end{bmatrix} \quad J_p = \begin{bmatrix} J_{p13} & J_{p46} \end{bmatrix}$$

$$\vec{v} = J_{p13}u_{13} + J_{p46}u_{46}$$

$$\|J^\dagger\|_{max} = 4.277 \quad \|\dot{x}_d\|_{max} = 0.2356 \quad \|e\|_{max} = 0.1417$$

$$K_{base} \approx \frac{3}{\frac{\|J^\dagger\|_{max}}{\|\dot{x}_d\|_{max}} - \|e\|_{max}} \approx 3.3$$

Table 1: Ganhos para os controles com e sem Feed-forward em todas as 3 trajetórias.

Controles	FB	FF
Trajectoria 1	8.91	7.24
Trajectoria 2	8.91	8.57
Trajectoria 3	8.91	8.57

Como as dimensões dos últimos 3 elos são 0, o J_{p46} será sempre $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T$, portanto trabalharemos com um sistema reduzido com J_{p46} . Também é preciso escolher uma base para expressar os vetores. Como a trajetória desejada é descrita no sistema inercial, o sistema também será descrito no sistema inercial.

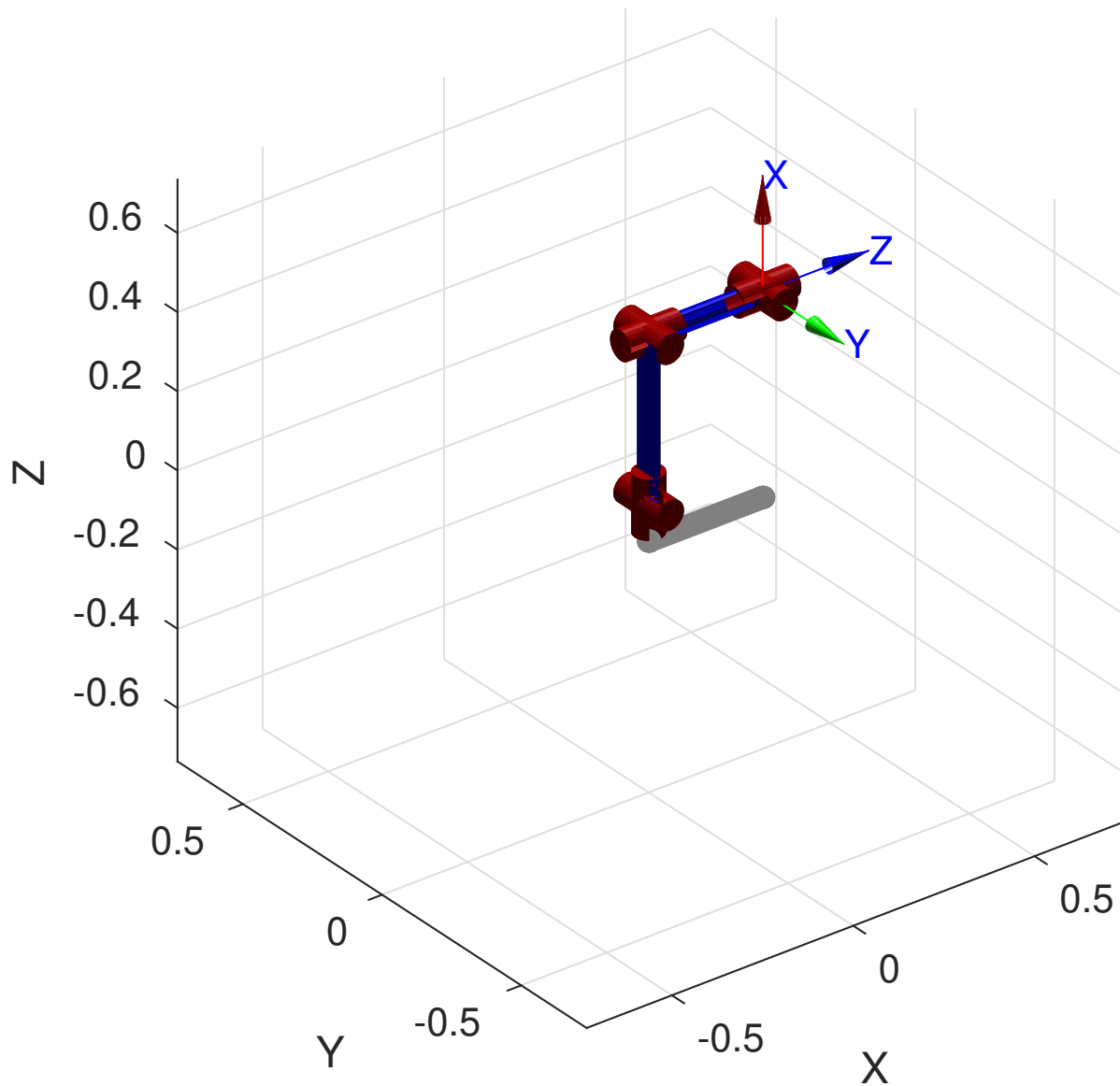


Figure 1: Ex 1: Manipulador Antropomórfico na posição ready

$$\vec{v} = \dot{\vec{x}} = J_{p13} u_{13}$$

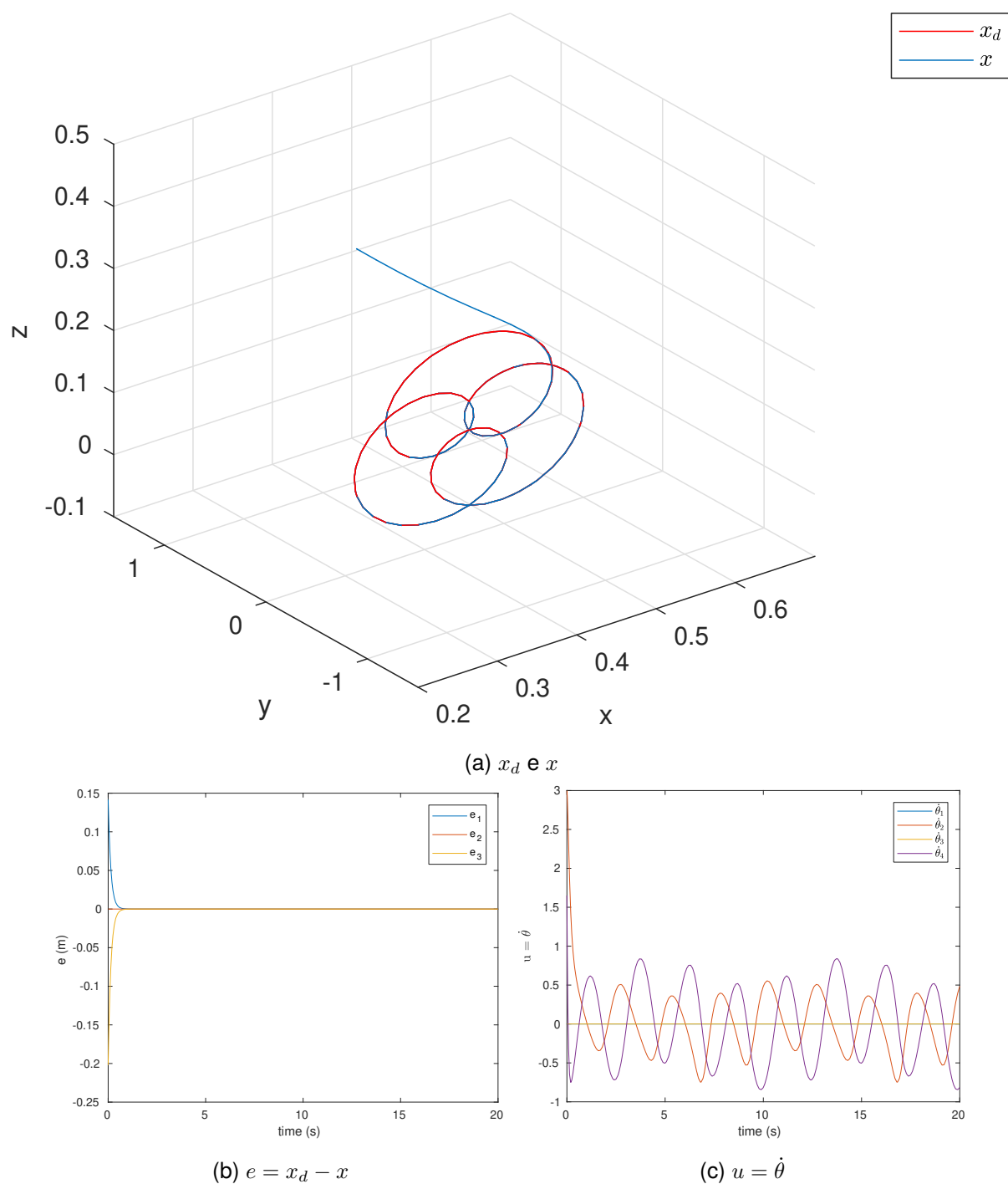
Escolhendo trabalhar no sistema inercial teremos:

$$(\vec{v})_0 = v = \dot{x} = (J_{p13})_0 u_{13}$$

Pelo enunciado é preciso realizar o controle com duas formulações para u_{13} , uma que use o inverso de J_{p13} e outro com a transposta de J_{p13} .

$$u_1 = (J_{p13})_0^{-1} \bar{u} = (J_{p13})_0^{-1} (\dot{x}_d + K(x_d - x))$$

$$u_2 = (J_{p13})_0^T \bar{u} = (J_{p13})_0^T (\alpha \dot{x}_d + K(x_d - x))$$

Figure 2: Ex 1: Trajetória a , controle com FF.

Justificativa para u_2 com $\alpha \neq 0$? Não consegui encontrar uma função de Lyapunov que garanta $\dot{V} \leq 0$. Podemos provar que u_2 torna o sistema assintoticamente estável para o caso em que a trajetória desejada é uma constante ($\alpha = 0$), mas como as trajetórias desejadas do enunciado são variantes no tempo não podemos garantir $\dot{V} \leq 0$, ou seja, u_2 com $\alpha = 0$ não consegue zerar o erro para as trajetórias desejadas. No caso da trajetória constante temos:

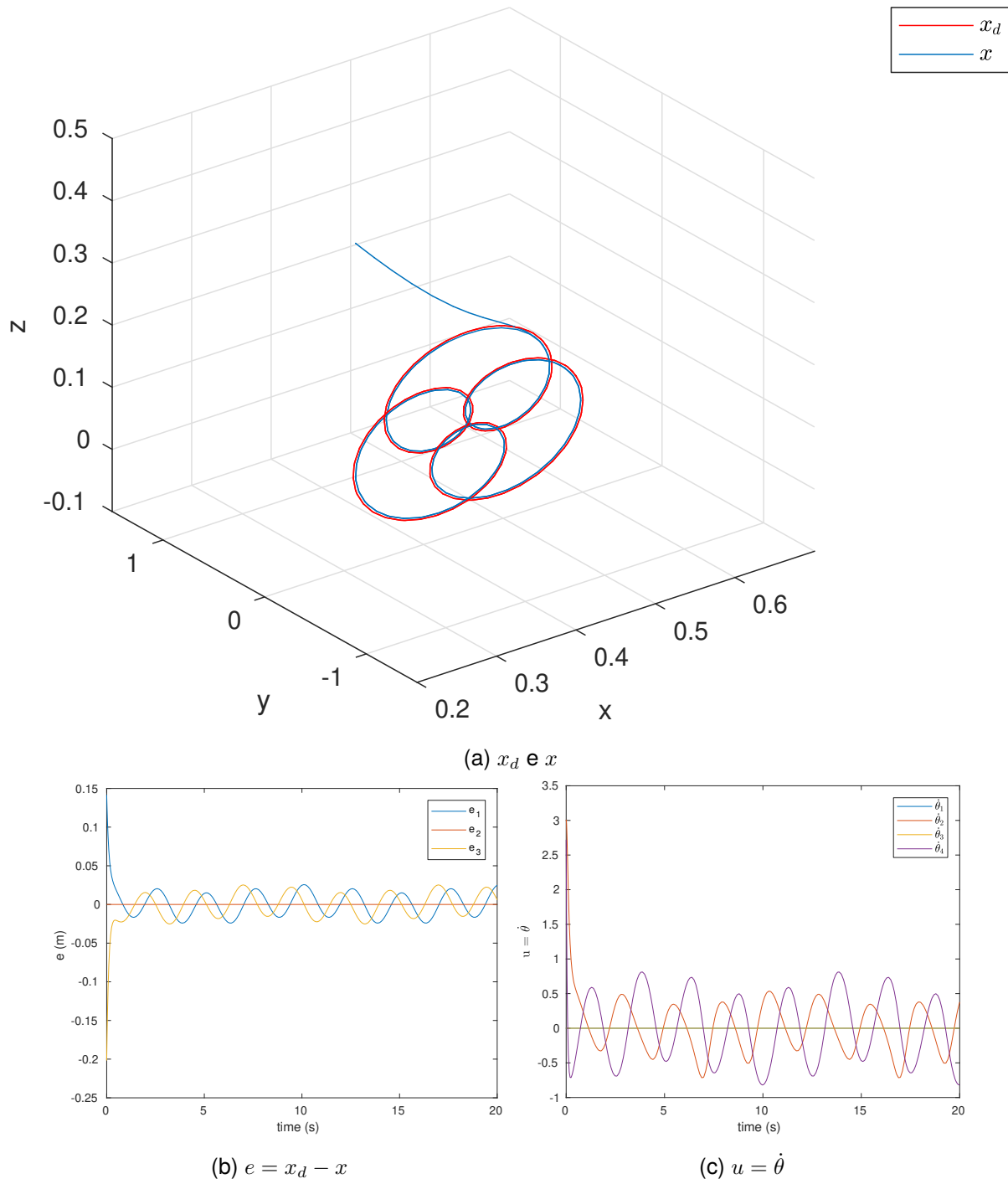
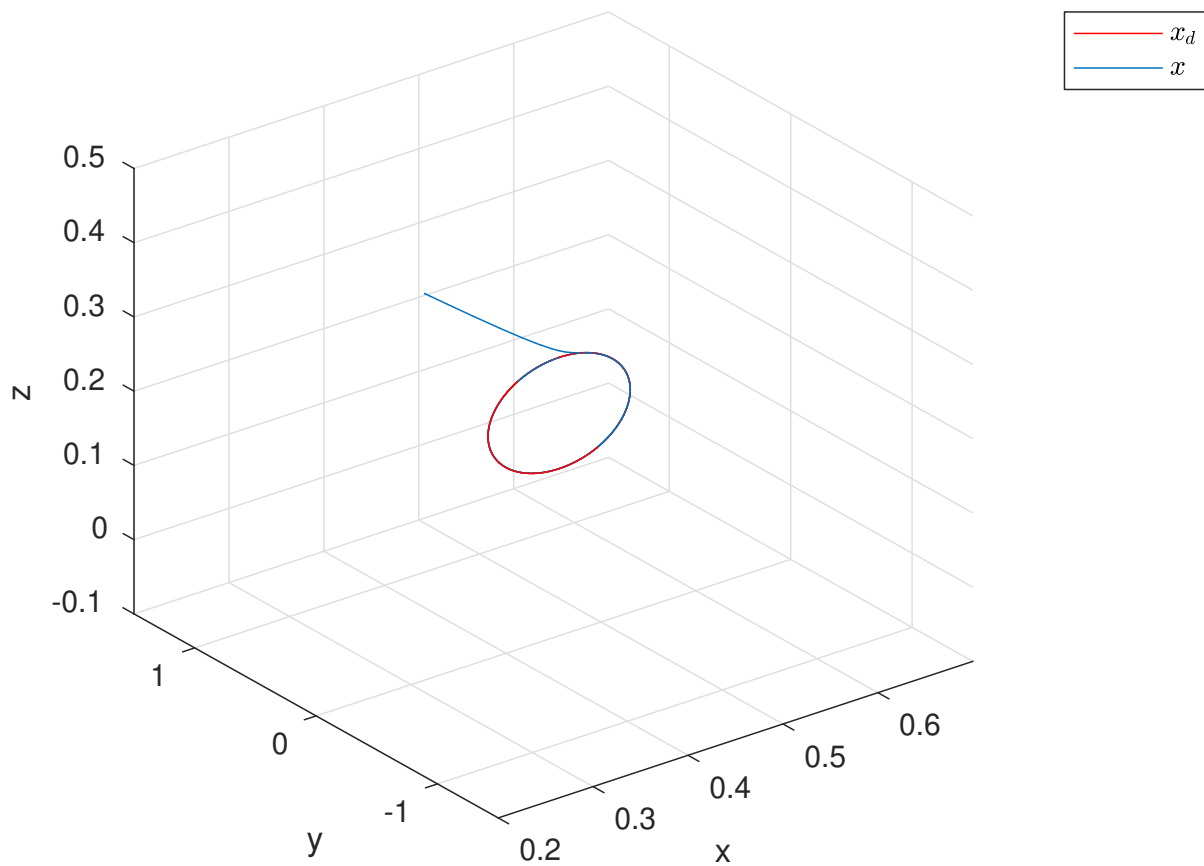
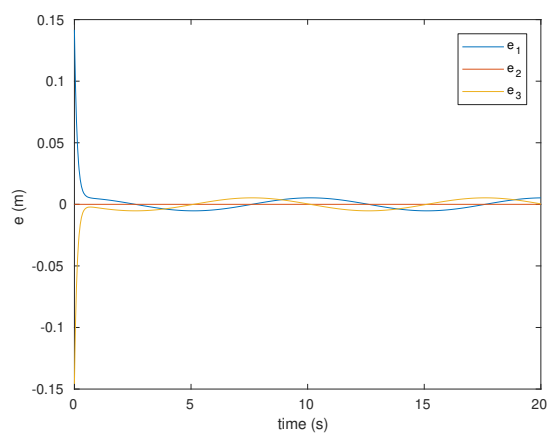
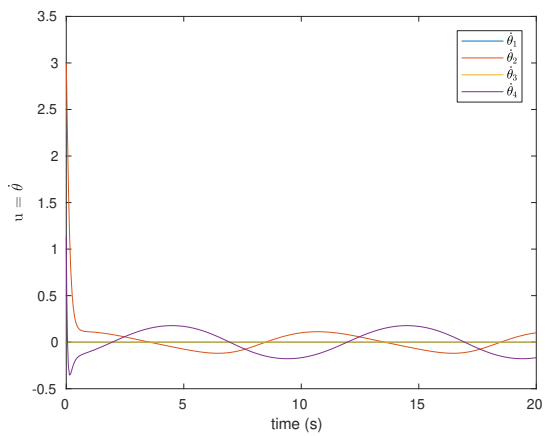


Figure 3: Ex 1: Trajetória a, controle sem FF.

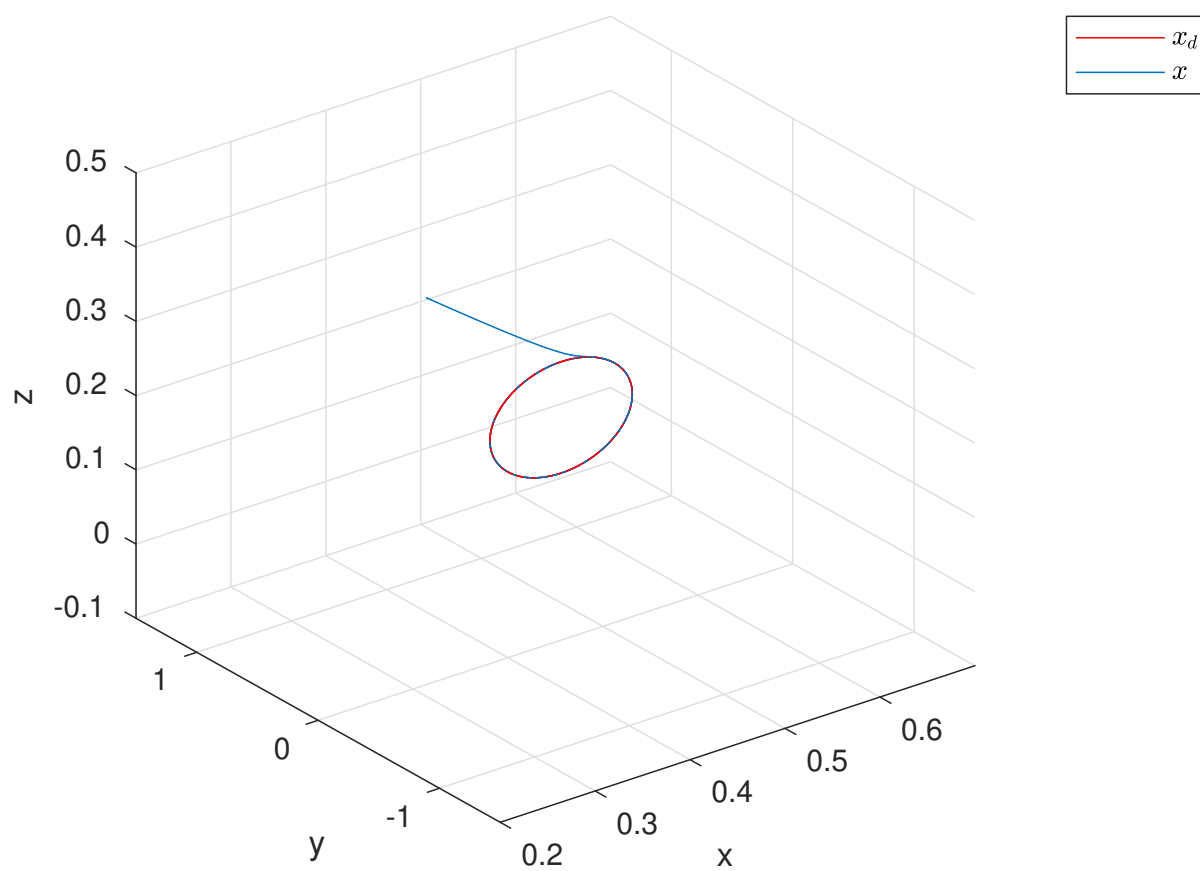
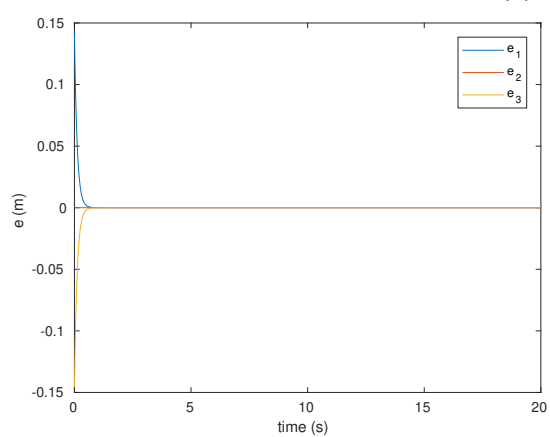
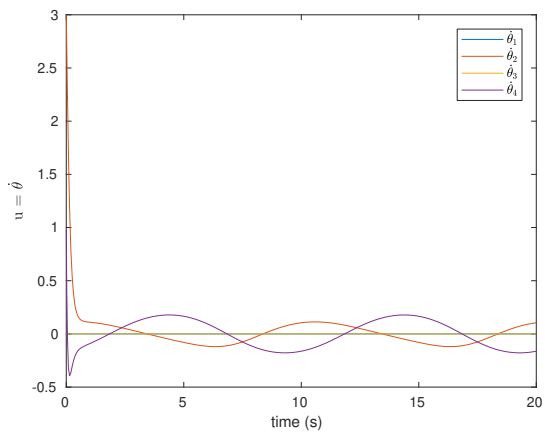
$$\begin{aligned}
 2V &= e^T e \\
 \dot{V} &= e^T \dot{e} = e^T (\dot{x}_d - \dot{x}) = e^T (\dot{x}_d - (J_{p13})_0 u) = \\
 &= e^T (\dot{x}_d - (J_{p13})_0 (J_{p13})_0^T (\alpha \dot{x}_d + K e)) \\
 \dot{x}_d &= 0 \implies \dot{V} = -e^T (J_{p13})_0 (J_{p13})_0^T K e = -K (e^T (J_{p13})_0) (e^T (J_{p13})_0)^T \\
 \dot{V} &\leq 0
 \end{aligned}$$

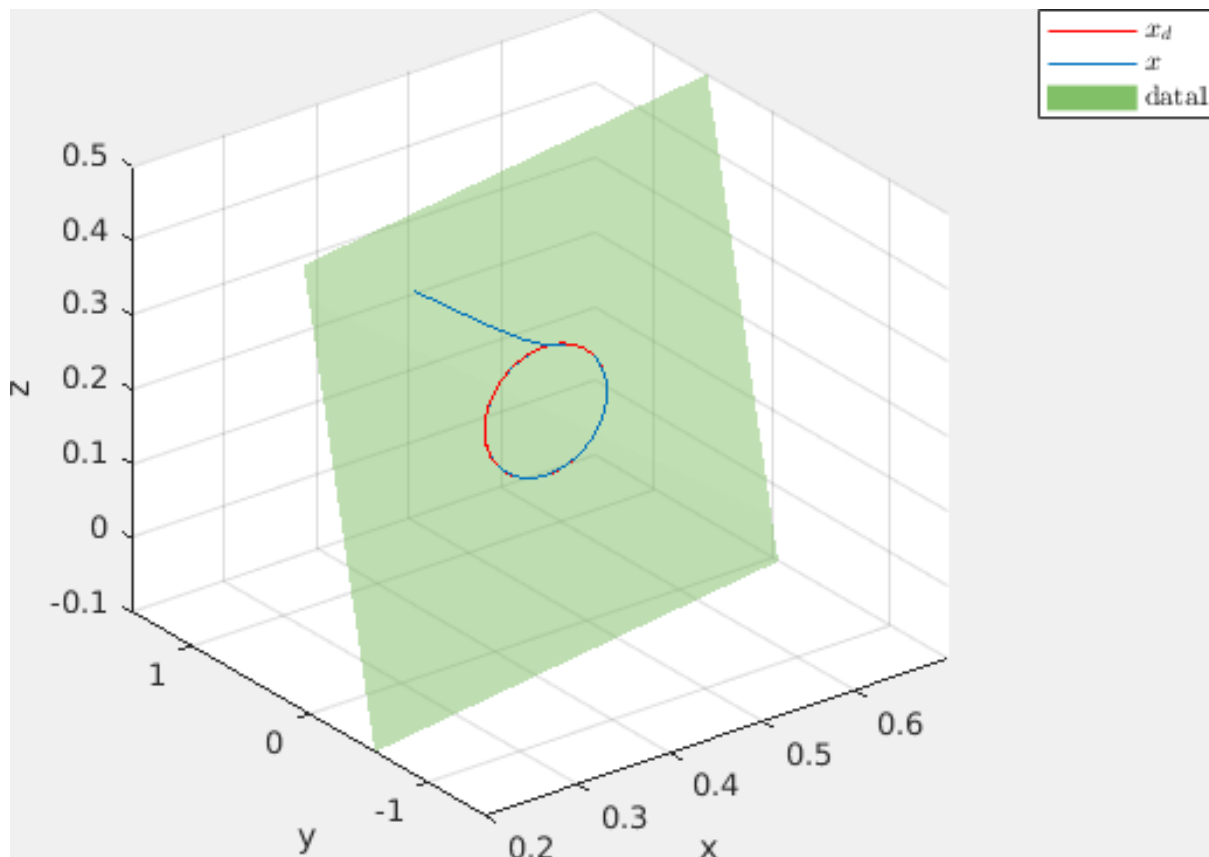
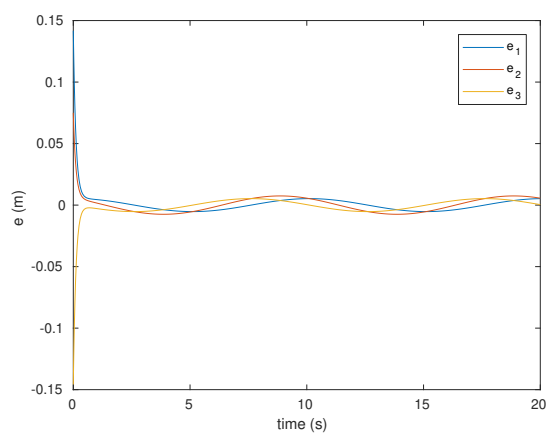
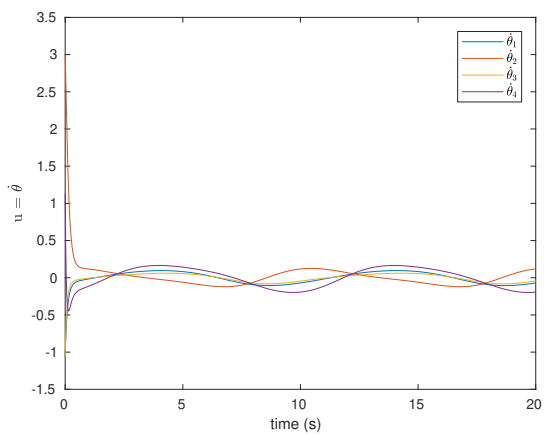
Para verificar os resultados obtidos pelas multiplicações da questão 6. Foi usada a função

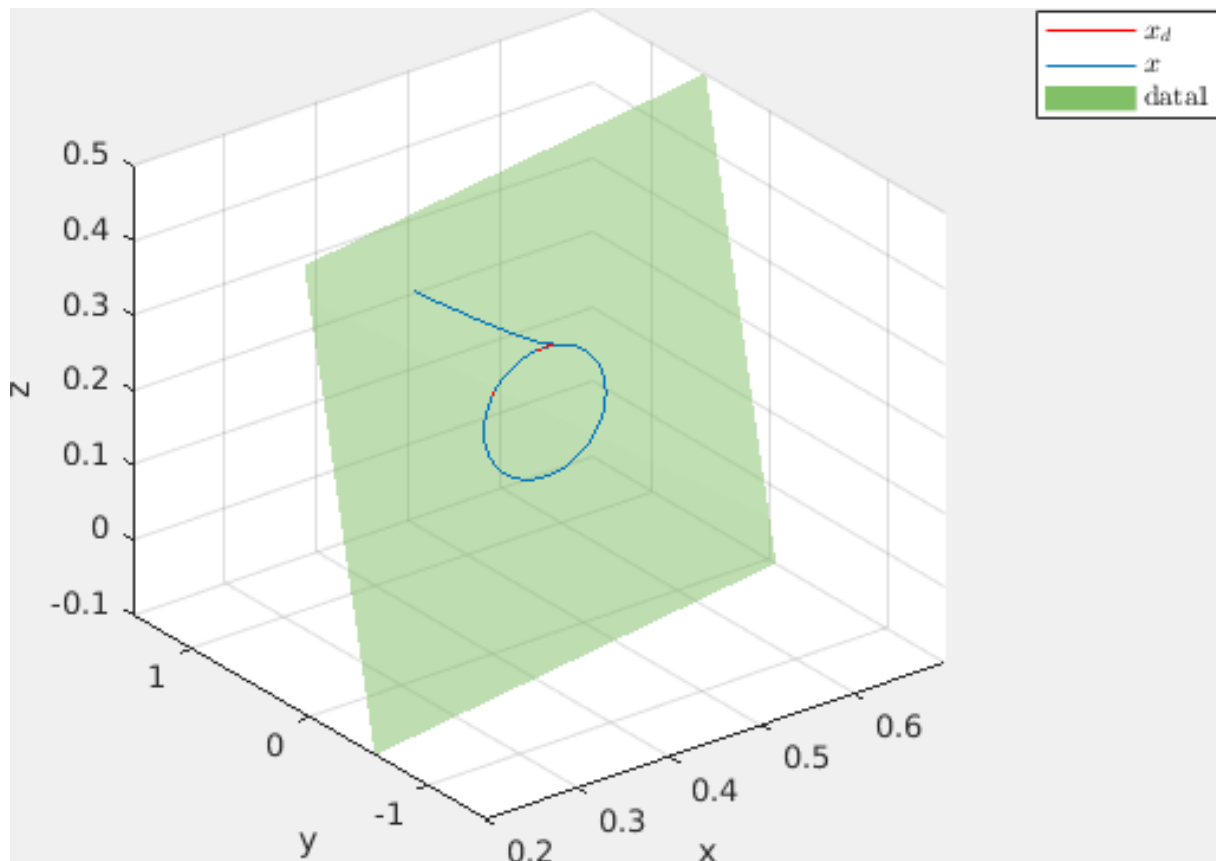
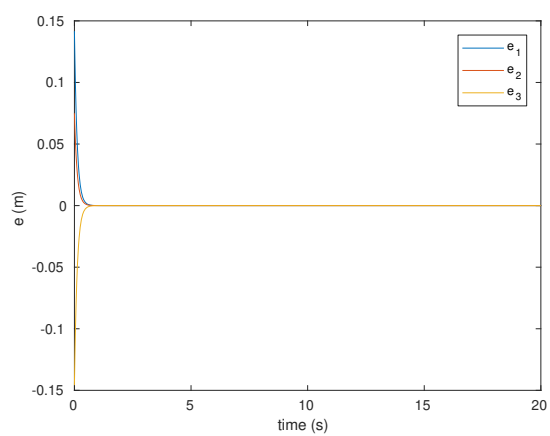
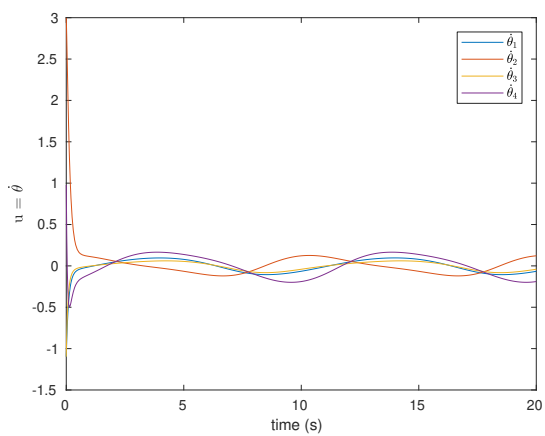
(a) x_d e x (b) $e = x_d - x$ (c) $u = \dot{\theta}$ Figure 4: Ex 1: Trajetória b , controle sem FF.

SerialLink.jacob0. Os resultados estão na figura ??.

As duas figuras mostram que os resultados obtidos não estão corretos.

(a) x_d e x (b) $e = x_d - x$ (c) $u = \dot{\theta}$ Figure 5: Ex 1: Trajetória b , controle com FF.

(a) x_d e x (b) $e = x_d - x$ (c) $u = \dot{\theta}$ Figure 6: Ex 1: Trajetória c , controle sem FF.

(a) x_d e x (b) $e = x_d - x$ (c) $u = \dot{\theta}$ Figure 7: Ex 1: Trajetória c , controle com FF.