

# PLATAFORMA ESTABILIZADORA PARA OTIMIZAÇÃO DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Andrei Steschenko

9836502

Gabriel Jenner de Faria Orsi

10772800

João Pedro Dias Nunes

10705846

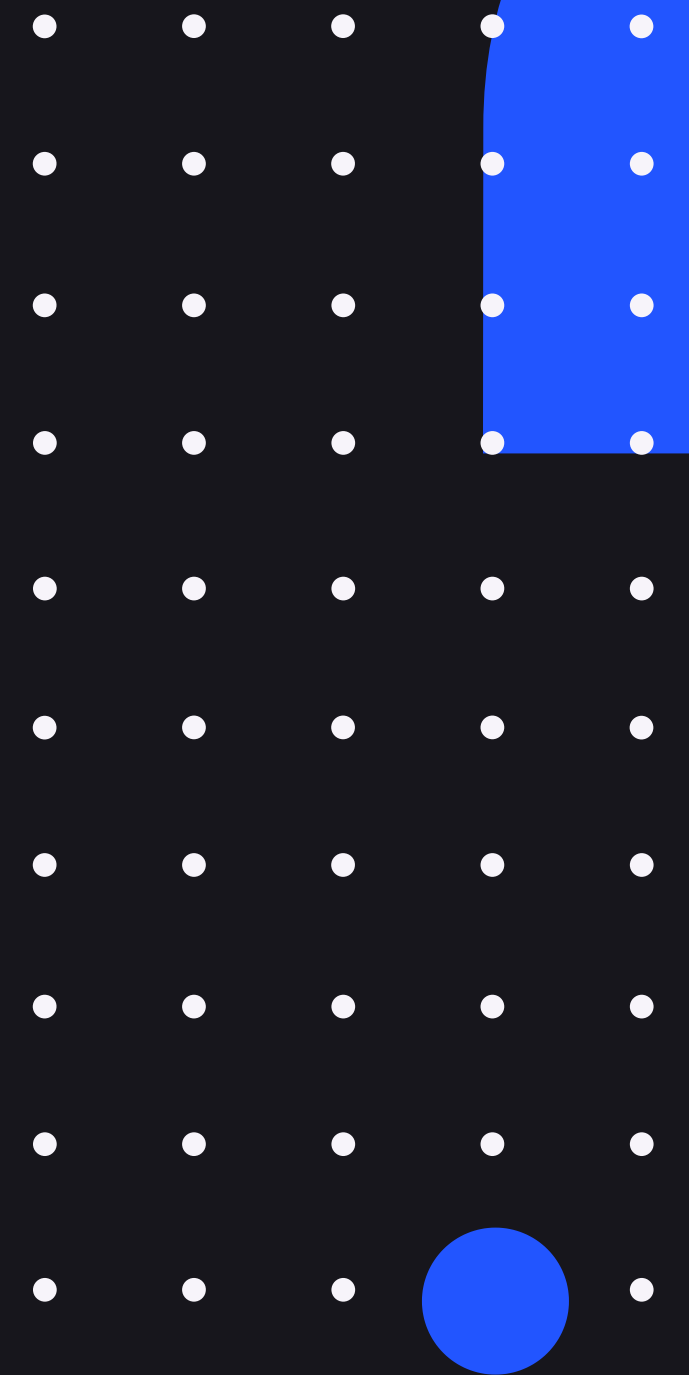
Rogério Yukio Tamaoki Rodriguez

10772709

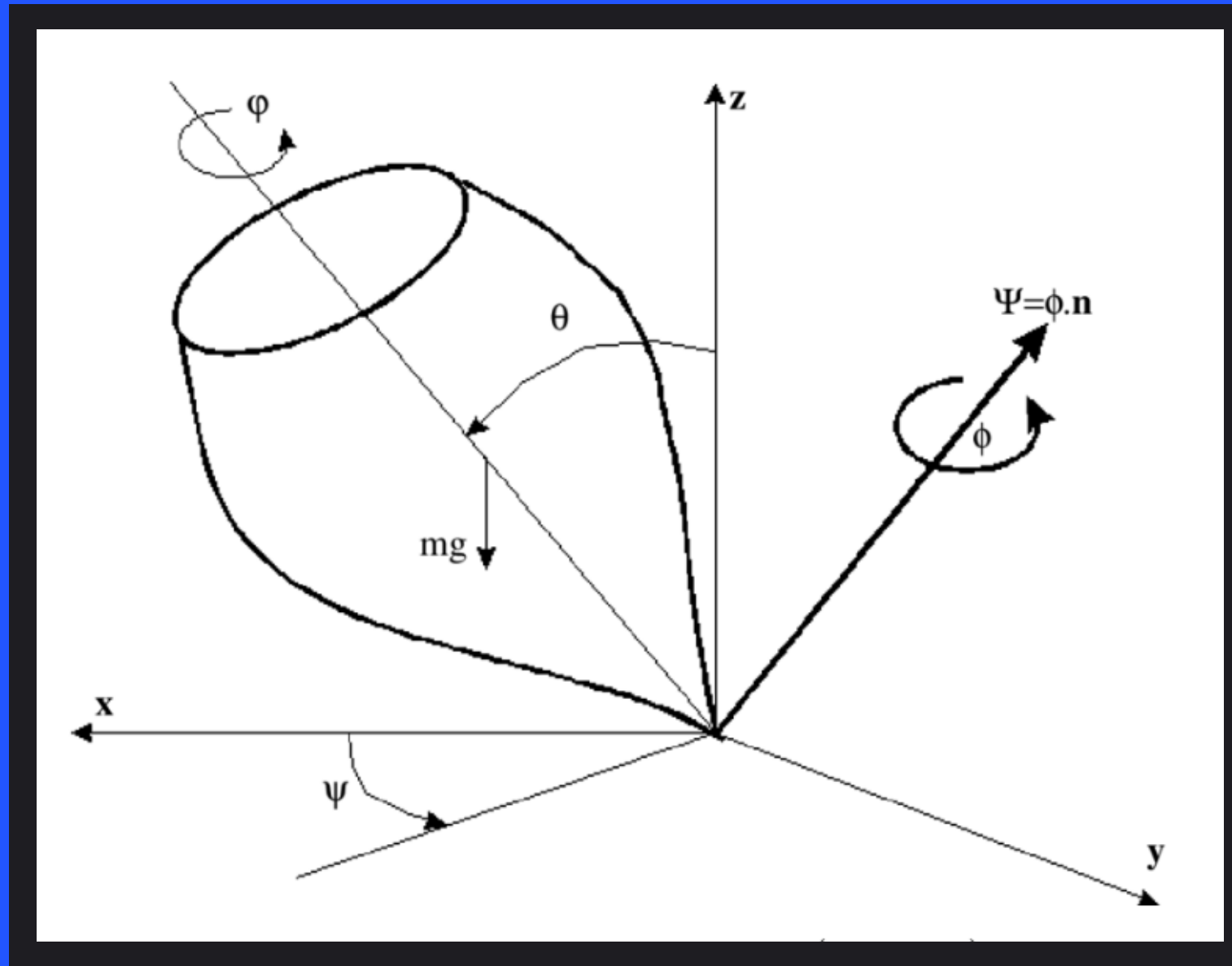
PME3380 - Modelagem de Sistemas Dinâmicos

# Estrutura da Apresentação

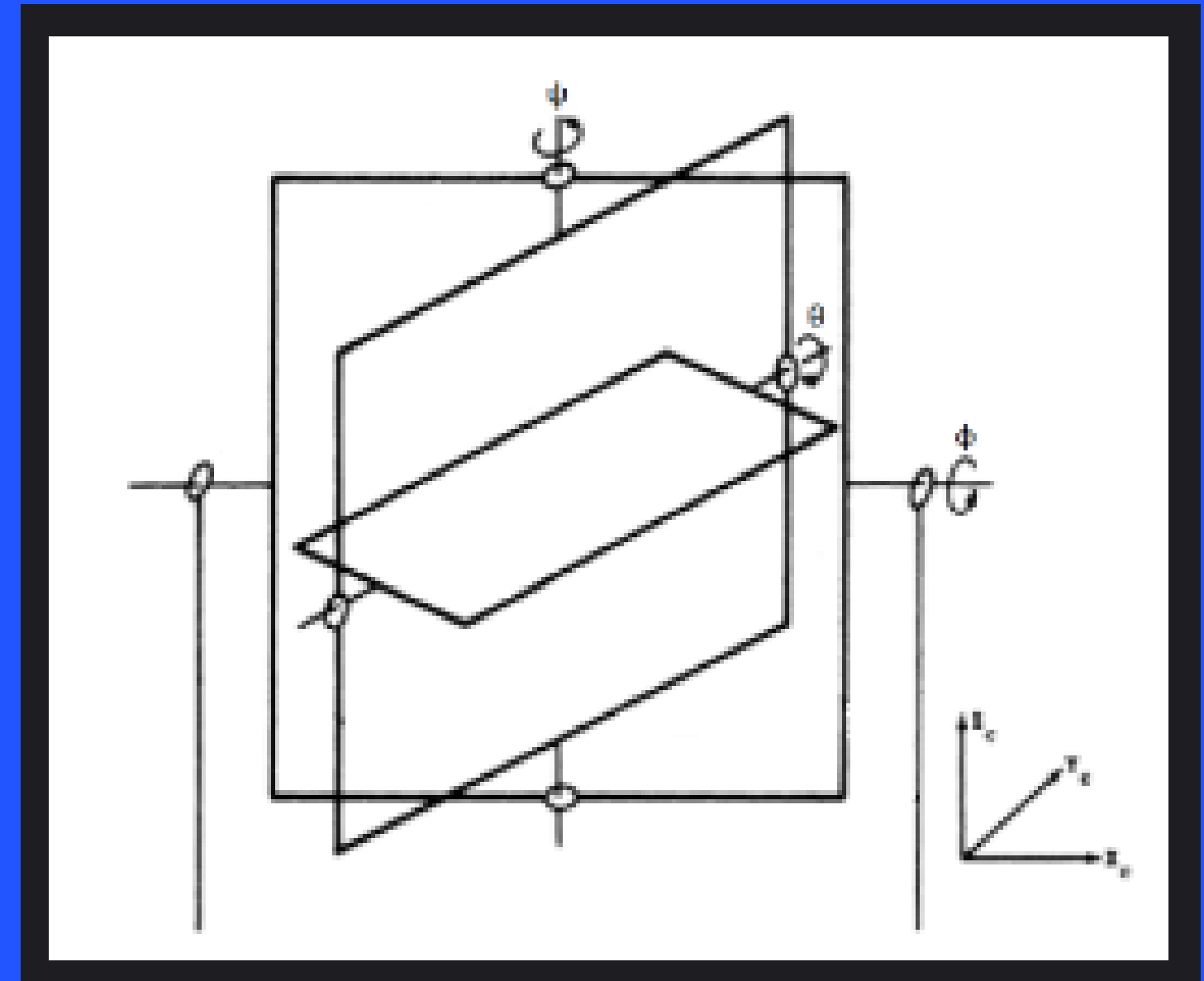
1. Plataforma Estabilizadora
2. Modelagem do Sistema
3. Descrição no Domínio da Frequência
4. Descrição no Domínio do Tempo
5. Diagrama de Blocos
6. Conclusão
7. Referências Bibliográficas



# Plataforma Estabilizadora



Ângulos de Euler



Modelo Físico

# Plataforma Estabilizadora

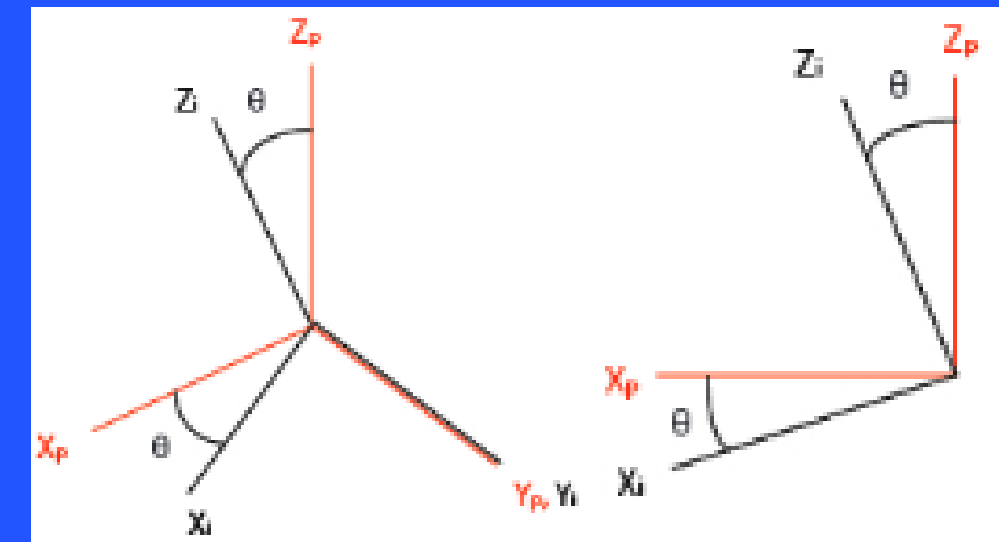


## Hipóteses Simplificadoras:

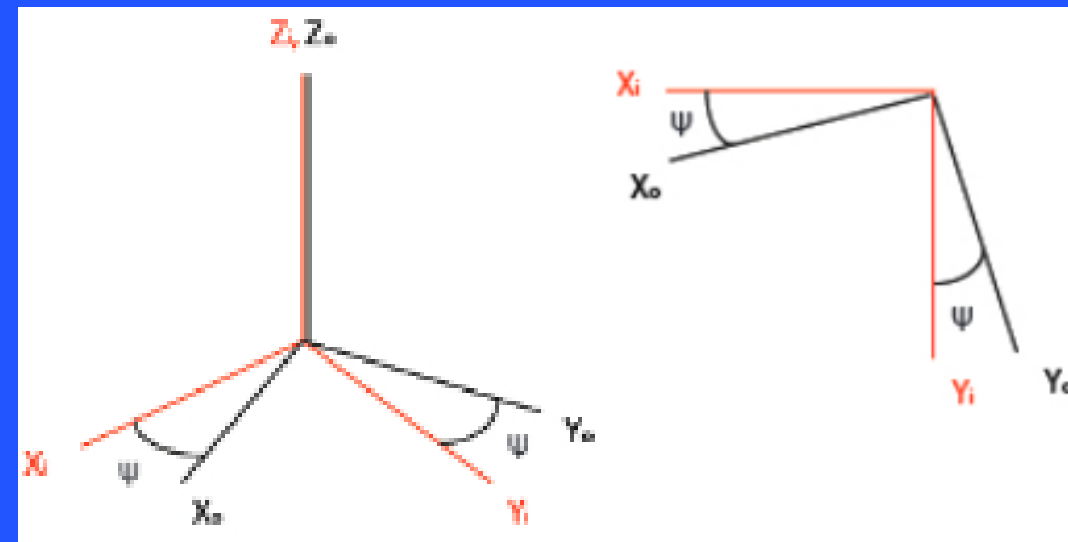
- Plataforma e suportes são corpos rígidos;
- Plataforma e suportes são os únicos elementos com massa e inércia;
- Vínculos cinemáticos permitem movimento relativo de um grau de liberdade entre dois componentes;
- Atritos dos anéis são modelados como amortecedores viscosos lineares em função das velocidades angulares;
- Linearização ao redor da posição de equilíbrio estável;
- As únicas entradas são as velocidades angulares aplicados pela base.

# Modelagem do Sistema

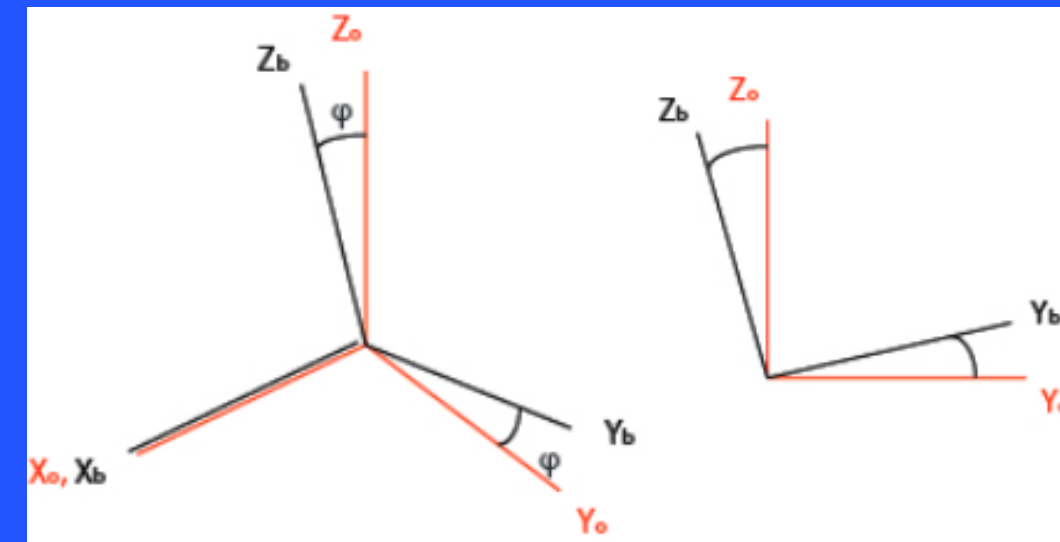
Esquema de Eixos do Sistema de Coordenadas:



Plataforma com gimbal interior



Suporte cardan interior com gimbal exterior



Suporte cardan exterior com base

Matrizes de mudança de base:

$$B_{pi} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\text{sen}\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \text{sen}\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

$$B_{io} = \begin{bmatrix} \cos\psi & \text{sen}\psi & 0 \\ -\text{sen}\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_{oc} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & \text{sen}\phi \\ 0 & -\text{sen}\phi & \cos\phi \end{bmatrix}$$

# Modelagem do Sistema

Equações diferenciais do sistema:

$$\ddot{\phi} = -\frac{C_o \dot{\phi}}{J_{ox}} - \dot{p} \quad \ddot{\psi} = -\frac{C_i \dot{\psi}}{J_{iz}} - (\dot{q} - r\dot{\phi})\text{sen}\phi - (\dot{r} + q\dot{\phi})\text{cos}\phi$$
$$\ddot{\theta} = -\frac{C_p \dot{\theta}}{J_{py}} + \frac{C_o \dot{\phi}}{J_{ox}} \text{sen}\psi - \text{cos}\psi [(\dot{q} - r\dot{\phi})\text{cos}\phi - (\dot{r} + q\dot{\phi})\text{sen}\phi] - \dot{\psi} [(p + \dot{\phi})\text{cos}\psi - (q\text{cos}\phi - r\text{sen}\phi)\text{sen}\psi]$$

Equações diferenciais linearizadas:

$$f_1 \approx \ddot{\theta} \approx -\frac{C_p}{J_{py}} \dot{\theta} + \frac{C_o}{J_{ox}} \dot{\phi}$$

$$f_2 \approx \ddot{\phi} \approx -\frac{C_o}{J_{ox}} \dot{\phi} - \dot{p}$$

$$f_3 \approx \ddot{\psi} \approx -\frac{C_i}{J_{iz}} \dot{\psi} - \dot{q}$$

# Modelagem do Sistema

Matrizes do Espaço de Estados:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{C_p}{J_{py}} & 0 & \frac{C_o}{J_{ox}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{C_o}{J_{ox}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{C_i}{J_{iz}} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$
$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

# Análise no Domínio da Frequência

Funções de Transferência:

$$\Theta(s) = \frac{-32,7198}{s^3 + 33,0616s^2 + 11,1836s} \dot{P}(s)$$

$$\Phi(s) = \frac{-1}{s^2 + 32,7198s} \dot{P}(s) \quad \Psi(s) = \frac{-1}{s^2 + 25,1572s} \dot{Q}(s)$$

Equação Característica:

$$\lambda^3 \left( \frac{C_p}{J_{py}} + \lambda \right) \left( \frac{C_o}{J_{ox}} + \lambda \right) \left( -\frac{C_i}{J_{iz}} - \lambda \right) = 0$$

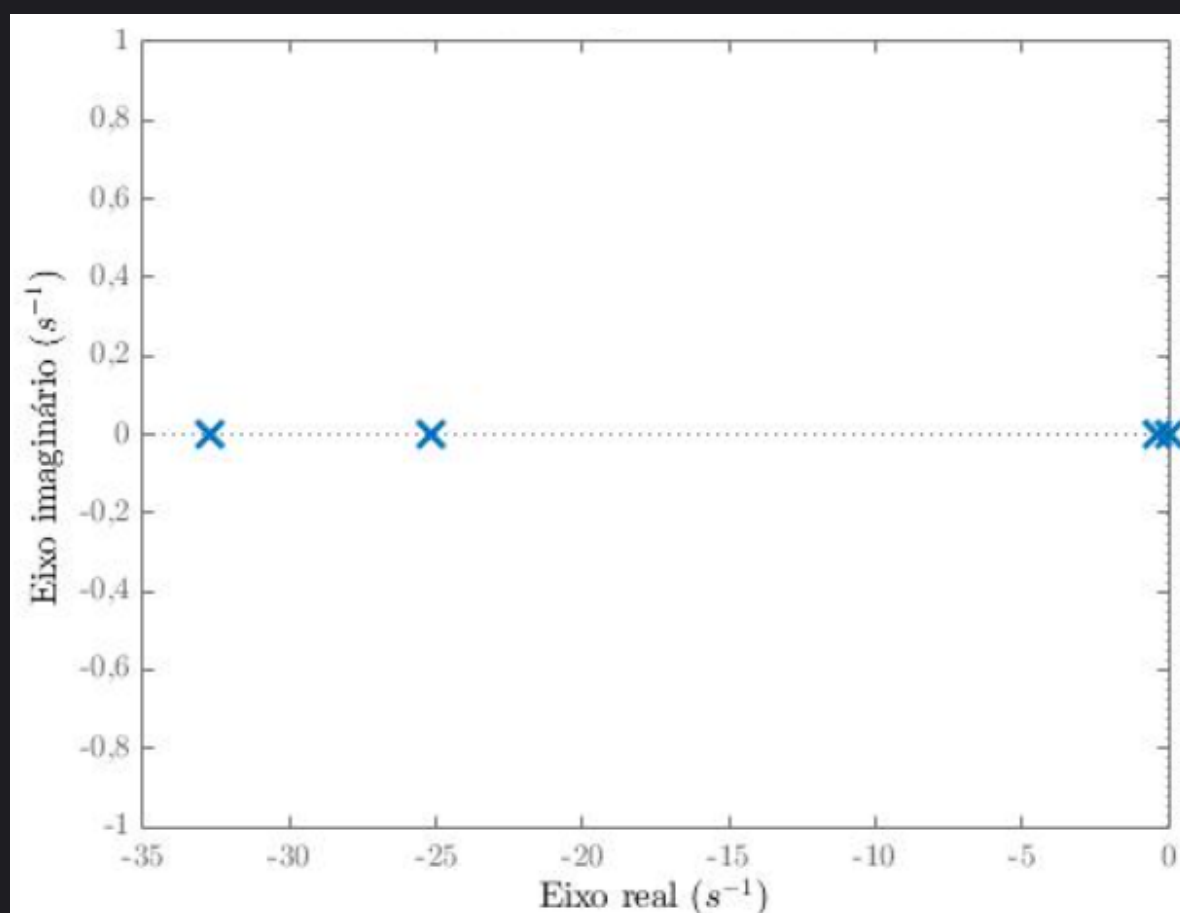


# Análise no Domínio da Frequência

Polos do Sistema:

$$\begin{aligned} p_1 = p_2 = p_3 = 0 & & p_4 = -0,3418 \\ p_5 = -25,1572 & & p_6 = -32,7198 \end{aligned}$$

Análise de Estabilidade:



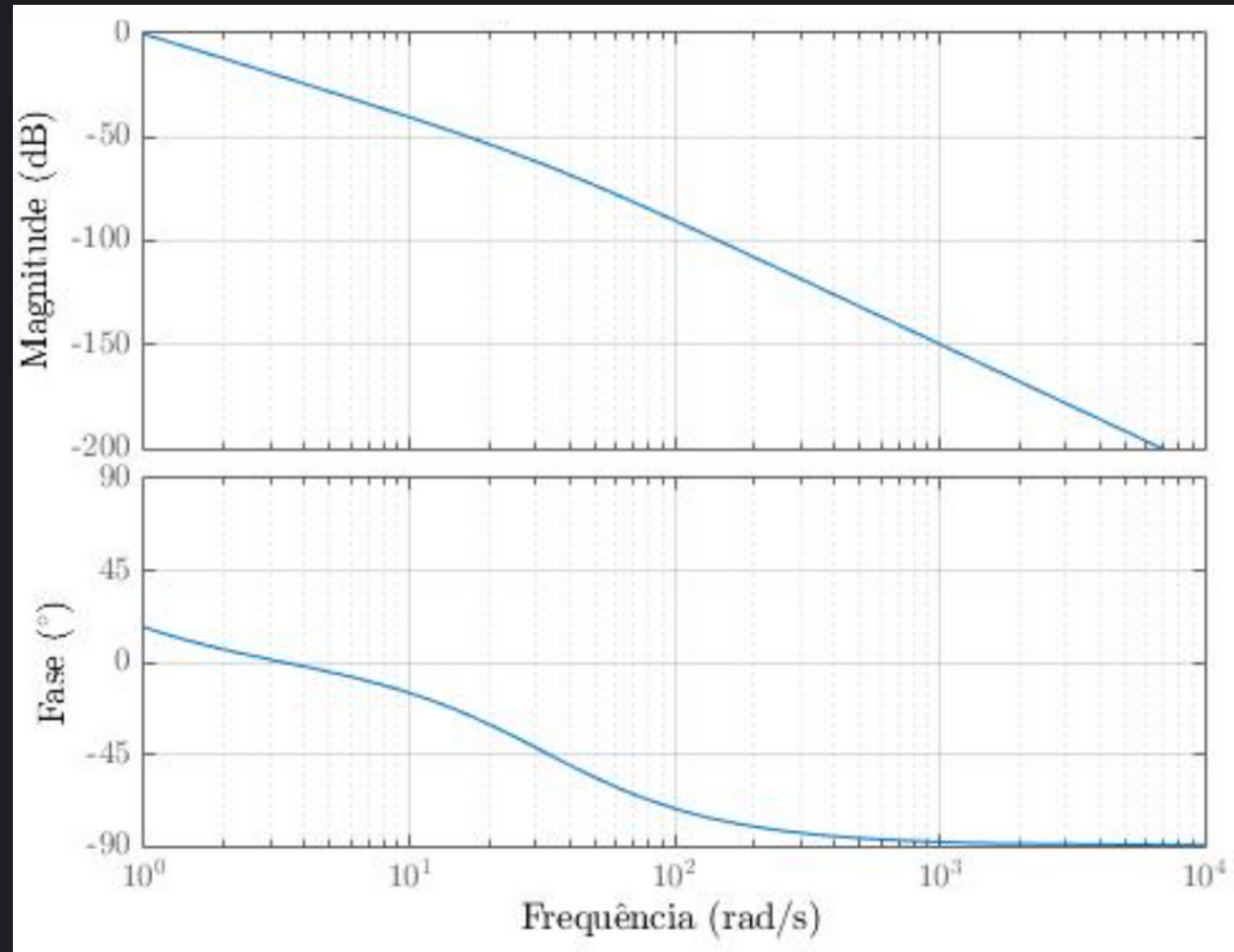
Polos do sistema

$s^6$	1	842,92	0	0
$s^5$	58,2188	281,348	0	0
$s^4$	838,087	0	0	0
$s^3$	281,348	0	0	0
$s^2$	$+\epsilon$	0	0	0
$s^1$	$+\epsilon$	0	0	0
$s^0$	0	0	0	0

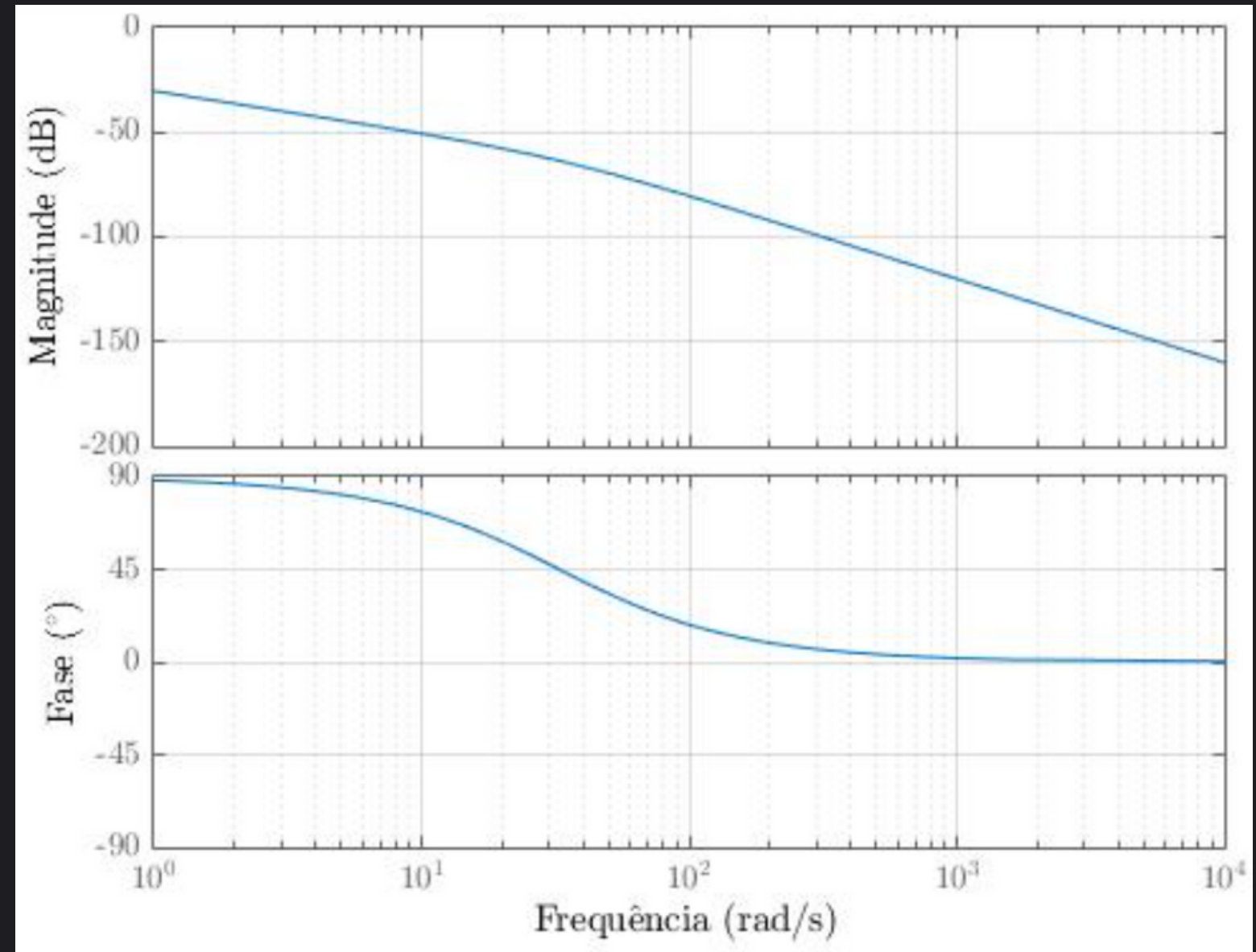
Tabela de Routh-Hurwitz

# Análise no Domínio da Frequência

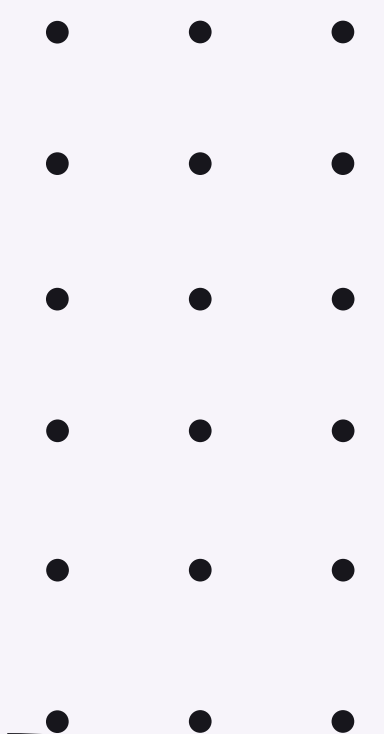
Diagramas de Bode:



$\theta$  com  $p'$

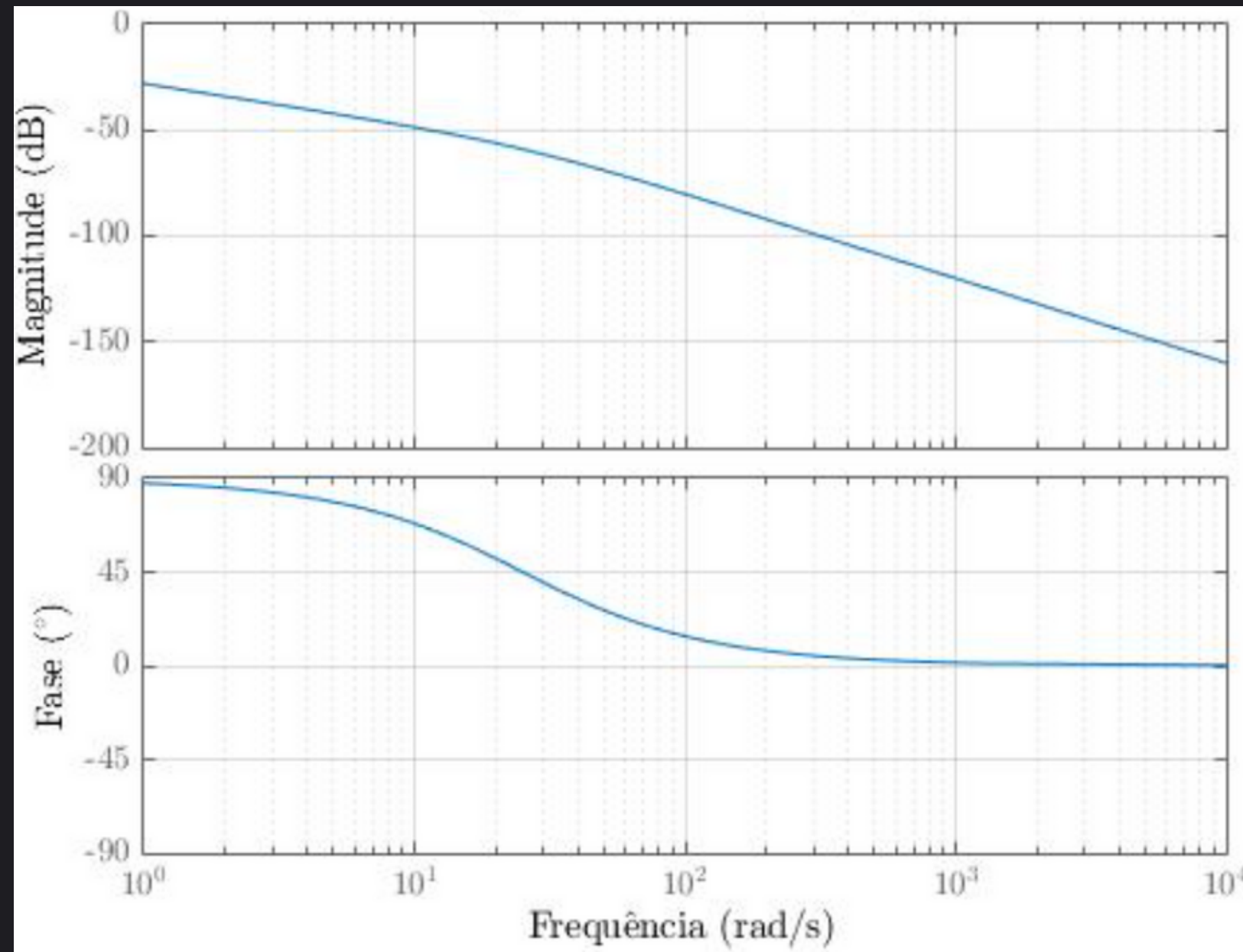


$\varphi$  com  $p'$

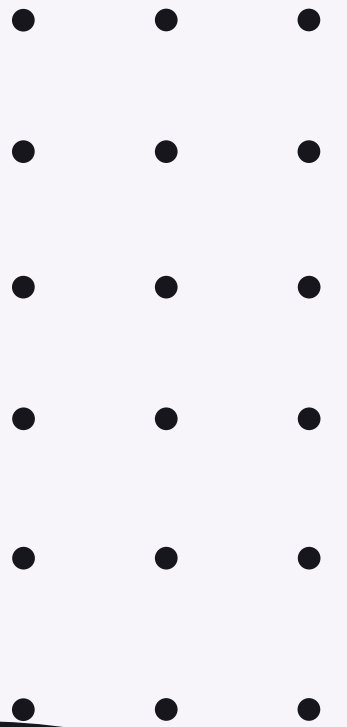


# Análise no Domínio da Frequência

Diagramas de Bode:

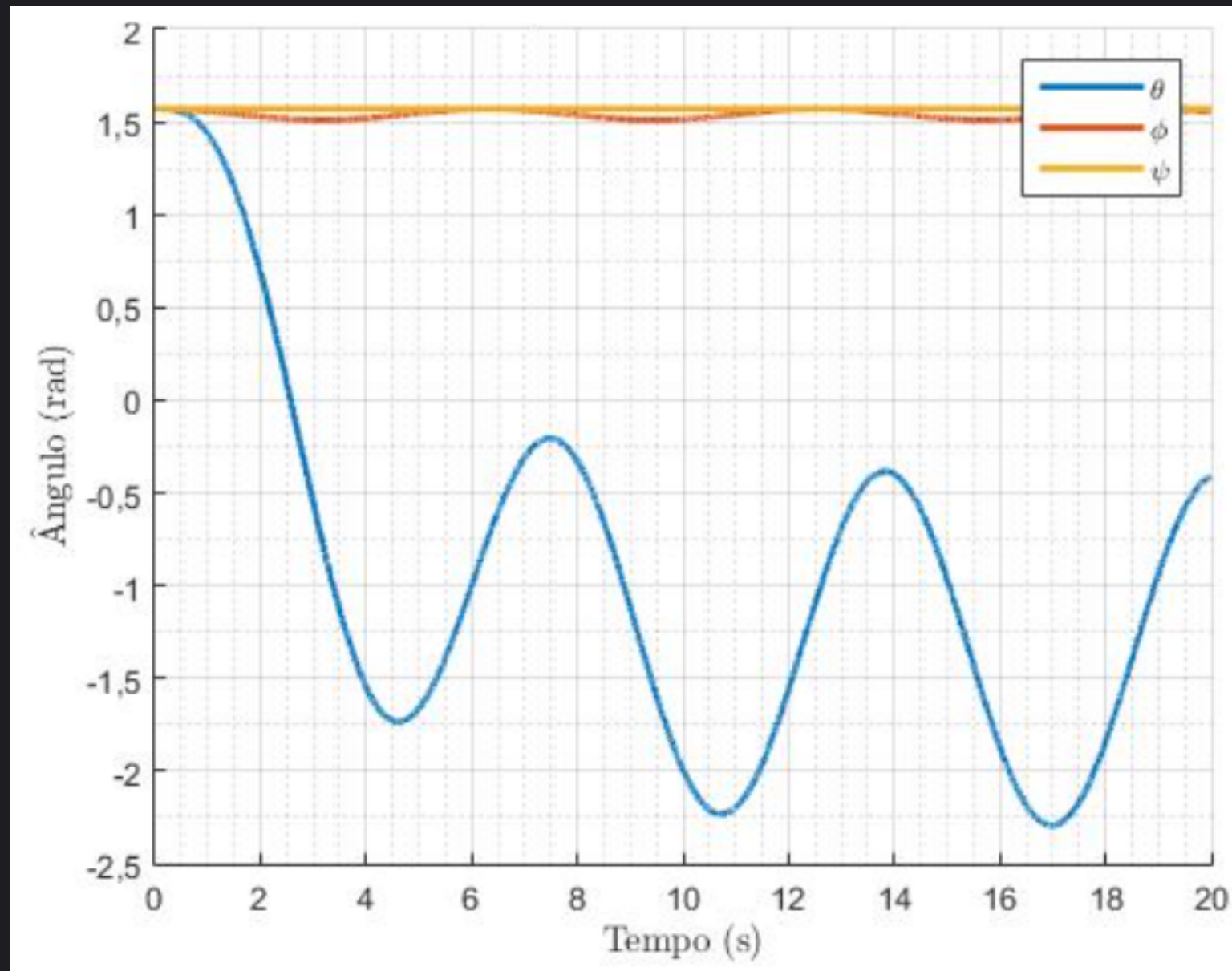


$\psi$  com  $q'$

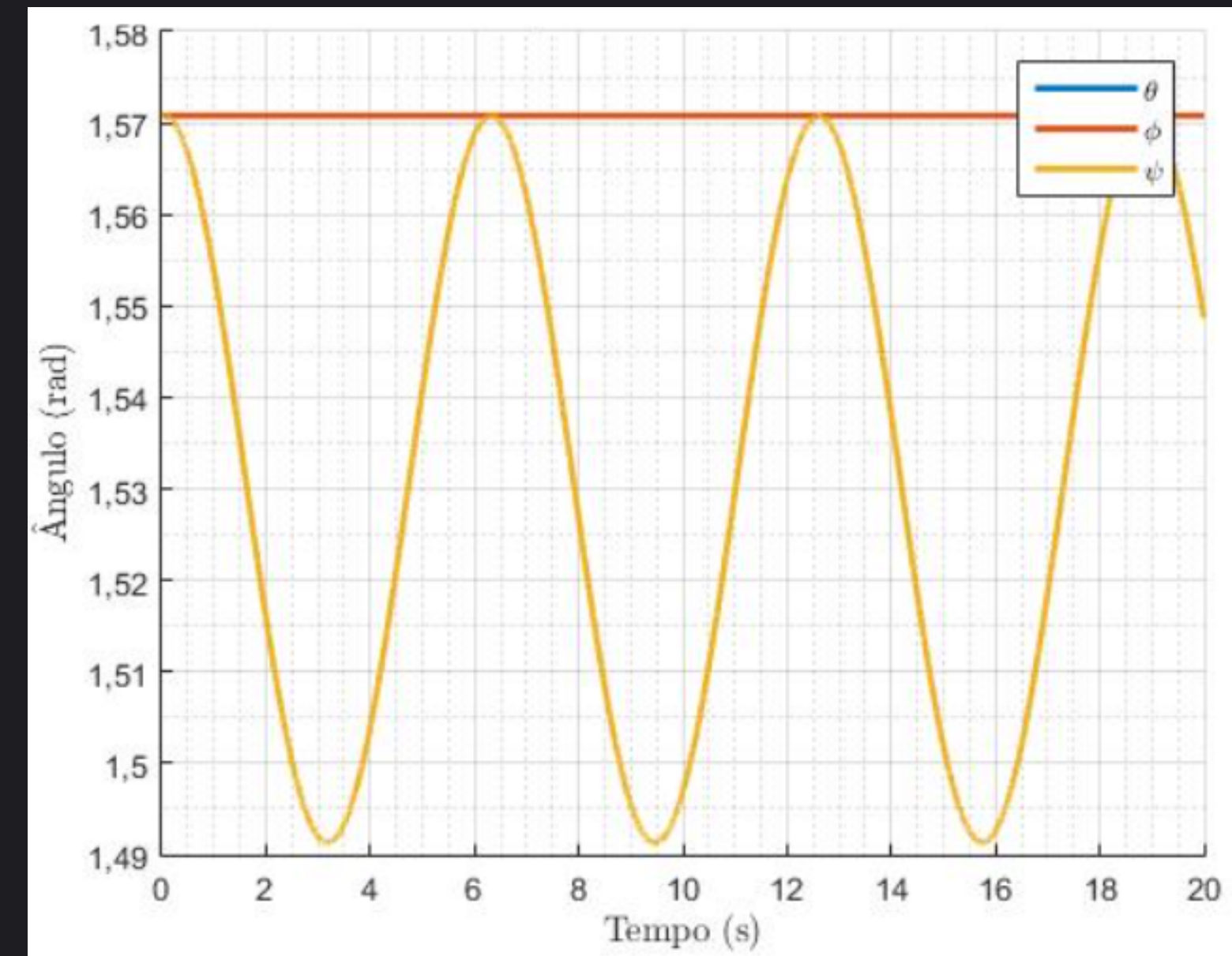


# Análise no Domínio do Tempo

Resposta do sistema linear à excitação senoidal:



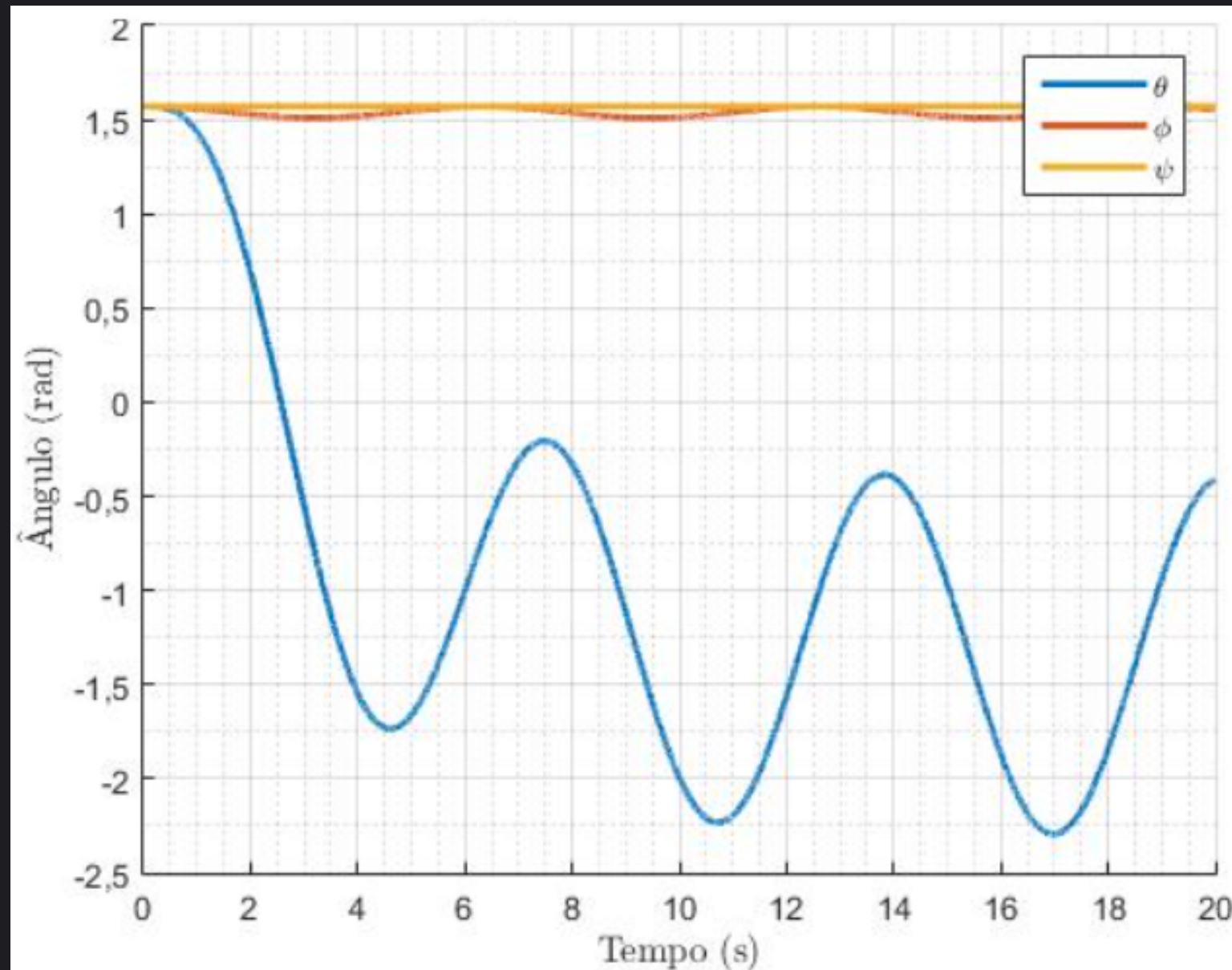
Resposta de p'



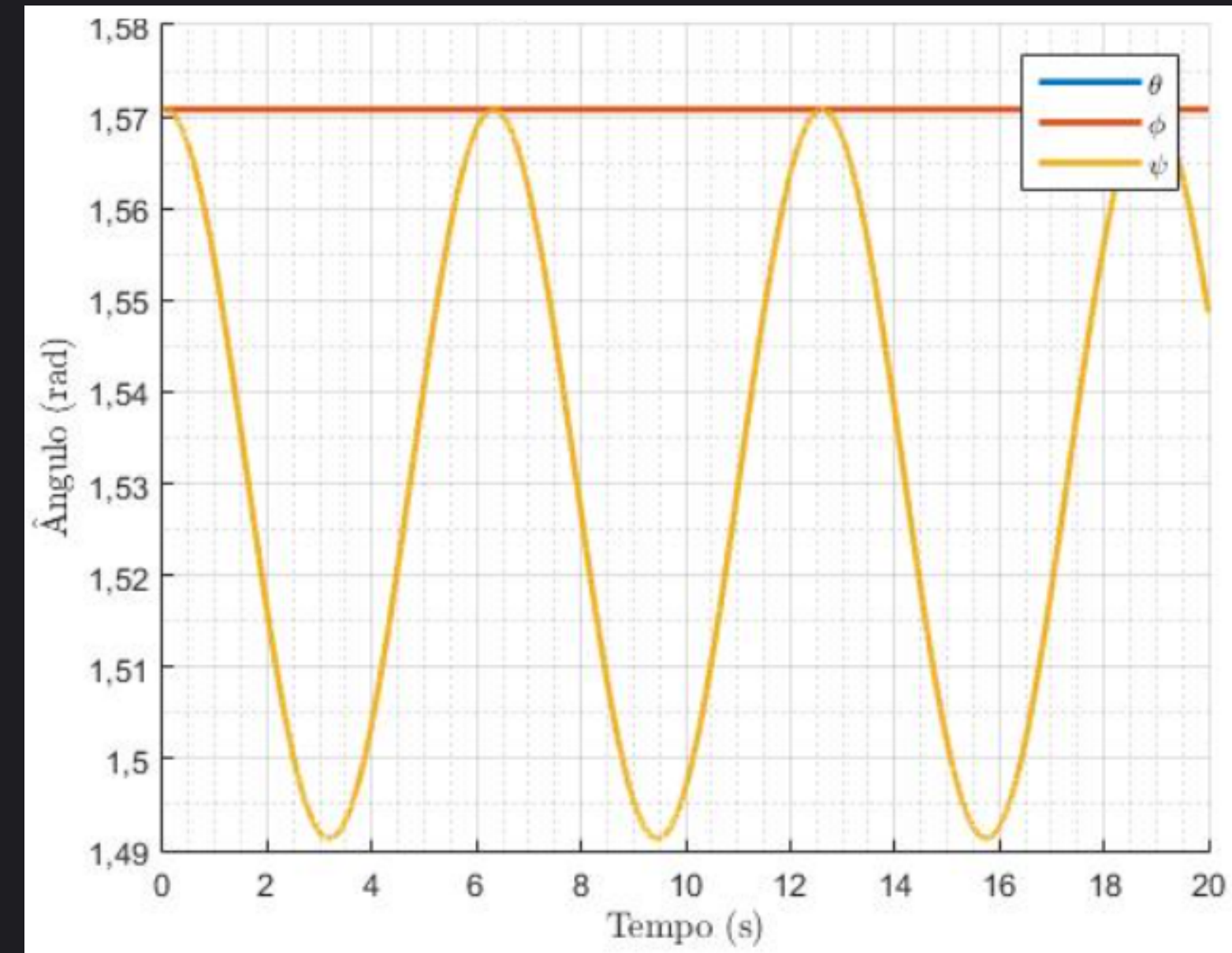
Resposta de q'

# Análise no Domínio do Tempo

Resposta do sistema não-linear à excitação senoidal:



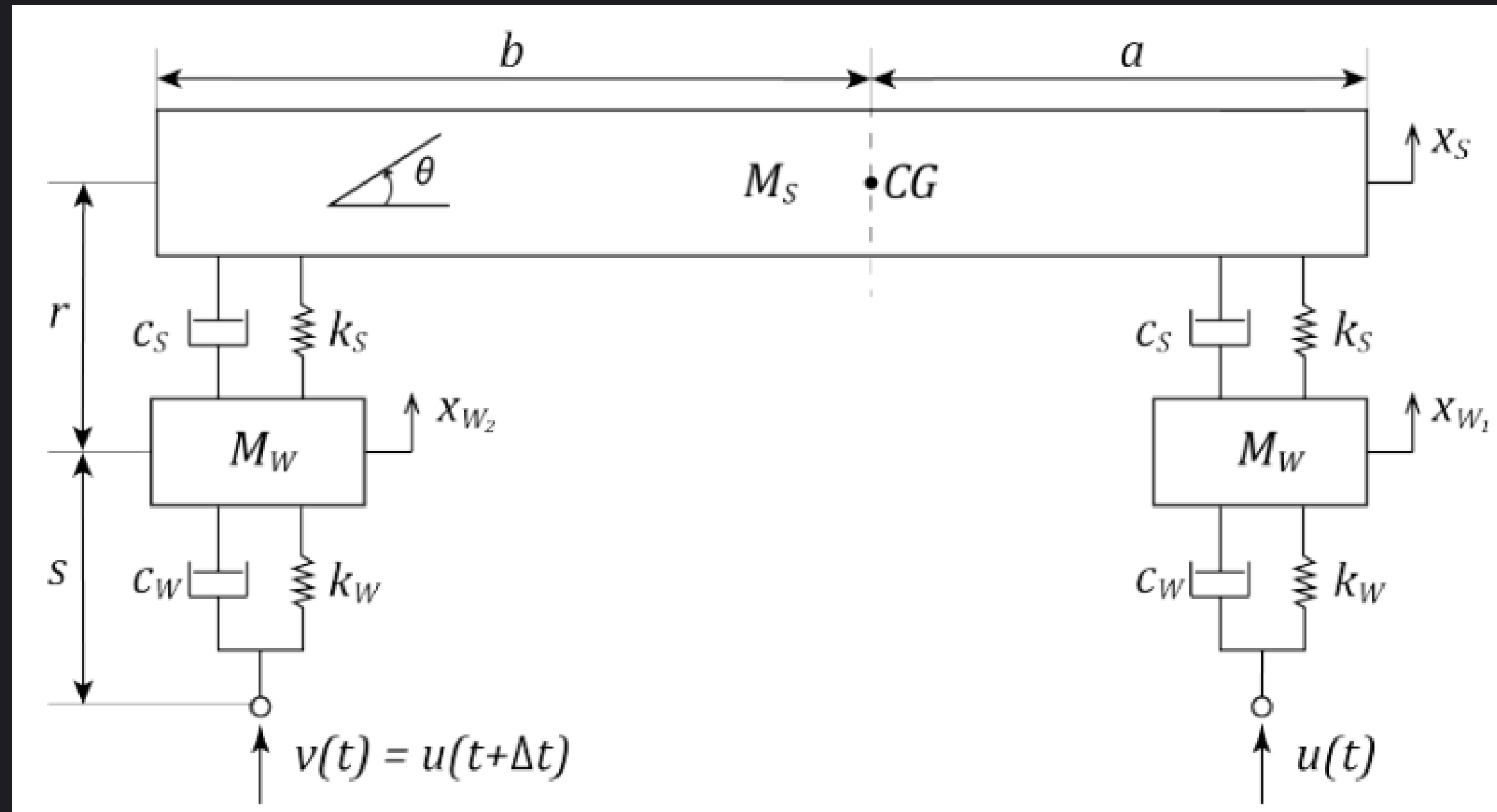
Resposta de p'



Resposta de q'

# Análise no Domínio do Tempo

Modelo de meio carro:



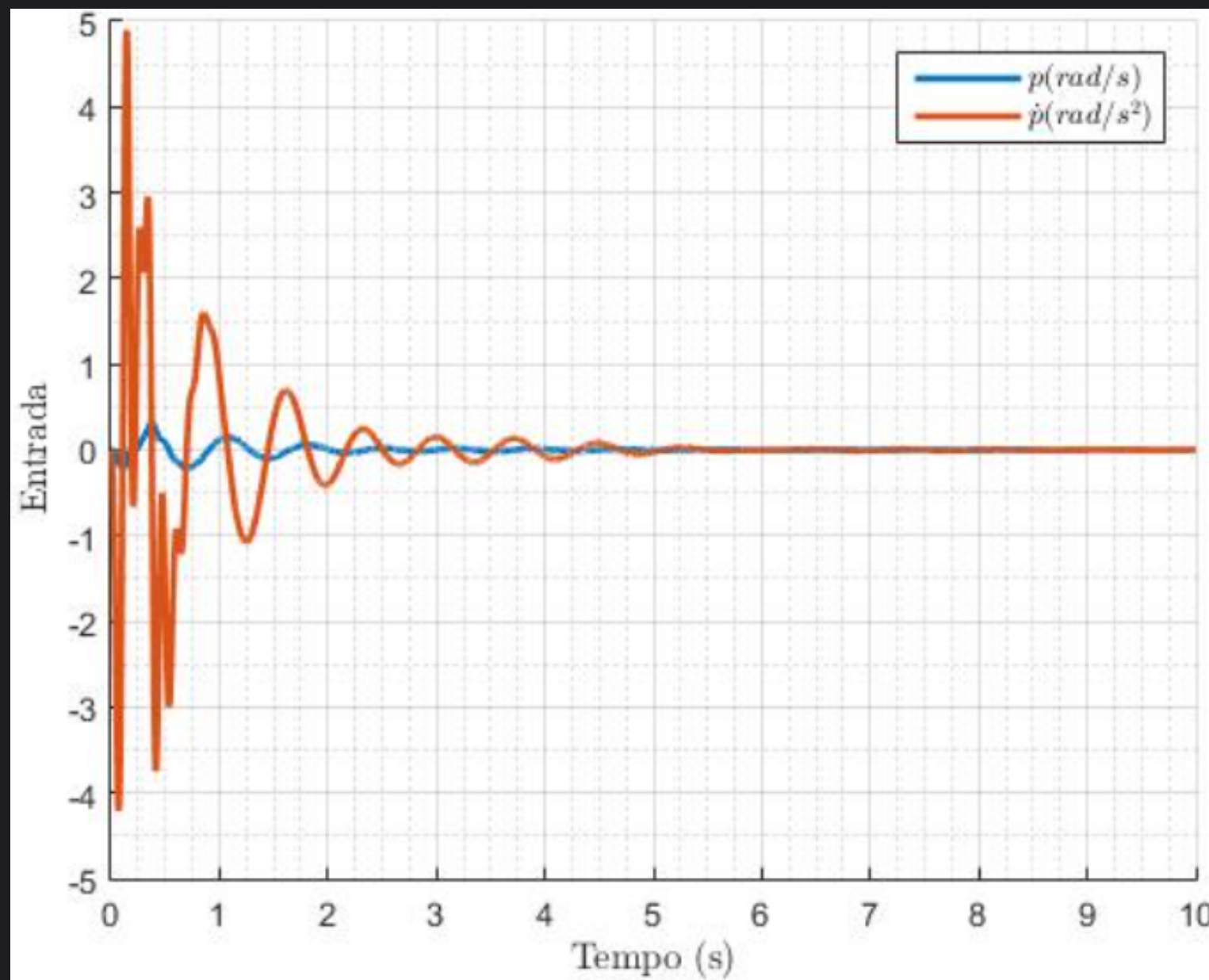
# Análise no Domínio do Tempo

Parâmetros numéricos da suspensão:

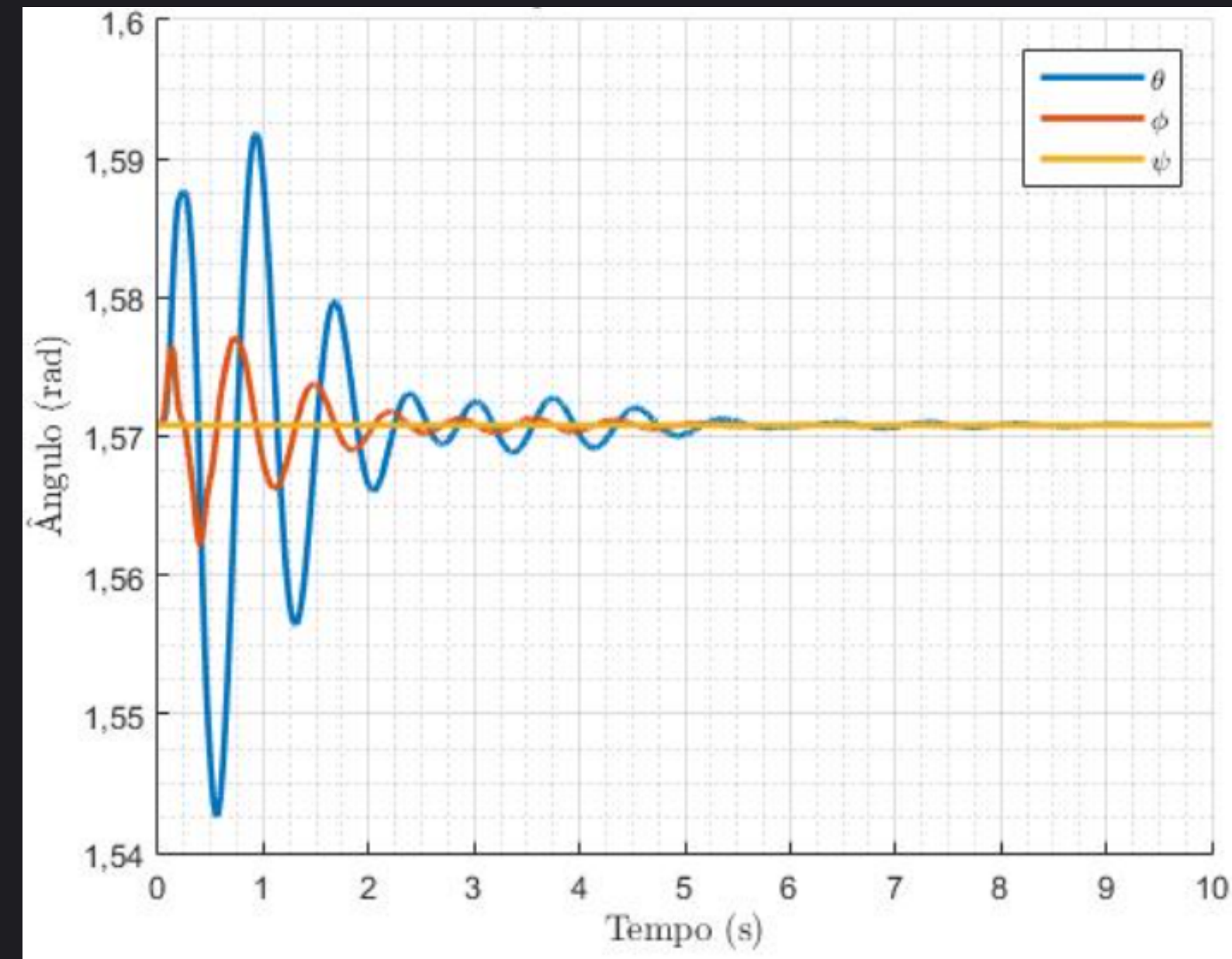
Símbolo	Componente	Metade longitudinal	Metade transversal	Unidade
$M_s$	Massa da metade do chassi	600	577,8	$kg$
$J$	Momento de inércia	730	108,3	$kgm^2$
$M_w$	Massa da suspensão e da roda	45	45	$kg$
$k_s$	Constante elástica da suspensão	18000	18000	$N/m$
$c_s$	Coefficiente de amortecimento da suspensão	500	500	$Ns/m$
$k_w$	Constante elástica do pneu	102017,3	102017,3	$N/m$
$c_w$	Constante de amortecimento do pneu	138	138	$Ns/m$
$a$	Distância do centro de massa até a roda 1	1,5	1,325	$m$
$b$	Distância do centro de massa até a roda 2	1,15	1,325	$m$

# Análise no Domínio do Tempo

Resposta à lombada:



Entradas do sistema

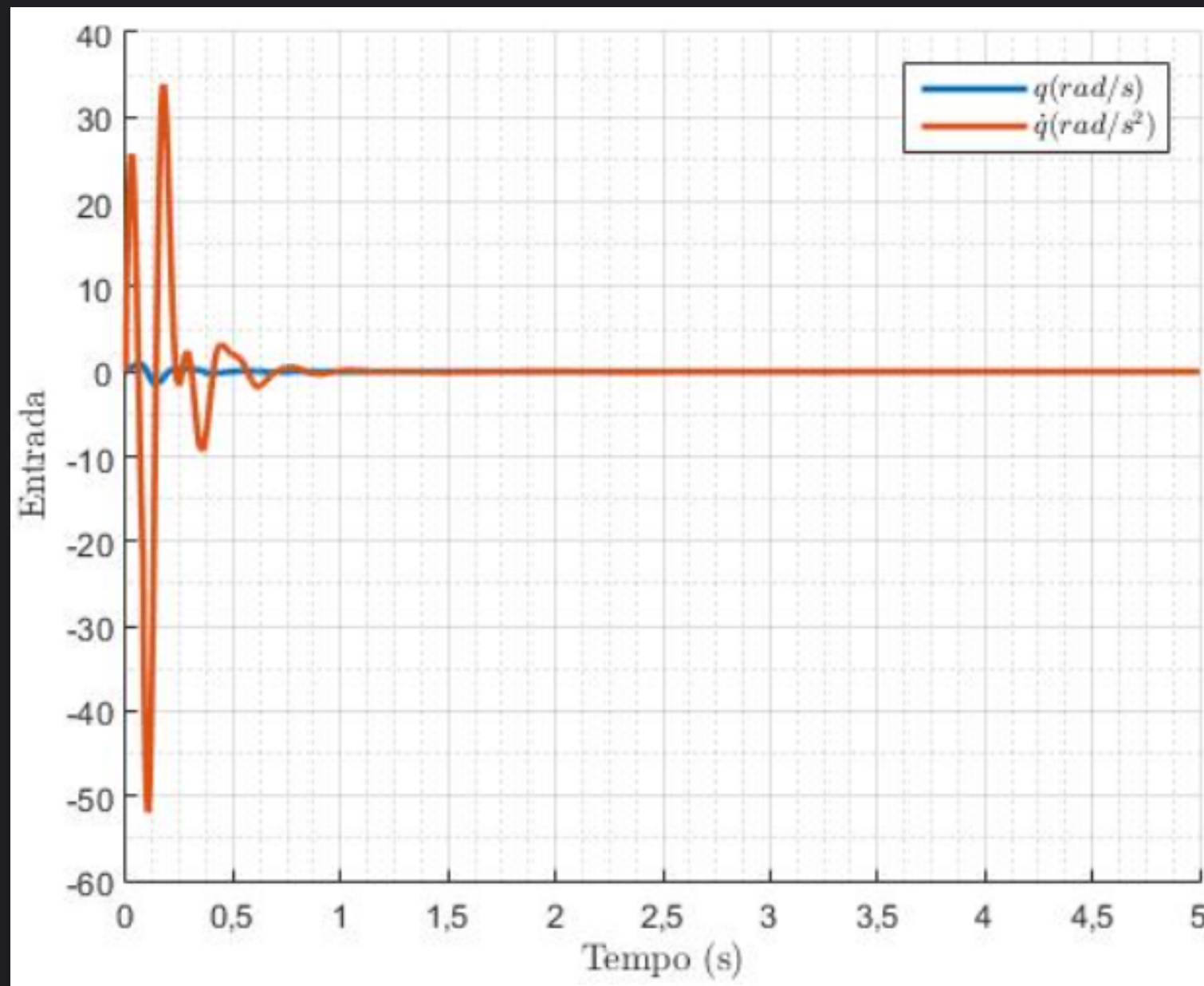


Respostas do sistema linear

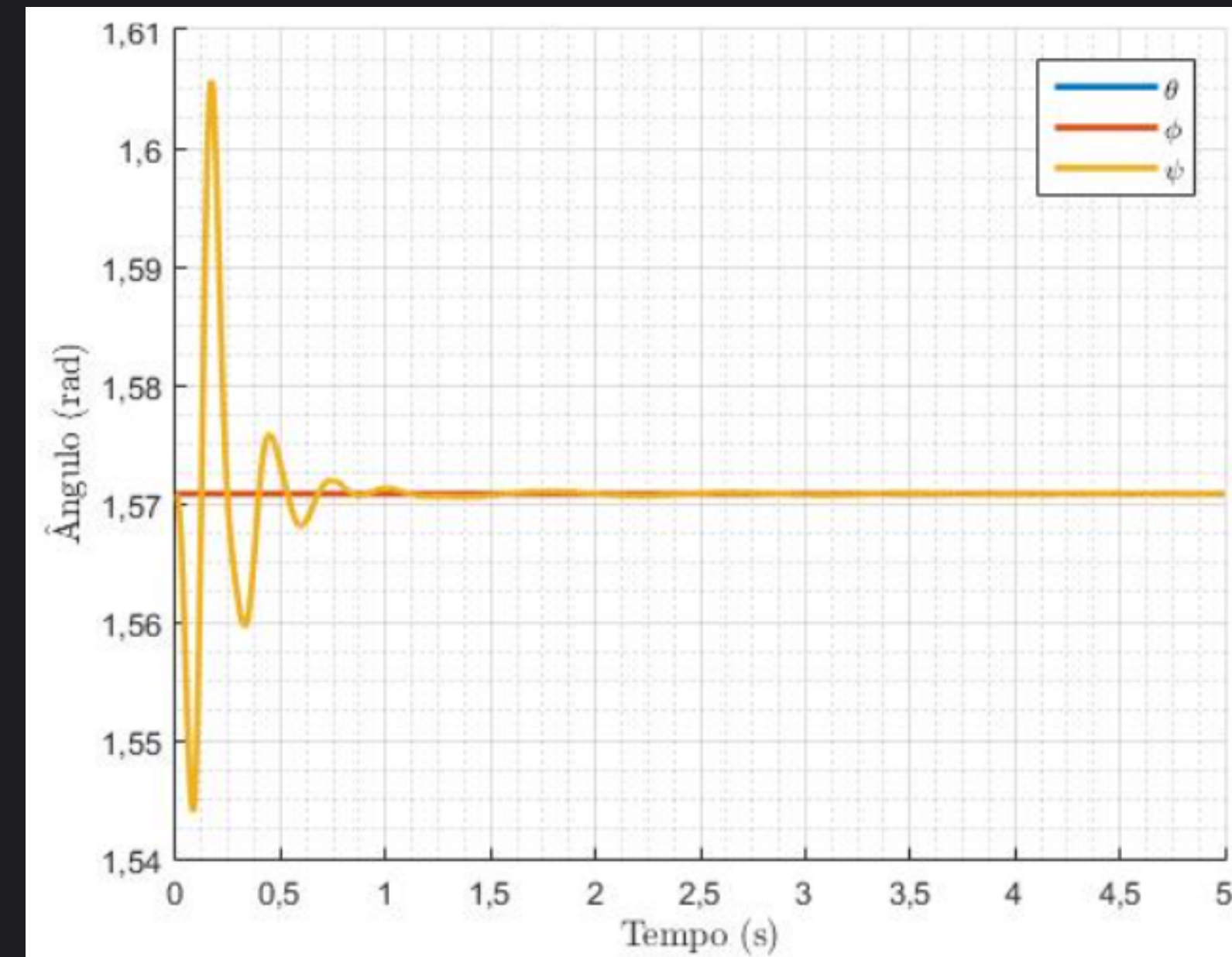


# Análise no Domínio do Tempo

Resposta ao buraco transversal:

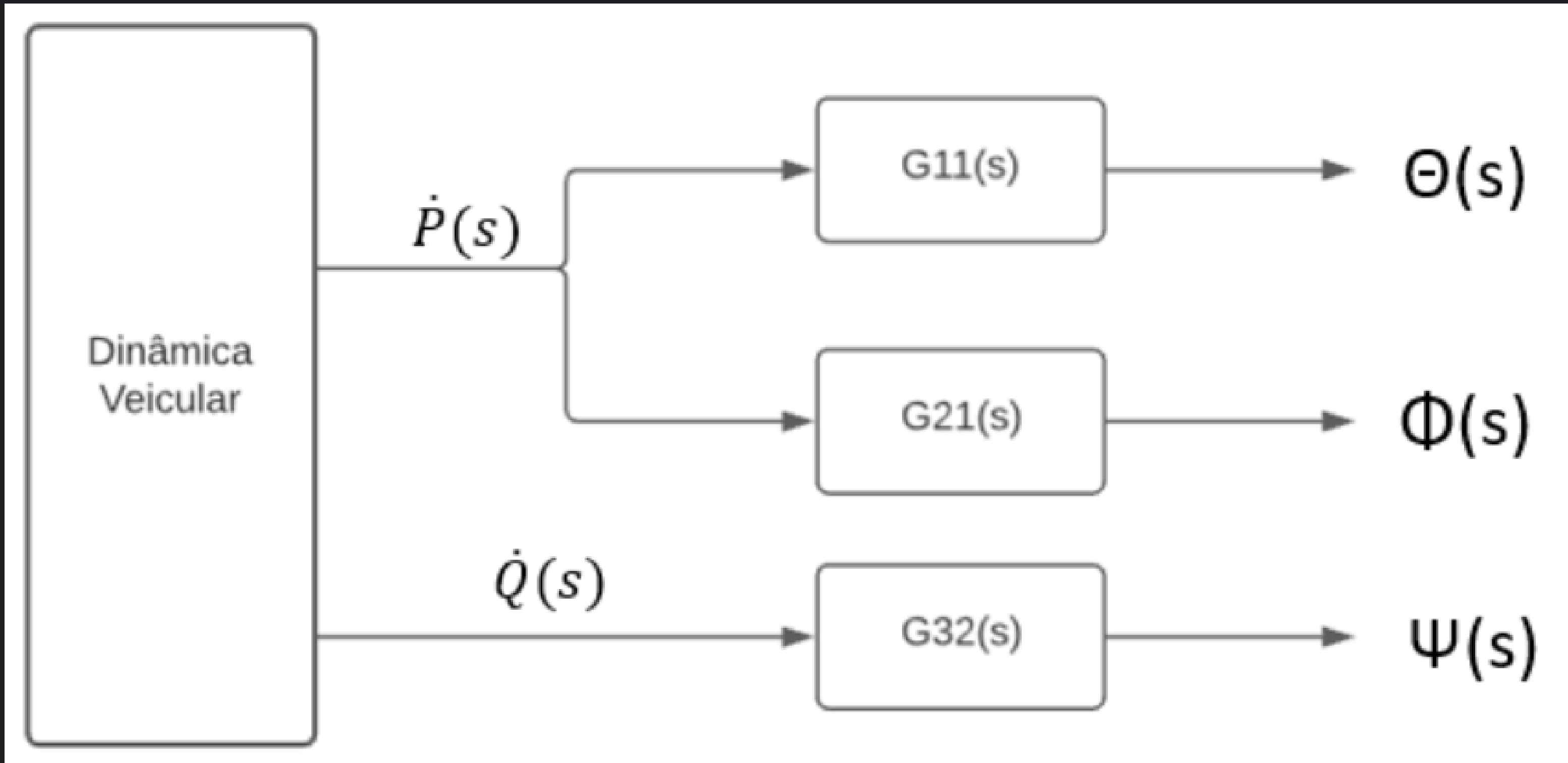


Entradas do sistema



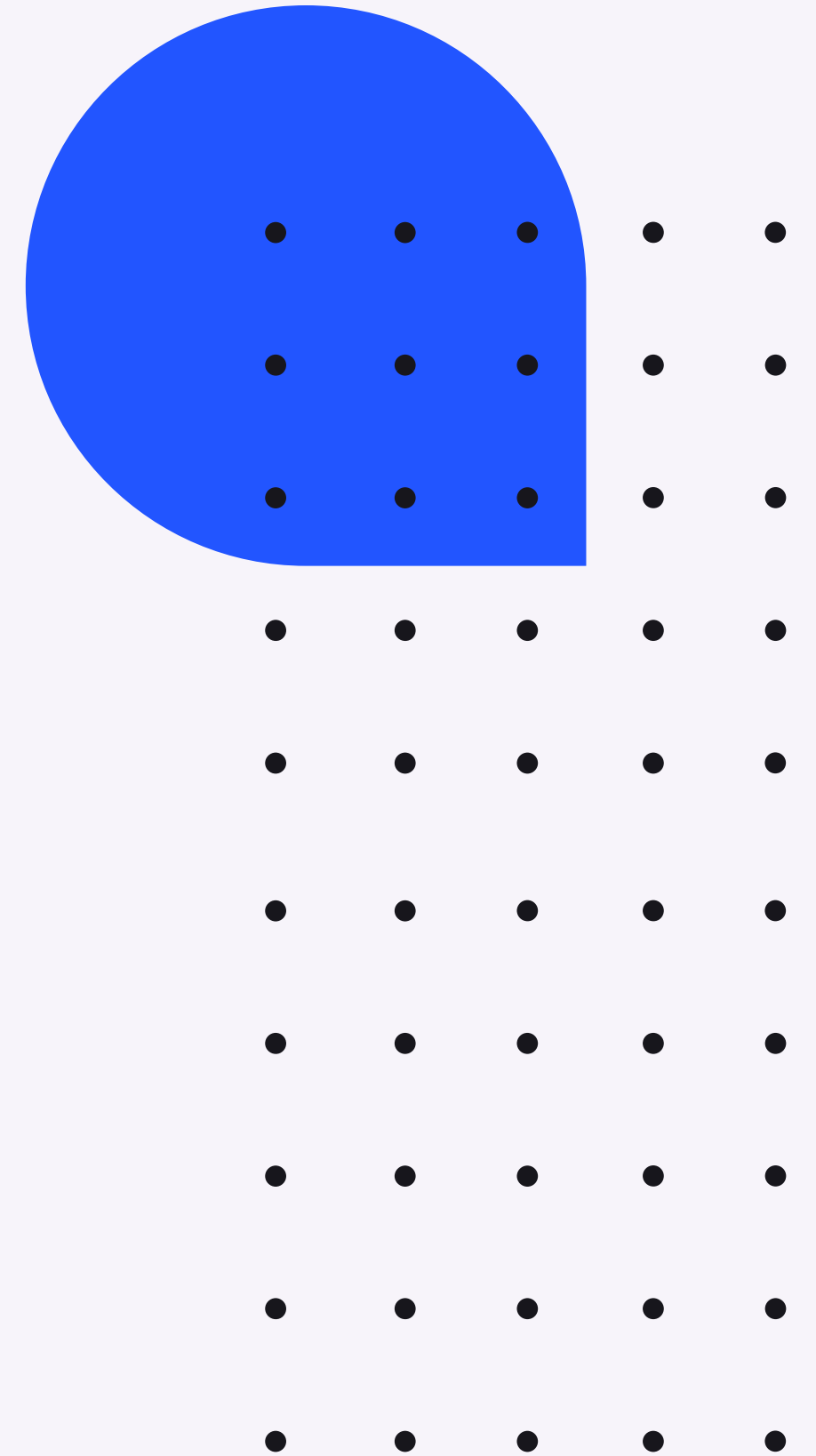
Respostas do sistema linear

# Diagrama de Blocos



# Conclusões

- Sistema marginalmente estável;
- Modelos lineares se mostraram eficazes;
- Respostas de simulações coerentes;



# Referências Bibliográficas

BARNES, F. N. Stable member equations of motion for a three-axis gyro stabilized platform. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, IEEE, n. 5, p. 830–842, 1971.

CET, C. de Engenharia de T. *Dispositivos auxiliares*. 2018. Disponível em: <<http://www.cetsp.com.br/media/858252/MSU-Vol-07-Dispositivos-Auxiliares-Delimitadores.pdf>>.

CONTRAN, C. N. D. T. *RESOLUÇÃO Nº 39, DE 21 DE MAIO DE 1998*. 1998. Disponível em: <[https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra;jsessionid=F7942D5E6867E13EAC2276579099167B.proposicoesWebExterno2?codteor=450324&filename=LegislacaoCitada+-INC+301/2007](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=F7942D5E6867E13EAC2276579099167B.proposicoesWebExterno2?codteor=450324&filename=LegislacaoCitada+-INC+301/2007)>.

GIUA, A.; SEATZU, C.; USAI, G. A mixed suspension system for a half-car vehicle model. *Kluwer Academic Publishers*, p. 375–397, 2001.

ICHIGE, E.; MIAZAKI, G.; RIBEIRO, L. Análise de conforto de motoristas de ônibus. 2019.

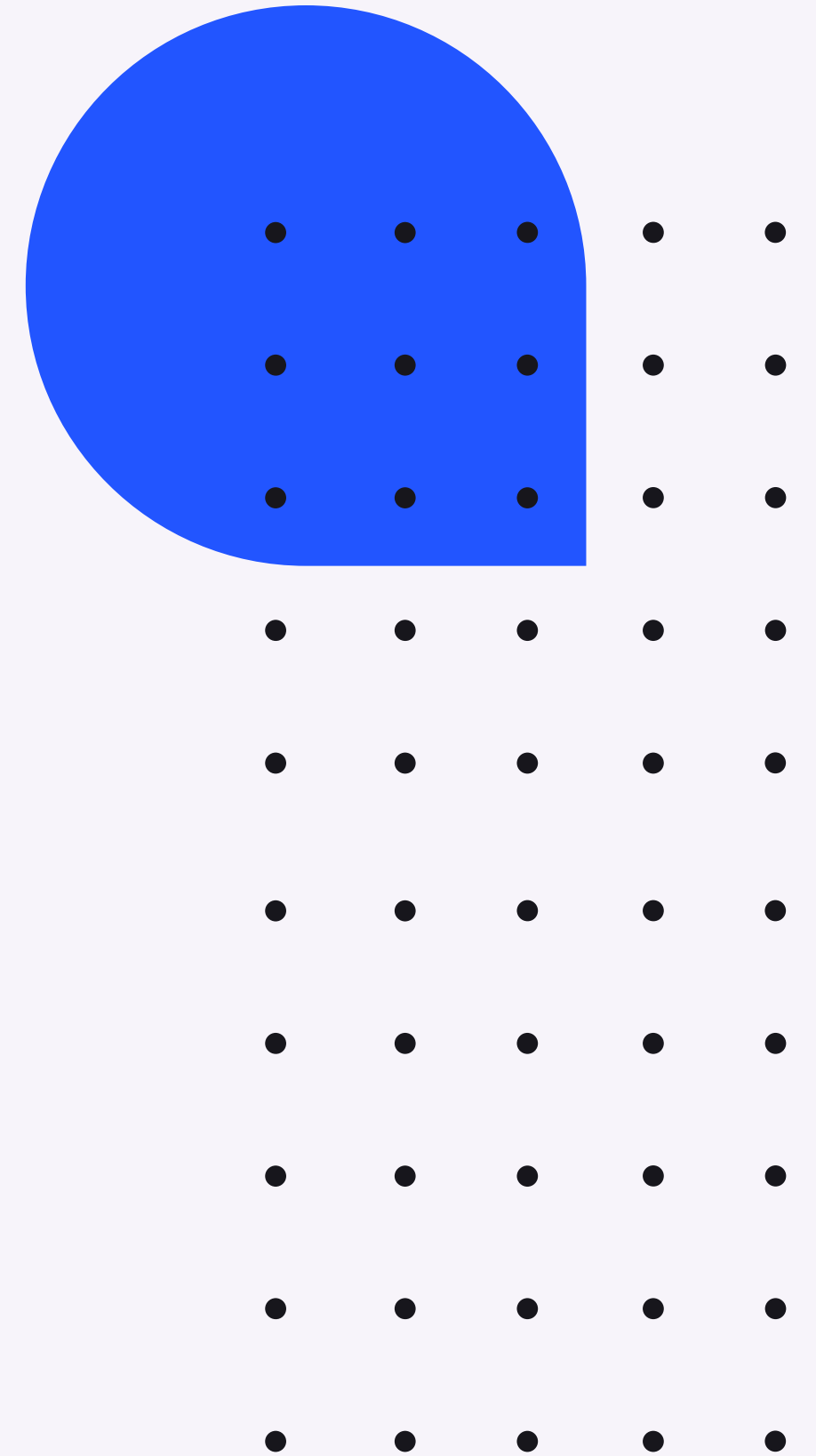
KATHUSHIKO, O. Engenharia de controle moderno. 5º edição. *Editora LTC*, 2011.

LEGHMIZI, S.; SHENG, L. *Kinematics Modeling for Satellite Antenna Dish Stabilized Platform*. 2010. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation.

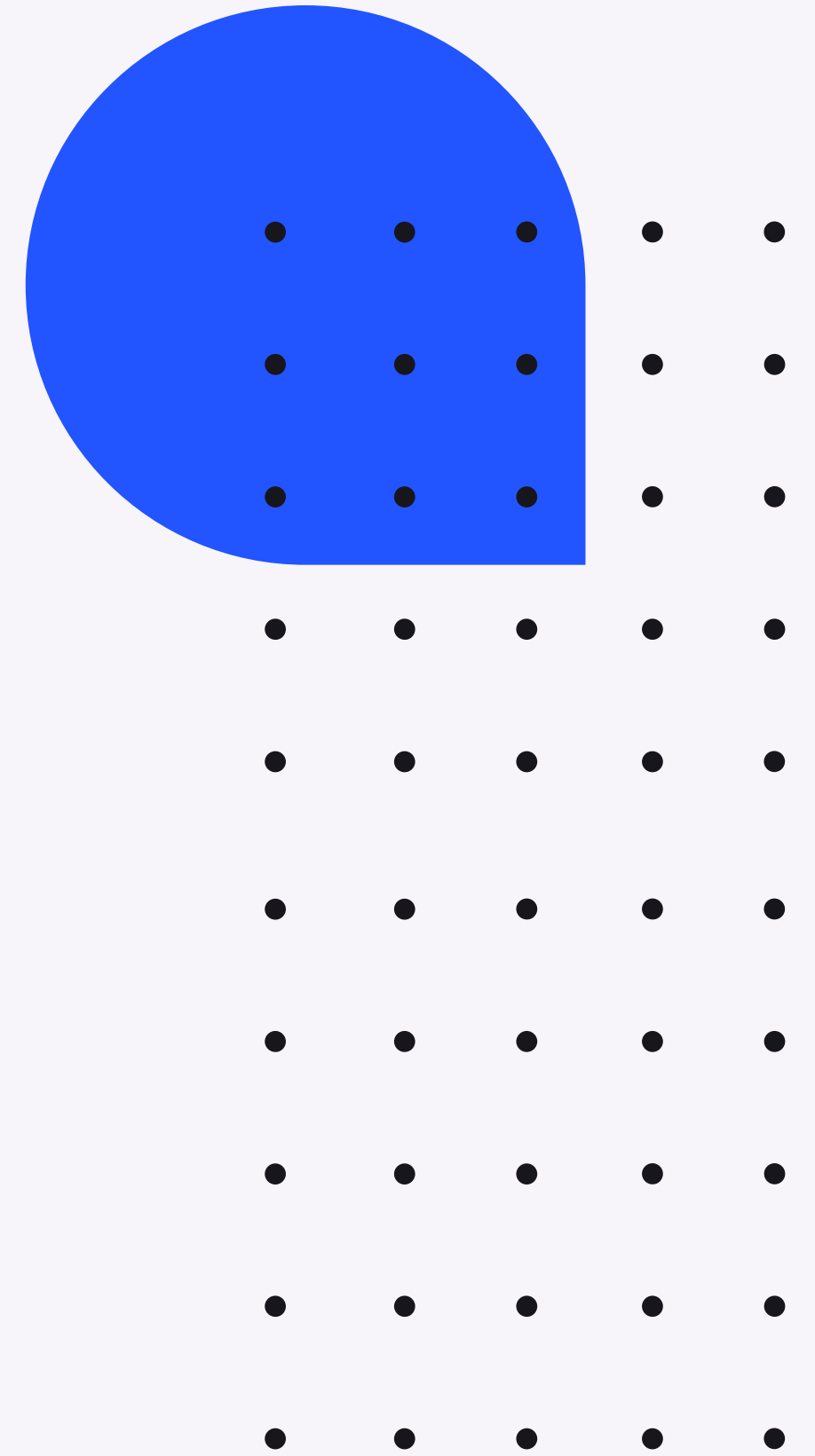
PRASAD, P.; SHIRAHATTI, A. Investigation on effect of hump on a vehicle suspension for the comfortable ride. 2020?

SHELKE, G. D.; MITRA, A. C. Analysis and validation of linear half car passive suspension system with different road profiles. *IOSR Journal of Engineering*, p. 14–19, 2018.

SINGH, A.; THAKUR, R.; CHATTERJEE, D. S. Design and optimal control of line of sight stabilization of moving target. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, v. 9, n. 5, p. 27–32, 2014.



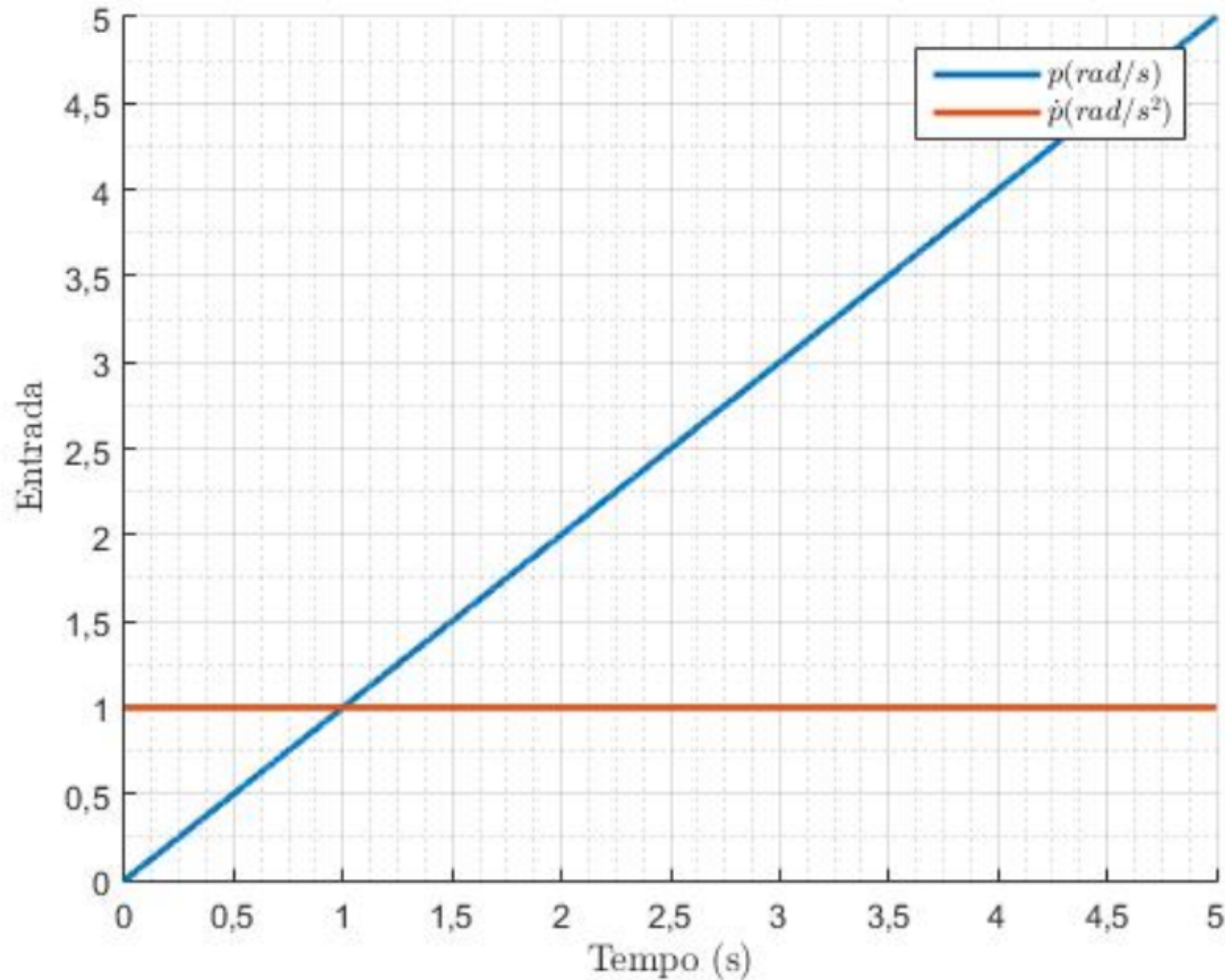
Obrigado!



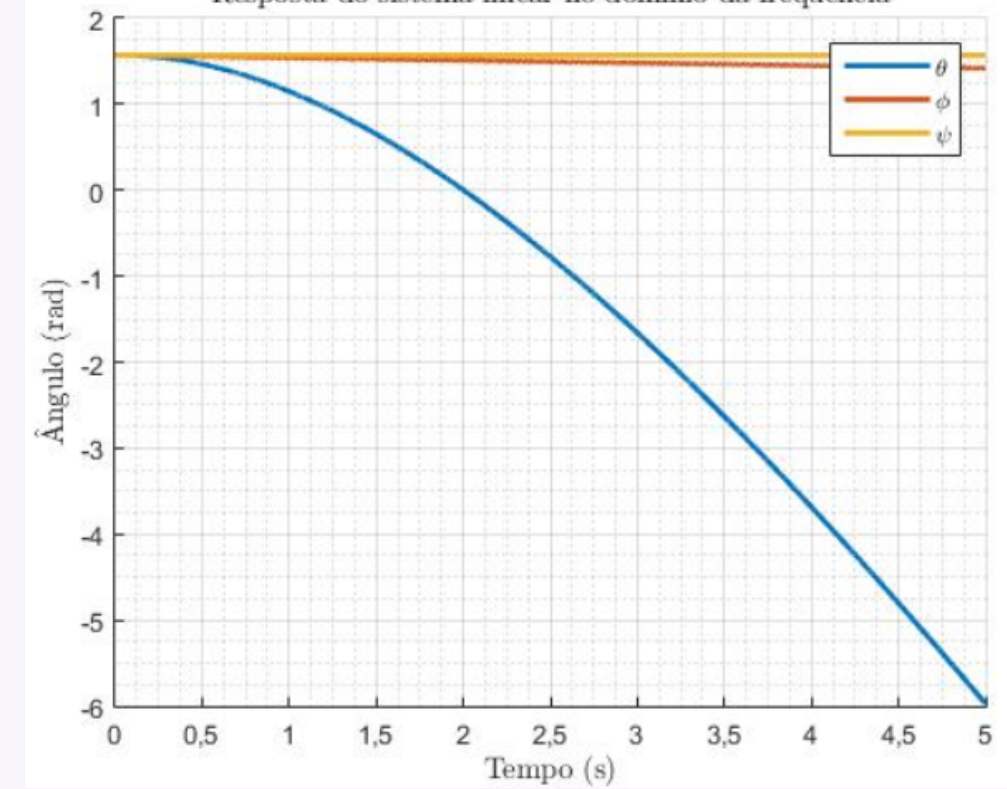
# Apêndice

Resposta a um degrau:

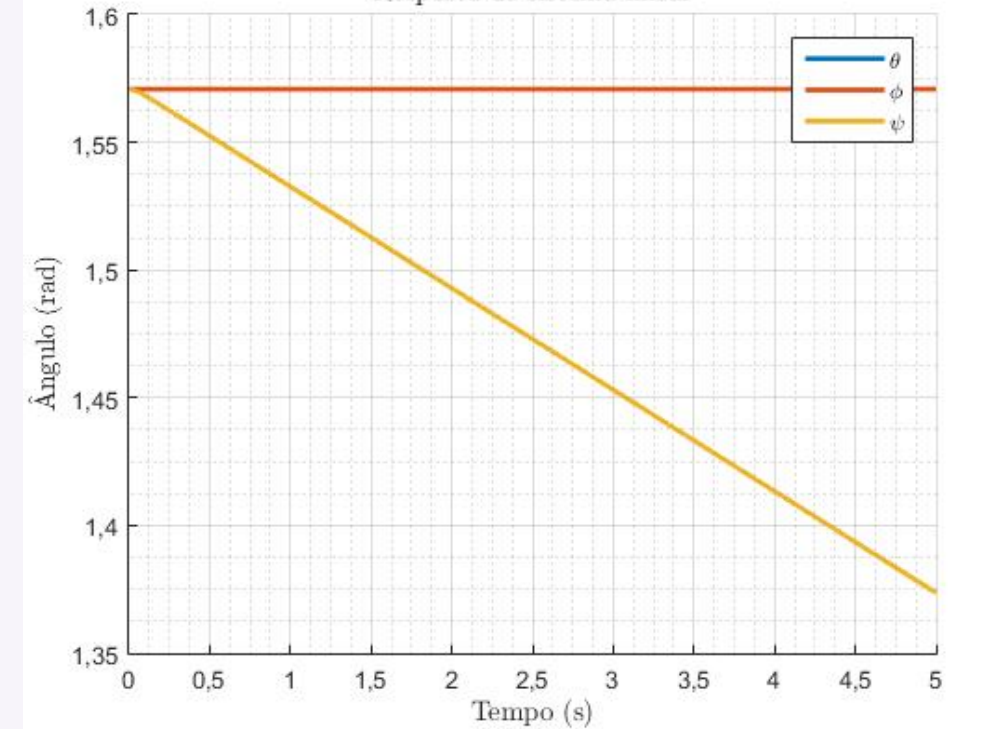
Entradas do sistema



Resposta do sistema linear no domínio da frequência



Resposta do sistema linear



# Apêndice

Resposta a um impulso:

