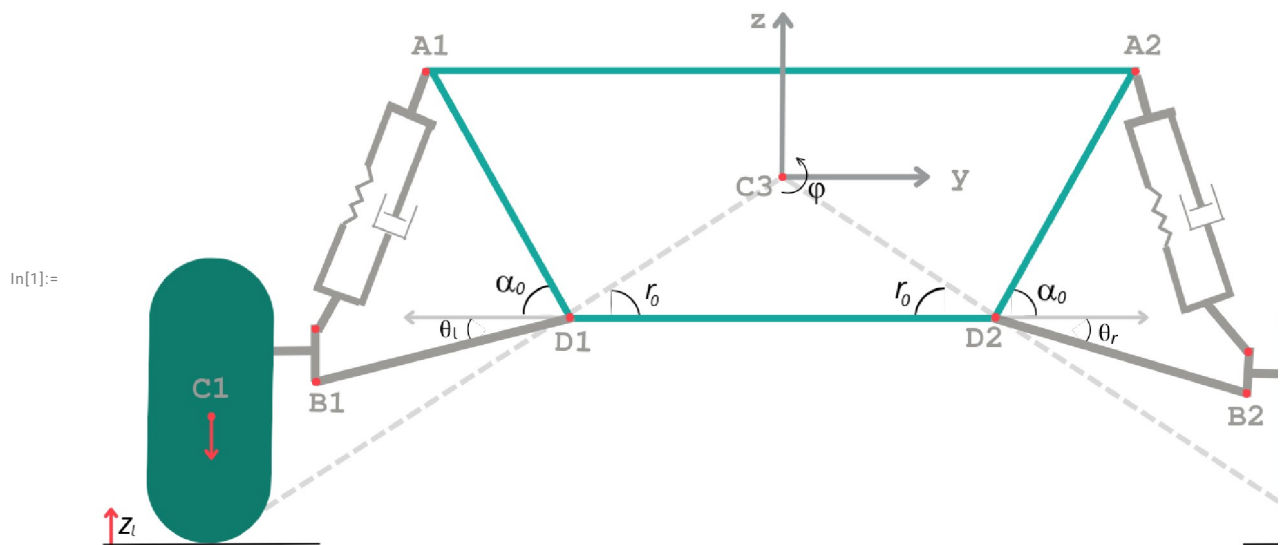


# ANÁLISE DE ROLAGEM AUTOMOTIVA PARA SUSPENSÃO MCPHERSON

Estudo de Caso da Transposição de Quebra - Molas

## Modelo Físico do Problema



## Definição de Relações Iniciais

```
In[2]:= cr = la^2 + lb^2;
dr = 2 * la * lb;

zur[t_] = zt[t] + l0 * φ[t] * Cos[r0 - φ[t]] + lc * θr[t];
└cosseno

zul[t_] = zt[t] - l0 * φ[t] * Cos[r0 + φ[t]] + lc * θl[t];
└cosseno

lr = (cr - dr * Cos[α2])1/2;
ll = (cr - dr * Cos[α2])1/2;

lr2 = (cr - dr * Cos[α2 - θr[t]])1/2;
ll2 = (cr - dr * Cos[α2 - θl[t]])1/2;

Δll = ll2 - ll;
Δlr = lr2 - lr;

lrp = (dr * Sin[a0 + θr[t]] * D[θr[t], t]) / (2 * Sqrt[cr - dr * Cos[a0 + θr[t]]]);
└seno └derivada └raiz quadrada └cosseno

llp = (dr * Sin[a0 + θl[t]] * D[θl[t], t]) / (2 * Sqrt[cr - dr * Cos[a0 + θl[t]]]);
└seno └derivada └raiz quadrada └cosseno
```

## Definição do Lagrangeano

```
ln[14]:= (*Energia Cinética*)
T =  $\frac{1}{2} * J * (D[\varphi[t], t])^2 + \frac{1}{2} * mc * (D[zt[t], t])^2 + \frac{1}{2} * mu * ((D[zul[t], t]) + (D[yul[t], t]))^2 + \frac{1}{2} * mu * ((D[zur[t], t]) + (D[yur[t], t]))^2;$ 

(*Energia Potencial*)
V =  $\frac{1}{2} * ks * \Delta l1^2 + \frac{1}{2} * ks * \Delta l1r^2 + \frac{1}{2} * kt * (zul[t] - z1[t])^2 + \frac{1}{2} * kt * (zur[t] - zr[t])^2;$ 

(*Dissipação*)
R =  $\frac{1}{2} * cp * (l1p)^2 + \frac{1}{2} * cp * (l1p)^2;$ 

ln[17]:= (*Lagrangiano*)
L = T - V;
```

## Operações com Lagrangeano

```
In[18]:= dLdφ = D[D[L, φ'[t]], t] - D[L, φ[t]] + D[R, φ'[t]];
           ↳derivada      ↳derivada      ↳derivada
dLdz t = D[D[L, zt'[t]], t] - D[L, zt[t]] + D[R, zt'[t]];
           ↳derivada      ↳derivada      ↳derivada
dLdθ1 = D[D[L, θ1'[t]], t] - D[L, θ1[t]] + D[R, θ1'[t]];
           ↳derivada      ↳derivada      ↳derivada
dLdθr = D[D[L, θr'[t]], t] - D[L, θr[t]] + D[R, θr'[t]];
           ↳derivada      ↳derivada      ↳derivada
```

## Isolando as Variáveis de Estado

```
In[22]:= eq1 = dLdφ == 0;
eq2 = dLdz t == 0;
eq3 = dLdθ1 == 0;
eq4 = dLdθr == 0;

In[26]:= sol = Solve[{eq1, eq2, eq3, eq4}, {φ'[t], zt'[t], θ1'[t], θr'[t]};
           ↳resolve

In[27]:= IS01 = φ'[t] /. sol[[1]];
IS02 = zt'[t] /. sol[[1]];
IS03 = θ1'[t] /. sol[[1]];
IS04 = θr'[t] /. sol[[1]];
```

## Construção da Matriz Linearizada A

```
In[31]:= equilibrio = {φ[t_] → 0, φ'[t_] → 0, zt[t_] → 0,
                      zt'[t_] → 0, θ1[t_] → 0, θ1'[t_] → 0, θr[t_] → 0, θr'[t_] → 0};

In[32]:= A11 = D[φ'[t], φ[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completame
A12 = D[φ'[t], zt[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completam
A13 = D[φ'[t], θ1[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completam
A14 = D[φ'[t], θr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completam
A15 = D[φ'[t], φ'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completam
A16 = D[φ'[t], zt'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completa
A17 = D[φ'[t], θ1'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completa
A18 = D[φ'[t], θr'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
           ↳derivada      ↳simplifica completa
```

In[40]:=

```

A21 = D[zt'[t], φ[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A22 = D[zt'[t], zt[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A23 = D[zt'[t], θl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A24 = D[zt'[t], θr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A25 = D[zt'[t], φ'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A26 = D[zt'[t], zt'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A27 = D[zt'[t], θl'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A28 = D[zt'[t], θr'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai

```

In[48]:=

```

A31 = D[θl'[t], φ[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A32 = D[θl'[t], zt[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A33 = D[θl'[t], θl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A34 = D[θl'[t], θr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A35 = D[θl'[t], φ'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A36 = D[θl'[t], zt'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A37 = D[θl'[t], θl'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A38 = D[θl'[t], θr'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai

```

In[56]:=

```

A41 = D[θr'[t], φ[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A42 = D[θr'[t], zt[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A43 = D[θr'[t], θl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A44 = D[θr'[t], θr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A45 = D[θr'[t], φ'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A46 = D[θr'[t], zt'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A47 = D[θr'[t], θl'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A48 = D[θr'[t], θr'[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai

```

In[64]:=

```

A51 = D[ISO1,  $\phi[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A52 = D[ISO1,  $z_t[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A53 = D[ISO1,  $\theta_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A54 = D[ISO1,  $\theta_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A55 = D[ISO1,  $\phi'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A56 = D[ISO1,  $z_t'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A57 = D[ISO1,  $\theta_l'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
A58 = D[ISO1,  $\theta_r'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

In[72]:=

```

A61 = D[ISO2,  $\phi[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A62 = D[ISO2,  $z_t[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A63 = D[ISO2,  $\theta_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A64 = D[ISO2,  $\theta_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A65 = D[ISO2,  $\phi'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A66 = D[ISO2,  $z_t'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A67 = D[ISO2,  $\theta_l'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
A68 = D[ISO2,  $\theta_r'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

In[80]:=

```

A71 = D[ISO3,  $\phi[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamei
A72 = D[ISO3,  $z_t[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A73 = D[ISO3,  $\theta_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A74 = D[ISO3,  $\theta_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A75 = D[ISO3,  $\phi'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completam
A76 = D[ISO3,  $z_t'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completai
A77 = D[ISO3,  $\theta_l'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
A78 = D[ISO3,  $\theta_r'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

In[88]:=

```

A81 = D[ISO4,  $\varphi[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A82 = D[ISO4,  $z_t[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A83 = D[ISO4,  $\varphi_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A84 = D[ISO4,  $\varphi_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A85 = D[ISO4,  $\varphi'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A86 = D[ISO4,  $z_t'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A87 = D[ISO4,  $\varphi_l'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente
A88 = D[ISO4,  $\varphi_r'[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completamente

```

In[96]:=

```

DerivadasParciaisA =
  {A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A27,
   A28, A31, A32, A33, A34, A35, A36, A37, A38, A41, A42, A43, A44, A45,
   A46, A47, A48, A51, A52, A53, A54, A55, A56, A57, A58, A61, A62,
   A63, A64, A65, A66, A67, A68, A71, A72, A73, A74, A75, A76, A77,
   A78, A81, A82, A83, A84, A85, A86, A87, A88} // FullSimplify;
                                                    _simplifica completamente

```

In[97]:=

```

MatrizDerivadasA = Partition[DerivadasParciaisA, 8];
                        _dividir em partes
MatrixForm[MatrizDerivadasA] // FullSimplify;
      _forma de matriz                               _simplifica completamente

```

---

## Construção da Matriz Linearizada B

In[99]:=

```

B11 = D[ $\varphi'[t]$ ,  $z_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B12 = D[ $\varphi'[t]$ ,  $z_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

In[101]:=

```

B21 = D[ $z_t'[t]$ ,  $z_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B22 = D[ $z_t'[t]$ ,  $z_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

In[103]:=

```

B31 = D[ $\varphi_l'[t]$ ,  $z_r[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B32 = D[ $\varphi_l'[t]$ ,  $z_l[t]$ ] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

```

```

In[105]:=
B41 = D[θr'[t], zr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B42 = D[θr'[t], zl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

In[107]:=
B51 = D[IS01, zr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B52 = D[IS01, zl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

In[109]:=
B61 = D[IS02, zr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B62 = D[IS02, zl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

In[111]:=
B71 = D[IS03, zr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B72 = D[IS03, zl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

In[113]:=
B81 = D[IS04, zr[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa
B82 = D[IS04, zl[t]] /. equilibrio // FullSimplify;
      _derivada                               _simplifica completa

In[115]:=
DerivadasParciaisB = {B11, B12, B21, B22, B31, B32,
                      B41, B42, B51, B52, B61, B62, B71, B72, B81, B82} // FullSimplify;
                                                                _simplifica completamente

In[116]:=
MatrizDerivadasB = Partition[DerivadasParciaisB, 2];
                      _dividir em partes
MatrixForm[MatrizDerivadasB];
      _forma de matriz

```

## Definição das Matrizes C e D

```

In[118]:=
ElementosC =
  {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
   0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};

In[119]:=
MatrizC = Partition[ElementosC, 8];
          _dividir em partes
MatrixForm[MatrizC];
      _forma de matriz

In[121]:=
MatrizD = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
MatrixForm[MatrizD];
      _forma de matriz

```

---

## Definição dos Parâmetros Numéricos

In[123]:=

```
l0 = 0.5;
la = 0.5;
lb = 0.5;
lc = 0.6;
a0 = 45 * Pi / 180;
      ↳ número pi
r0 = 35 * Pi / 180;
      ↳ número pi
θ0 = 10 * Pi / 180;
      ↳ número pi
α2 = a0 + (θ0);
J = 1220;
mc = 900;
mu = 70;
cp = 2050;
ks = 17658;
kt = 183887;
```





## Para Bode

In[141]:=

```
ElementosC1 = {1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
ElementosC2 = {0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
ElementosC5 = {0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0};
ElementosC6 = {0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0};
```

In[145]:=

```
MatrizC1 = Partition[ElementosC1, 8];


dividir em partes


MatrizC2 = Partition[ElementosC2, 8];


dividir em partes


MatrizC5 = Partition[ElementosC5, 8];


dividir em partes


MatrizC6 = Partition[ElementosC6, 8];


dividir em partes


```

In[149]:=

```
MatrizD1 = {{0, 0}};
```

## Transformada de Laplace

In[150]:=

```
sysSS = StateSpaceModel[{MatrizDerivadasA, MatrizDerivadasB, MatrizC, MatrizD}];


modelo de espaço de estados


```

In[151]:=

```
sysSS
```

Out[151]:=

0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	-1.9434	1.9434	0	0	-0.244764	0.244764	0	0
0	0	6.43199	6.43199	0	0	0.810085	0.810085	0	0
1793.23	-4378.26	-2776.83	-9.39337	0	0	-18.8762	-1.18306	0	4378.26
-1793.23	-4378.26	-9.39337	-2776.83	0	0	-1.18306	-18.8762	4378.26	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

In[152]:=

```
sysSS1 = StateSpaceModel[{MatrizDerivadasA, MatrizDerivadasB, MatrizC1, MatrizD1}];


modelo de espaço de estados


sysSS2 = StateSpaceModel[{MatrizDerivadasA, MatrizDerivadasB, MatrizC2, MatrizD1}];


modelo de espaço de estados


sysSS5 = StateSpaceModel[{MatrizDerivadasA, MatrizDerivadasB, MatrizC5, MatrizD1}];


modelo de espaço de estados


sysSS6 = StateSpaceModel[{MatrizDerivadasA, MatrizDerivadasB, MatrizC6, MatrizD1}];


modelo de espaço de estados

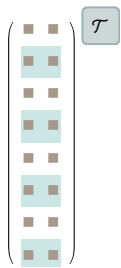

```

## Função de Transferência

```
In[156]:= sysTF = TransferFunctionModel[ (sysSS), s];
           |modelo de função de transferência
```

```
In[157]:= sysTF
```

```
Out[157]=
```



As linhas 2 e 6 foram simplificadas pelo programa, e podem ser visualizadas através da comparação de fatores entre os denominadores das outras linhas.

```
In[159]:= sysTF1 = TransferFunctionModel[ (sysSS1), s];
           |modelo de função de transferência
sysTF2 = TransferFunctionModel[ (sysSS2), s];
           |modelo de função de transferência
sysTF5 = TransferFunctionModel[ (sysSS5), s];
           |modelo de função de transferência
sysTF6 = TransferFunctionModel[ (sysSS6), s];
           |modelo de função de transferência
```

## Diagrama de Polos

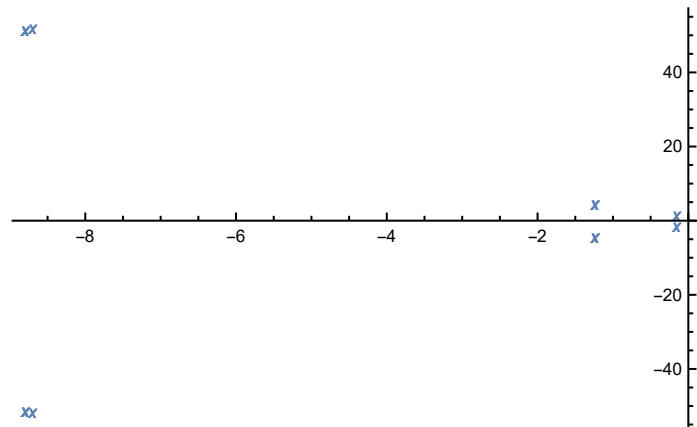
```
In[163]:= Polos = {TransferFunctionPoles[sysTF1], TransferFunctionPoles[sysTF2],
                   |pólos de função de transferência |pólos de função de transferência
                   TransferFunctionPoles[sysTF5], TransferFunctionPoles[sysTF6]};
                   |pólos de função de transferência |pólos de função de transferência
```

```
In[164]:= Zeros = {TransferFunctionZeros[sysTF1], TransferFunctionZeros[sysTF2],
                   |zeros de função de transferência |zeros de função de transferência
                   TransferFunctionZeros[sysTF5], TransferFunctionZeros[sysTF6]};
                   |zeros de função de transferência |zeros de função de transferência
```

In[165]:=

```
ListPlot[{Re[#], Im[#]} & /@ Flatten[Polos], PlotMarkers -> "x", PlotRange -> All]
```

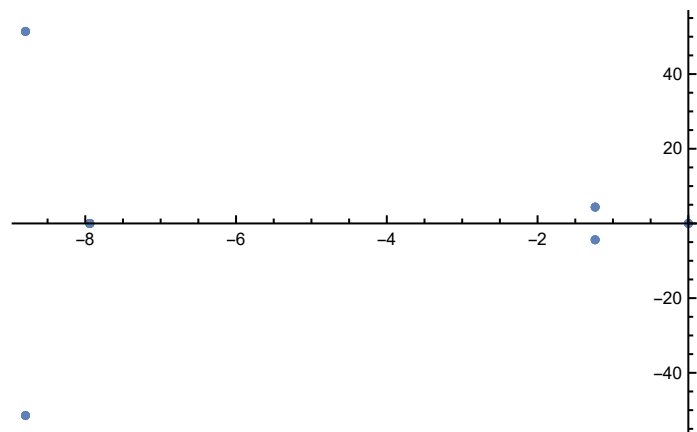
Out[165]=



In[166]:=

```
ListPlot[{Re[#], Im[#]} & /@ Flatten[Zeros], PlotRange -> All]
```

Out[166]=



## Critério de Estabilidade de Routh-Hurwitz

Tabela realizada no Excel que implementa o algoritmo do Critério de Routh-Hurwitz

In[167]:=

s <sup>8</sup>	392560330,5	181514225	7917116,22	5908,575582	1
s <sup>7</sup>	98882991,98	23213093,01	112781,2105	37,75239534	0
s <sup>6</sup>	89359454,17	7469380,686	5758,700538	1	0
s <sup>5</sup>	14947658,56	106408,773	36,64581973	0	0
s <sup>4</sup>	6833252,303	5539,626063	1	0	0
s <sup>3</sup>	94290,90648	34,45833157	0	0	0
s <sup>2</sup>	3042,434316	1	0	0	0
s <sup>1</sup>	3,466403163	0	0	0	0
s <sup>0</sup>	1	0	0	0	0

Elementos da primeira coluna não mudam de sinal ---> Estável!

## Diagramas de Bode

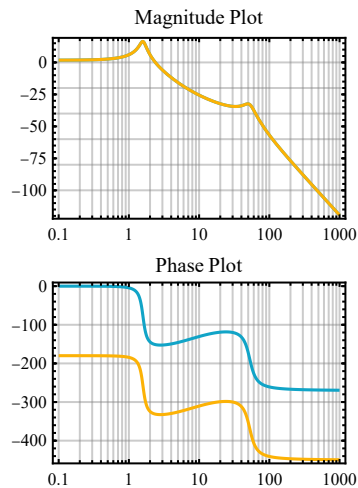
In[168]:=

```

BodePlot[sysTF1, {0.1, 1000}, PlotTheme → "Scientific", GridLines → Automatic,
diagrama de Bode      tema do gráfico      grade de linhas automático
  PlotStyle → 100, PlotLabel → {"Magnitude Plot", "Phase Plot"}]
estilo do gráfico      etiqueta de gráfico      gráfico      gráfico

```

Out[168]=



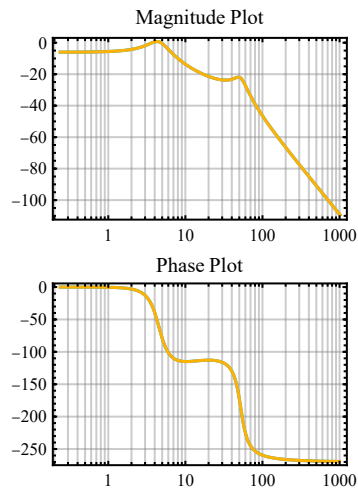
In[169]:=

```

BodePlot[sysTF2, PlotTheme → "Scientific", GridLines → Automatic, PlotStyle → 100,
diagrama de Bode      tema do gráfico      grade de linhas automático      estilo do gráfico
  PlotLabel → {"Magnitude Plot", "Phase Plot"}, PhaseRange → {-2 Pi, 0}]
etiqueta de gráfico      gráfico      gráfico      intervalo de fase      número pi

```

Out[169]=



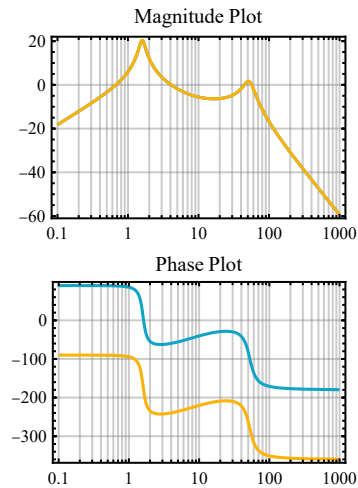
In[170]:=

```

BodePlot[sysTF5, {0.1, 1000}, PlotTheme → "Scientific", GridLines → Automatic,
diagrama de Bode          tema do gráfico          grade de linhas automático
PlotStyle → 100, PlotLabel → {"Magnitude Plot", "Phase Plot"}]
estilo do gráfico      etiqueta de gráfico      gráfico      gráfico

```

Out[170]=



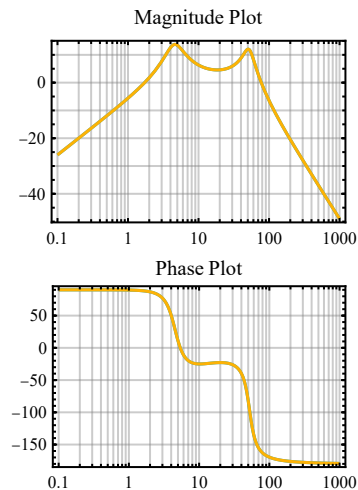
In[171]:=

```

BodePlot[sysTF6, {0.1, 1000}, PlotTheme → "Scientific",
diagrama de Bode          tema do gráfico
GridLines → Automatic, PlotStyle → 100,
grade de linhas automático estilo do gráfico
PlotLabel → {"Magnitude Plot", "Phase Plot"}, PhaseRange → {-3 Pi / 2, Pi / 2}]
etiqueta de gráfico      gráfico      gráfico      intervalo de fase      número... número pi

```

Out[171]=



## Simulação no Tempo

```

z1[x_] =
(-3.48 + Sqrt[12.6736 - ((x) - 0.750466)^2]) * (UnitStep[x] - UnitStep[x - (1.5)]);
raiz quadrada          função passo un... função passo unidade

```

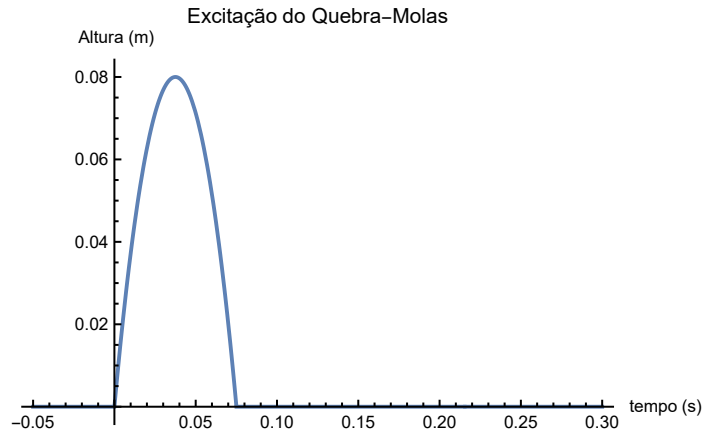
In[262]:=

```
z3[t_] = z1[x] /. {x → 20 t};
```

In[271]:=

```
Plot[z3[t], {t, -0.05, 0.3}, AxesLabel → {"tempo (s)", "Altura (m)"},
gráfico                                legenda dos eixos
PlotRange → All, PlotLabel → "Excitação do Quebra-Molas"]
intervalo do g· tudo Etiqueta de gráfico
```

Out[271]=



In[175]:=

```
z2[t_] = 0;
ue = {z2[t], z3[t]};
```

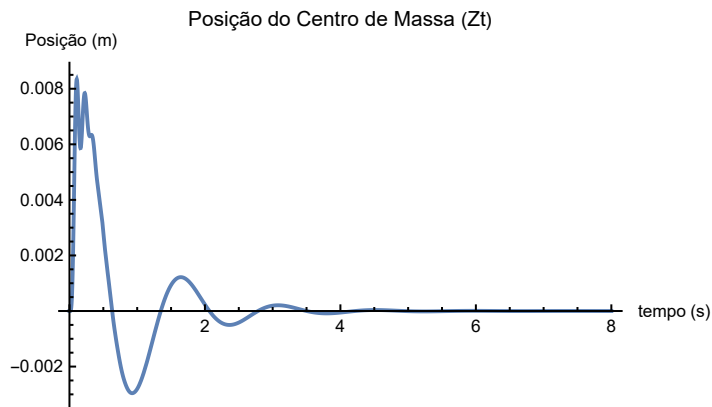
In[253]:=

```
{phi, zt1, thetal, thetar, phid, zt1d, thetald, thetard} =
StateResponse[sysSS, ue, {t, 0.01, 30}];
resposta de estado
```

In[254]:=

```
Plot[zt1, {t, 0, 8}, AxesLabel → {"tempo (s)", "Posição (m)"},
gráfico                                legenda dos eixos
PlotRange → All, PlotLabel → "Posição do Centro de Massa (Zt)"]
intervalo do g· tudo Etiqueta de gráfico
```

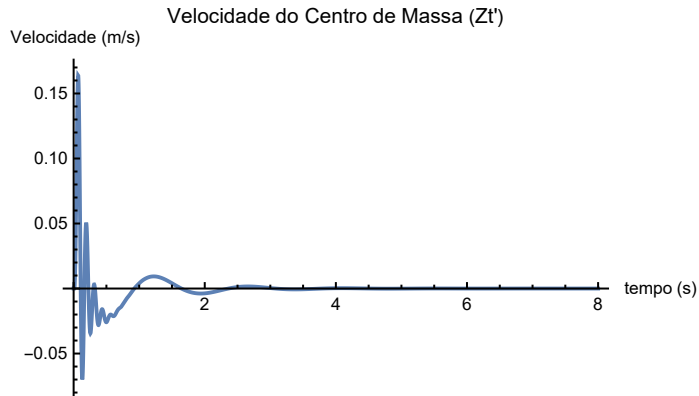
Out[254]=



In[255]:=

```
Plot[zt1d, {t, 0, 8}, AxesLabel → {"tempo (s)", " Velocidade (m/s)" },
gráfico                                legenda dos eixos
PlotRange → All, PlotLabel → "Velocidade do Centro de Massa (Zt')"]
intervalo do g· tudo Etiqueta de gráfico
```

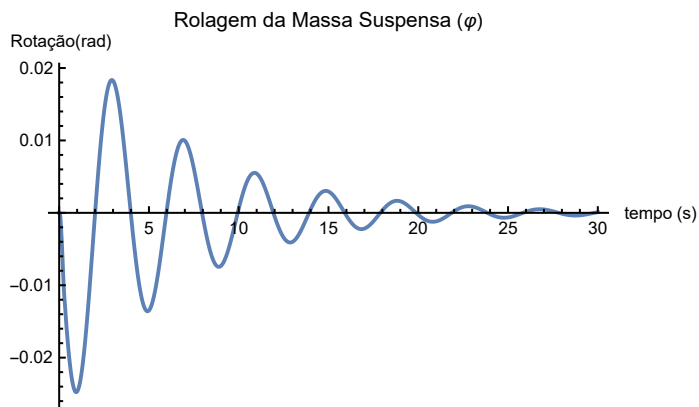
Out[255]=



In[180]:=

```
Plot[phi, {t, 0, 30}, AxesLabel → {"tempo (s)", " Rotação (rad)" },
gráfico                                legenda dos eixos
PlotRange → All, PlotLabel → "Rolagem da Massa Suspensa (φ)"]
intervalo do g· tudo Etiqueta de gráfico
```

Out[180]=



In[181]:=

```
Plot[phid, {t, 0, 30}, AxesLabel → {"tempo (s)", " Rotação (rad/s)" },
gráfico                                legenda dos eixos
PlotRange → All, PlotLabel → "Velocidade de Rolagem da Massa Suspensa (φ')"]
intervalo do g· tudo Etiqueta de gráfico
```

Out[181]=

