

Contents

- , [apresentar gráficos](#)
- , [dados cinemática](#)
- , [dados estática](#)
- , [INÍCIO DO LAÇO](#)
- , [definição dos pontos](#)
- , [análise geral de posição \(solução numérica\)](#)
- , [análise geral de velocidade](#)
- , [análise geral de aceleração](#)
- , [análise de posição do CM da manivela **](#)
- , [coeficientes de velocidade do CM da manivela **](#)
- , [derivadas dos coeficientes de velocidade do CM da manivela **](#)
- , [análise de posição do CM da biela **](#)
- , [coeficientes de velocidade do CM da biela **](#)
- , [derivadas dos coeficientes de velocidade do CM da biela **](#)
- , [Princípio dos trabalhos virtuais](#)
- , [Gráficos da análise geral \(posicao, velocidade e aceleracao\)](#)
- , [Gráfico do determinante da matriz jacobiana](#)
- , [Gráficos da posição dos pontos de interesse](#)
- , [Gráficos dos coeficientes de velocidade e de aceleração](#)
- , [Gráfico da força na mola](#)
- , [Gráfico do momento equilibrante](#)

```
%=====
% TM350-Dinamica de Maquinas
% Prof. Jorge Luiz Erthal
% Aplicação do Princípio dos Trabalhos Virtuais
% Mecanismos: biela-manivela
% Figura: bielamanivelaPTV.jpg
%=====
clear all
close all
clc
```

apresentar gráficos

```
GRAFICO_GERAL = 'N';
GRAFICO_JACO = 'N';
GRAFICO_PONTO_DE_INTERESSE = 'N';
GRAFICO_FORCA_MOLA = 'N';
GRAFICO_MOMENTO_EQUILIBRANTE = 'S';
%-----
```

dados cinemática

```
%-----
R = 0.25;      % Comprimento da manivela (m)          <*>
C = 0.00;      % Distancia do pistao ao centro da manivela (m) <*>
L = 0.45;      % comprimento da biela (m)            <*>
C1 = 1.00;     % Extremidade fixa da mola (m)         <*>
%-----
% pontos de interesse
up2=R/2;      % centro de massa da manivela          <*>
vp2=0;
up3=L/2;      % centro de massa da biela              <*>
vp3=0;
%-----
% número de pontos e distribuição no intervalo
NP = 361;     % numero de pontos calculados
```

```

qmin = 0*pi/180;    % valor de q no inicio do intervalo    <*>
qmax = 360*pi/180; % valor de q no fim do intervalo      <*>
%-----

```

dados estática

```

%-----
m2=0.01;    % massa da manivela (kg)
m3=0.01;    % massa da biela (kg)
m4=0.4;     % massa do pistao (kg)
%-----
km = 2;     % constante da mola (N/m)
S0 = 0.2;   % comprimento livre da mola (m)
%-----
F = 1;      % Força externa aplicada (N)
%-----
grav = 9.81; % aceleração da gravidade (m/s^2)
%-----

```

INÍCIO DO LAÇO

```

%-----
for i = 1:NP

```

definição dos pontos

```

q(i)=qmin+(i-1)*(qmax-qmin)/(NP-1); % valores de q nos NP pontos
%-----

```

análise geral de posição (solução numérica)

```

%-----
ef=10^(-6); % tolerancia para o metodo de Newton Raphson
%-----
% valores iniciais das variaveis secundarias    <*>
a0 = 10*pi/180; % variavel secundaria A
x0 = R+L;      % variavel secundaria X
%-----
% composicao dos valores iniciais do vetor secundario    <*>
s=[a0; x0];
%-----
% valor inicial da função f ( > ef )    <*>
f=[1;1];
%-----
% iteracoes do metodo de Newton-Raphson
while norm(f) > ef
    %-----
    a=s(1);
    x=s(2);
    % equacoes cinematicas de posicao    <*>
    f = [R*cos(q(i))+L*cos(a)-x;
          R*sin(q(i))-L*sin(a)-C];
    %-----
    % matriz jacobiana    <*>
    J = [-L*sin(a) -1;
          -L*cos(a) 0];
    %-----
    % novo valor do vetor secundario
    s=s-inv(J)*f;
    %-----
end
%-----
% distribuição do resultado nas variáveis secundárias
%-----
% para continuacao dos calculos    <*>
a=s(1);
x=s(2);
%-----

```

```

% para armazenamento dos resultados          <*>
A(i)=a;
X(i)=x;
%-----

```

análise geral de velocidade

```

%-----
% matriz jacobiana                          <*>
J=[-L*sin(a)  -1;
   -L*cos(a)  0];
%-----
% determinante da matriz jacobiana
%-----
% para continuacao dos calculos
detj = det(J);
%-----
% para armazenamento dos resultados
detJ(i) = detj;
%-----
% derivada das equacoes cinematicas em relacao a q          <*>
Q=[-R*sin(q(i));
   R*cos(q(i))];
%-----
% coeficientes de velocidade
k=-inv(J)*Q;
%-----
% para continuacao dos calculos                <*>
ka=k(1);
kx=k(2);
%-----
% para armazenamento dos resultados            <*>
Ka(i)=ka;
Kx(i)=kx;
%-----

```

análise geral de aceleração

```

%-----
% derivada da matriz jacobiana em relacao a q          <*>
dJdq=[-ka*L*cos(a)  0;
       ka*L*sin(a)  0];
%-----
% derivada do vetor primario em relacao a q          <*>
dQdq=[-R*cos(q(i));
       -R*sin(q(i))];
%-----
% derivada dos coeficientes de velocidade
l=-inv(J)*(dJdq*k+dQdq);
%-----
% para continuacao dos calculos                <*>
la=l(1);
lx=l(2);
%-----
% para armazenamento dos resultados            <*>
La(i) = la;
Lx(i) = lx;
%-----

```

análise de posição do CM da manivela **

```

Loc2=[up2;
      vp2];
Ori2=[0;
      0];
Rot2=[cos(q(i)) -sin(q(i))
      sin(q(i))  cos(q(i))];
Glob2=Ori2+Rot2*Loc2;
xp2=Glob2(1);
yp2=Glob2(2);

```

```
%-----
```

coeficientes de velocidade do CM da manivela **

```
dOri2dq = [0;
0];
dRot2dq = [-sin(q(i)) -cos(q(i));
cos(q(i)) -sin(q(i))];
Vel2=dOri2dq + dRot2dq*Loc2;
kpx2=Vel2(1);
kpy2=Vel2(2);
%-----
```

derivadas dos coeficientes de velocidade do CM da manivela **

```
ddOri2ddq = [0;
0];
ddRot2ddq = [-cos(q(i)) sin(q(i));
-sin(q(i)) -cos(q(i))];
Acel2=ddOri2ddq + ddRot2ddq*Loc2;
lpx2=Acel2(1);
lpy2=Acel2(2);
%-----
```

análise de posição do CM da biela **

```
Loc3=[up3;
vp3];
Ori3=[R*cos(q(i));
R*sin(q(i))];
Rot3=[ cos(a) sin(a)
-sin(a) cos(a)];
Glob3=Ori3+Rot3*Loc3;
xp3=Glob3(1);
yp3=Glob3(2);
%-----
```

coeficientes de velocidade do CM da biela **

```
dOri3dq = [-R*sin(q(i));
R*cos(q(i))];
dRot3dq = [-sin(a)*ka cos(a)*ka;
-cos(a)*ka -sin(a)*ka];
Vel3=dOri3dq + dRot3dq*Loc3;
kpx3=Vel3(1);
kpy3=Vel3(2);
%-----
```

derivadas dos coeficientes de velocidade do CM da biela **

```
ddOri3ddq = [-R*cos(q(i));
-R*sin(q(i))];
ddRot3ddq = [-cos(a)*ka^2-sin(a)*la -sin(a)*ka^2+cos(a)*la;
sin(a)*ka^2-cos(a)*la -cos(a)*ka^2-sin(a)*la];
Acel3=ddOri3ddq + ddRot3ddq*Loc3;
lpx3=Acel3(1);
lpy3=Acel3(2);
%-----
```

Princípio dos trabalhos virtuais

```
%-----
% força na mola
Fmola(i) = km*(C1-x-S0);
```

```

% torque devido à ação da mola
Tmola(i) = -km*(C1-x-S0)*kx;
% torque devido à ação da força
Tforca(i) = -F*kx;
% torque devido à ação do peso
Tpeso(i) = m2*grav*kpy2 + m3*grav*kpy3;
% momento equilibrante
T(i)=Tmola(i)+Tforca(i)+Tpeso(i);

```

```
end
```

```
%-----
```

Gráficos da análise geral (posicao, velocidade e aceleracao)

```

%-----
if GRAFICO_GERAL == 'S'
    figure('Name','Análise Geral') % título na moldura superior
    % gráficos geminados
    % primeiro gráfico
    subplot(3,2,1) % gráfico da esquerda (posição 1)
    plot(q*180/pi,A*180/pi,... <*>
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('A(q) (^o)') % rótulo do eixo y
    title('Posição da biela') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
    % segundo gráfico
    subplot(3,2,2) % gráfico da direita (posição 2)
    plot(q*180/pi,X,... <*>
        'r',... % cor da curva
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % insere linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('X(q) (mm)') % rótulo do eixo y <*>
    title('Posição do pistão') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
    % terceiro gráfico
    subplot(3,2,3) % gráfico da esquerda (posição 1)
    plot(q*180/pi,Ka,... <*>
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('Ka(q) ') % rótulo do eixo y <*>
    title('Coeficiente de velocidade Ka') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
    % quarto gráfico
    subplot(3,2,4) % gráfico da direita (posição 2)
    plot(q*180/pi,Kx,... <*>
        'r',... % cor da curva
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('Kx(q) ') % rótulo do eixo y <*>
    title('Coeficiente de velocidade Kx') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
    % quinto gráfico
    subplot(3,2,5) % gráfico da esquerda (posição 1)
    plot(q*180/pi,La,... <*>
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('La(q) ') % rótulo do eixo y <*>
    title('Derivada do coeficiente de velocidade La') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
    % sexto gráfico
    subplot(3,2,6) % gráfico da direita (posição 2)
    plot(q*180/pi,Lx,... <*>
        'r',... % cor da curva
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x

```

```

ylabel('Lx(q) ') % rótulo do eixo y <*>
title('Derivada do coeficiente de velocidade Lx') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
end
%-----

```

Gráfico do determinante da matriz jacobiana

```

%-----
if GRAFICO_JACO == 'S'
    figure('Name','Determinante da Matriz Jacobiana')% título na moldura
    plot(q*180/pi,detJ,...
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
    ylabel('Det J(q)') % rótulo do eixo y
    title('Determinante da Matriz Jacobiana') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
end
%-----

```

Gráficos da posição dos pontos de interesse

```

%-----
if GRAFICO_PONTO_DE_INTERESSE == 'S'

```

```

    figure('Name','Análise dos Pontos de Interesse')% título na moldura
    plot(Xp2,Yp2,Xp3,Yp3,...
        'LineWidth',2) % espessura da linha
    grid on % linhas de grade
    xlabel('X (m)') % rótulo do eixo x
    ylabel('Y (m)') % rótulo do eixo y
    title('Posição') % título do gráfico
    axis equal
    legend('P2','P3')
%-----

```

Gráficos dos coeficientes de velocidade e de aceleração

```

%-----
figure('Name','Análise do CM da Manivela (P2)')% título na moldura superior
% gráficos geminados
% primeiro gráfico
subplot(2,2,1) % gráfico da esquerda (posição 1)
plot(q*180/pi,Kpx2,...
    'LineWidth',2) % espessura da linha
grid on % linhas de grade
xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
ylabel('Kpx2(q)') % rótulo do eixo y
title('Coeficiente de velocidade Kpx2') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% segundo gráfico
subplot(2,2,2) % gráfico da direita (posição 2)
plot(q*180/pi,Kpy2,...
    'r',... % cor da curva
    'LineWidth',2) % espessura da linha
grid on % insere linhas de grade
xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
ylabel('Kpy2(q) ') % rótulo do eixo y
title('Coeficiente de velocidade Kpy2') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% terceiro gráfico
subplot(2,2,3) % gráfico da esquerda (posição 1)
plot(q*180/pi,Lpx2,...
    'LineWidth',2) % espessura da linha
grid on % linhas de grade
xlabel('q (^o)') % rótulo do eixo x
ylabel('Lpx2(q) ') % rótulo do eixo y

```

```

title('Deriada do coeficiente de velocidade Lpx2')          % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% quarto gráfico
subplot(2,2,4)          % gráfico da direita (posição 2)
plot(q*180/pi,Lpy2,...
      'r',...           % cor da curva
      'LineWidth',2)    % espessura da linha
grid on                % linhas de grade
xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
ylabel('Lpy2(q) ')     % rótulo do eixo y
title('Derivada do coeficiente de velocidade Lpy2') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
%-----
figure('Name','Análise do CM da Biela (P3)')% título na moldura superior
% gráficos geminados
% primeiro gráfico
subplot(2,2,1)          % gráfico da esquerda (posição 1)
plot(q*180/pi,Kpx3,...
      'LineWidth',2)    % espessura da linha
grid on                % linhas de grade
xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
ylabel('Kpx3(q)')      % rótulo do eixo y
title('Coeficiente de velocidade Kpx3')          % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% segundo gráfico
subplot(2,2,2)          % gráfico da direita (posição 2)
plot(q*180/pi,Kpy3,...
      'r',...           % cor da curva
      'LineWidth',2)    % espessura da linha
grid on                % insere linhas de grade
xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
ylabel('Kpy3(q) ')     % rótulo do eixo y
title('Coeficiente de velocidade Kpy3') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% terceiro gráfico
subplot(2,2,3)          % gráfico da esquerda (posição 1)
plot(q*180/pi,Lpx3,...
      'LineWidth',2)    % espessura da linha
grid on                % linhas de grade
xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
ylabel('Lpx3(q) ')     % rótulo do eixo y
title('Deriada do coeficiente de velocidade Lpx3') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
% quarto gráfico
subplot(2,2,4)          % gráfico da direita (posição 2)
plot(q*180/pi,Lpy3,...
      'r',...           % cor da curva
      'LineWidth',2)    % espessura da linha
grid on                % linhas de grade
xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
ylabel('Lpy3(q) ')     % rótulo do eixo y
title('Derivada do coeficiente de velocidade Lpy3') % título do gráfico
xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])

```

```
end
```

```
%-----
```

Gráfico da força na mola

```

%-----
if GRAFICO_FORCA_MOLA == 'S'
    figure('Name','PTV')% título na moldura
    plot(q*180/pi,Fmola,...
          'LineWidth',2)    % espessura da linha
    grid on                % linhas de grade
    xlabel('q (^o)')       % rótulo do eixo x
    ylabel('F_{mola} (N)') % rótulo do eixo y
    title('Força na Mola') % título do gráfico
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])
end
%-----

```

Gráfico do momento equilibrante

```
%-----  
if GRAFICO_MOMENTO_EQUILIBRANTE == 'S'  
    figure('Name','Momento equilibrante')% título na moldura  
    plot(q*180/pi,Tmola,q*180/pi,Tforca,q*180/pi,Tpeso,q*180/pi,T,'LineWidth',2)  
    grid on % linhas de grade  
    xlabel('q (°)') % rótulo do eixo x  
    ylabel('T (N.m)') % rótulo do eixo y  
    title('Momento Equilibrante') % título do gráfico  
    xlim([qmin*180/pi qmax*180/pi])  
    legend('mola','força','peso','total')  
end  
%-----  
% FIM  
%-----
```

