

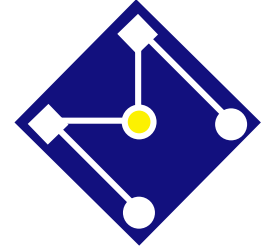
A stylized blue robot character is positioned on the left side of the slide. It has a rounded head with a dark visor, a body with a circular chest, and articulated arms and legs with spherical joints.

PMR 3302

Sistemas Dinâmicos I

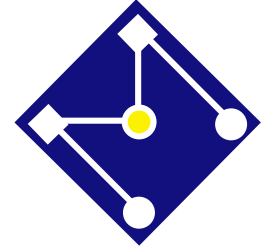
AULA 04: PROJETO DO SEMESTRE

Larissa Driemeier
driemeie@usp.br



NOSSA AGENDA

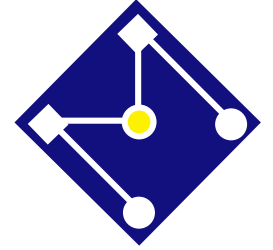
| # | Data | Tópico |
|---|-------|---|
| 1 | 21/02 | Introdução ao modelamento e uso do software |
| 2 | 06/03 | Introdução à programação em MatLab |
| 3 | 20/03 | Resolução de Equações Diferenciais - Sistemas Lineares e Não Lineares |
| 4 | 03/04 | Transformada de Laplace e Funções de Transferência |
| 5 | 24/04 | Projeto |
| 6 | 15/05 | Diagrama de Blocos e Simulink |
| 7 | 29/05 | Análise de Sistemas de Primeira Ordem |
| 8 | 19/06 | Análise de Sistemas de Segunda Ordem |



- **Você precisa do Octave ou do MatLab para fazer essa aula** (<https://www.gnu.org/software/octave/download.html>)

Listas de exercícios, mudança da programação, comunicados gerais serão por meio do e-disciplinas.

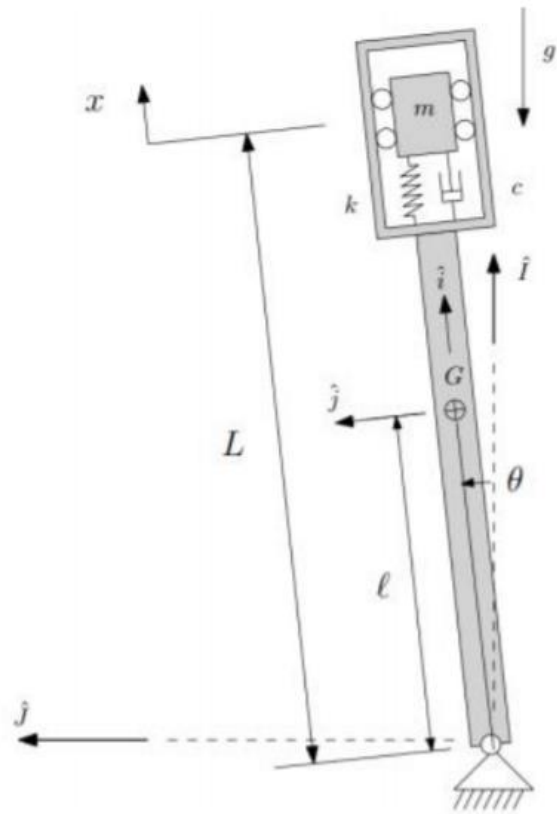
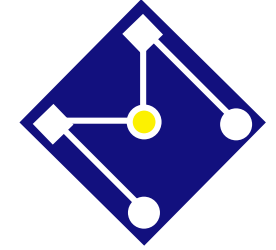
Por favor, verifique regularmente o site.



NOSSO PROJETO SERÁ ESPECIAL ESSE ANO...

- Você deve poder fazer a parte experimental em casa;
- Softwares livres serão utilizados;

ESTUDO DE CASO



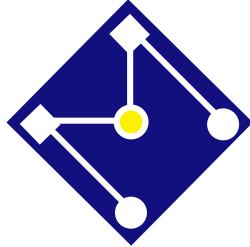
$$\ddot{\theta} = \frac{[Ml + m(L + x)]g \cdot \sin\theta - 2m(L + x)\dot{x}\dot{\theta}}{[Ml^2 + I + M(L + x)^2]}$$

$$\ddot{x} = \frac{[m(L + x)\dot{\theta}^2 - c\dot{x} - kx - mg \cdot \cos\theta]}{m}$$



Descrever procedimento e partes

TRACKER: run demo



Tracker

Arquivo Editar Vídeo Trajetórias Coordenadas Janela Ajuda

memória em uso: 39MB de 247MB

massa A m 1,000 kg

Diagrama massa A Sincronizar

massa A (t, x)

massa A (t, y)

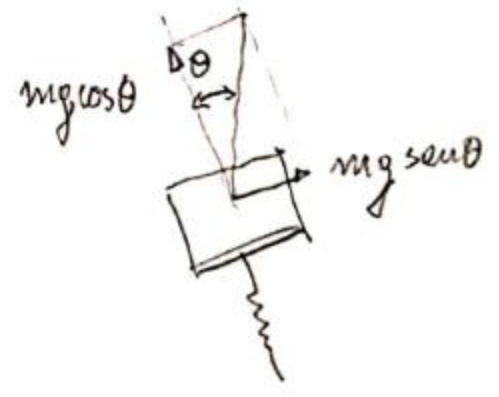
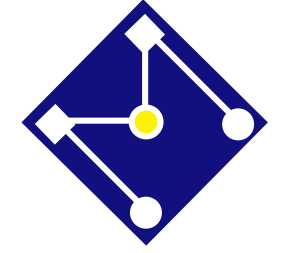
Dados massa A Gaps

| t (s) | x (m) | y (m) |
|-------|-------|--------|
| 1,003 | 47,15 | -41,29 |
| 1,020 | 50,08 | -41,29 |
| 1,037 | 50,08 | -41,28 |
| 1,053 | 50,18 | -41,32 |
| 1,070 | 50,35 | -41,45 |
| 1,087 | 50,35 | -41,46 |
| 1,103 | 50,30 | -41,58 |
| 1,120 | 50,19 | -41,55 |
| 1,137 | 50,13 | -41,43 |
| 1,153 | 50,13 | -41,39 |
| 1,170 | 50,12 | -41,34 |
| 1,187 | 50,17 | -41,32 |
| 1,203 | 50,15 | -41,29 |
| 1,220 | 50,06 | -41,28 |
| 1,237 | 50,04 | -41,20 |

661 100%

haste mola.trk

massa A selecionado (definir massa na barra de ferramentas, shift+clique para marcar as posições)



$$x = -\frac{mg \cos \theta}{k}$$

$$\vec{v}_p = \dot{\theta} l \vec{j}$$

$$\vec{v}_b = \dot{\theta} (L+x) \vec{j} + \dot{x} \vec{i}$$

$$T_p = \frac{m v_p^2}{2} + \frac{I \dot{\theta}^2}{2} = \frac{m \dot{\theta}^2 l^2}{2} + \frac{I \dot{\theta}^2}{2} = \frac{m l^2 + I}{2} \dot{\theta}^2$$

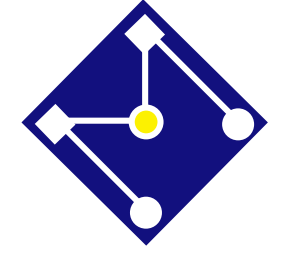
$$T_b = \frac{m v_b^2}{2} = \left[\dot{x}^2 + \dot{\theta}^2 (L+x)^2 \right] \frac{m}{2}$$

$$V_p = mg l \cos \theta$$

$$Q_1 = -c \dot{x} \vec{i} \cdot \frac{\partial x \vec{i}}{\partial \theta} = 0$$

$$V_b = mg (L+x) \cos \theta + \frac{k x^2}{2}$$

$$Q_2 = -c \dot{x} \vec{i} \cdot \frac{\partial x \vec{i}}{\partial x} = -c \dot{x}$$



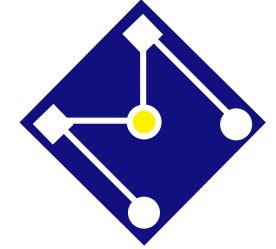
$$\rightarrow \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{\theta}} (T-V) - \frac{\partial}{\partial \theta} (T-V) = Q_1$$

$$[ml^2 + I + (L+x)^2 m] \ddot{\theta} + 2m\dot{x}\dot{\theta} - mgl \sin \theta - mg(L+x) \sin \theta = 0$$

$$\rightarrow \frac{d}{dt} \frac{\partial}{\partial \dot{x}} (T-V) - \frac{\partial}{\partial x} (T-V) = Q_2$$

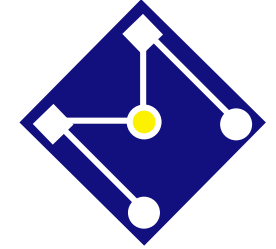
$$m\ddot{x} - \dot{\theta}^2 (L+x)m + mg \cos \theta + kx = -c\dot{x}$$

SOLUÇÃO VIA EULER



```
for n=1:length(t)-1
    In= ((M*L+m*(L+x(n))) *g*sin(th(n)) -
2*m*(L+x(n))*xd(n)*thd(n)) / (M*L^2+l+m*(L+x(n))^2);
    IIn=(m*(L+x(n))*thd(n)^2-c*xd(n)-k*x(n)-m*g*cos(th(n)))/m
    thd(n+1)=thd(n)+dt*In;
    xd(n+1)=xd(n)+dt*IIn;
    x(n+1)=xd(n)*dt+x(n);
    th(n+1)=thd(n)*dt+th(n);
end
```

PROJETO DO SEMESTRE: individual ou em duplas



1. Faça um arranjo experimental **similar** ao do problema analisado e ilustrado ao lado
 - Defina [meça] os parâmetros do problema
 - Parâmetros de difícil medição podem ser estimados e depois ajustados
2. Execute o experimento, registrando-o com seu celular e/ou outros instrumentos
3. Analise as imagens em software apropriado, eg TRACKER
4. Plote os resultados do movimento observado
5. Faça diferentes tentativas para experimentar as condições de contorno e iniciais do problema
6. Modele o problema e obtenha a[s] equação[ões] de movimento que descreve[m] seu sistema
7. Reduza estas equações usando variáveis de estado
8. Resolva estas equações usando ODE45 do Octave ou MatLab
9. Plote os resultados e compare com os experimentais
10. Faça um ajuste de parâmetros de modo a obter uma boa concordância entre os resultados experimentais e o do seu modelo
11. Apresente um relatório e vídeos [no e-disciplinas e em pdf] descrevendo o seu experimento, sua modelagem, sua solução e seus procedimentos de correlação, incluindo figuras, gráficos e uma discussão apropriada
 - Dia 24 de abril: entrega do filme do experimento e de um desenho esquemático
 - Dia 3 de maio > entrega final

