



**3º Exercício de Modelagem e Simulação Computacional – EMSC #3
 PME 2200 – MECÂNICA B – 25 de maio de 2009**

O sistema mostrado na Figura 1 representa uma simplificação de um veículo e seu sistema de suspensão. Nesta simplificação, o sistema é composto por um sólido retangular de massa M e por duas massas concentradas m_1 e m_2 . O ponto P indica o local onde o condutor do veículo está posicionado. O sólido retangular está apoiado sobre dois conjuntos mola-amortecedor, cada um dos quais com valores próprios de rigidez da mola k e da constante c do amortecedor viscoso linear. As duas molas têm comprimento l_0 quando a deformação é nula. No instante mostrado na Figura 1, o conjunto move-se sobre uma superfície horizontal, com velocidade constante $\vec{V} = V\vec{i}$.

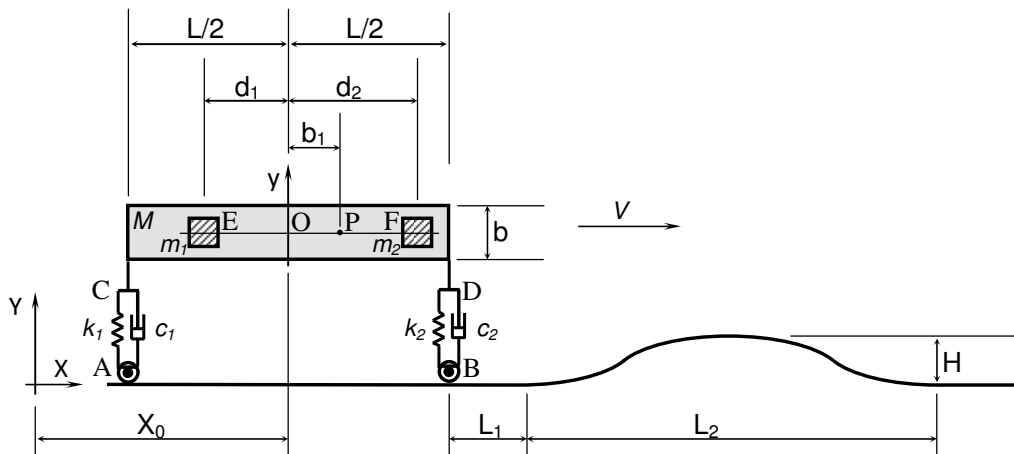


Figura 1: Simplificação de veículo e seu sistema de suspensão. Situação inicial.

Após percorrer uma distância L_1 , o veículo tem de suplantarm um obstáculo em sua trajetória, como indicado na Figura 2. Durante a passagem pelo obstáculo, a velocidade horizontal do ponto O permanece constante $\vec{V} = V\vec{i}$. O pavimento tem altura definida por:

$$h = \left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ se } X \leq L_1 + L/2 \\ \frac{H}{2} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi}{L_2} X \right) \right) \text{ se } L_1 + L/2 < X < L_1 + L_2 + L/2 \\ 0 \text{ se } X \geq L_1 + L_2 + L/2 \end{array} \right\}$$

Sabendo que o ponto O do veículo percorre uma distância $L_1 + L_2 + 10L$, realizar as seguintes atividades:

- Calcular a energia cinética do sistema usando α e Y_O como coordenadas generalizadas.
- Calcular a energia potencial do sistema usando α e Y_O como coordenadas generalizadas.
- Determinar as forças generalizadas associadas às coordenadas α e Y_O .
- Determinar as equações do movimento para as coordenadas α e Y_O , usando o método de Lagrange.



- e) Dados $X_0 = 0$; $L = 5$ m; $L_1 = 90$ m; $L_2 = 3,7$ m; $H = 0,1$ m; $b = 0,1$ m; $b_1 = 0,7$ m; $M = 400$ kg; $V = 18$ m/s e $g = 9,8$ m/s²; implemente as equações do item d) em ambiente de simulação numérica e realize a simulação dos movimentos*. Sugere-se utilizar 0,001 s como intervalo de integração. Considere $m_1 = m_2 = 120$ kg; $d_1 = d_2 = 2,5$ m; $k_1 = k_2 = 30.000$ N/m; $c_1 = c_2 = 2.100$ Ns/m; $Y_O(0) = l_0 = 0,3$ m e $\alpha(0) = 0$. Para verificar se as equações foram deduzidas corretamente, a Figura 3 apresenta os gráficos de $\alpha = \alpha(t)$ e $Y_O = Y_O(t)$ para esta condição. Observe que o gráfico permite identificar dois instantes distintos do movimento, um deles, inicial, associado à estabilização de Y_O em um valor de equilíbrio e outro associado à passagem do veículo pelo obstáculo.

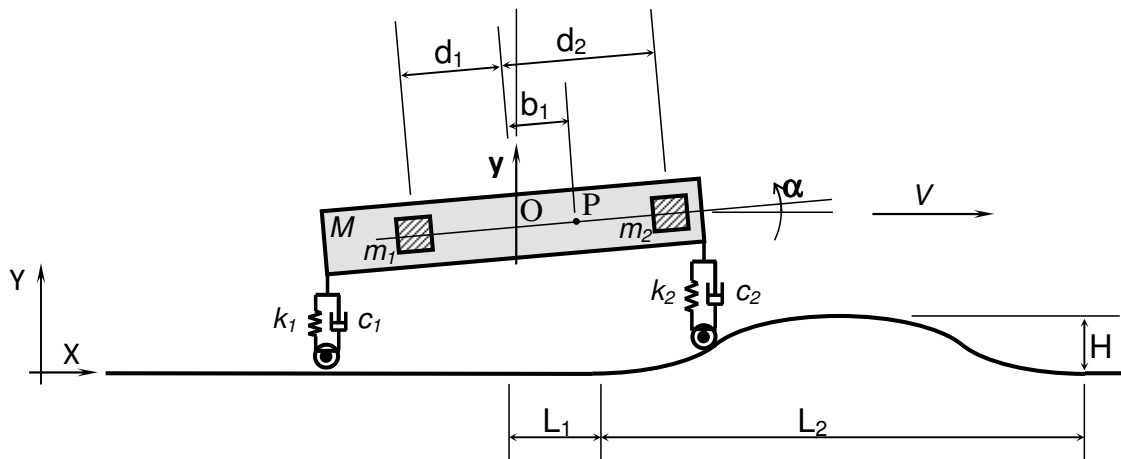


Figura 2: Simplificação de veículo e seu sistema de suspensão. Comportamento quando o veículo passa por obstáculo em sua trajetória.

- f) Para as condições em e), analise o que ocorre com o deslocamento vertical do ponto P ao longo do movimento. Utilize o valor absoluto máximo deste deslocamento, **depois da estabilização inicial de Y_O** , como indicador de desconforto[†] do condutor do veículo.
- g) Estime as frequências naturais não amortecidas do movimento vertical, $Y_O(t)$, e de arfagem, $\alpha(t)$. Para tanto, faça $c_1 = c_2 = 0$, mantendo os demais parâmetros como em e), e obtenha os gráficos de $\alpha = \alpha(t)$ e $Y_O = Y_O(t)$.
- h) Para as condições em g), faça $d_1 = d_2 = 0,5$ m. Analise o que ocorre com as frequências naturais não amortecidas de α e Y_O . Explique o resultado.
- i) Repita a etapa e), alterando os seguintes valores: $k_1 = 20.000$ N/m e $k_2 = 10.000$ N/m. Analise o desconforto do motorista nesta nova condição. Interprete o resultado.
- j) Repita a etapa e), alterando os seguintes valores: $d_1 = 0,5$ m; $d_2 = 2,5$ m; $k_1 = 20.000$ N/m e $k_2 = 10.000$ N/m. Analise o desconforto do motorista nesta nova condição. Interprete o resultado

* Se a simulação numérica for executada usando linhas de comando, a altura do obstáculo pode ser implementada dentro do arquivo que define as equações de movimento, por intermédio de condições IF, THEN, ELSE. Se a simulação for executada com o SCICOS, os condicionais são implementados por intermédio de bloco IF, THEN, ELSE.

† Neste problema o indicador de desconforto foi simplificado, dada a complexidade dos indicadores usados na prática.



- k) Repita a etapa e), alterando os seguintes valores: $d_1 = 0,5$ m; $d_2 = 2,5$ m; $k_1 = 20.000$ N/m; $k_2 = 10.000$ N/m; $c_1 = 1.500$ Ns/m e $c_2 = 1.500$ Ns/m. Analise o desconforto do motorista nesta nova condição. Interprete o resultado
- l) Com base nas condições em k), analise o efeito que velocidades na faixa entre 18 e 48 m/s têm sobre o desconforto do motorista.

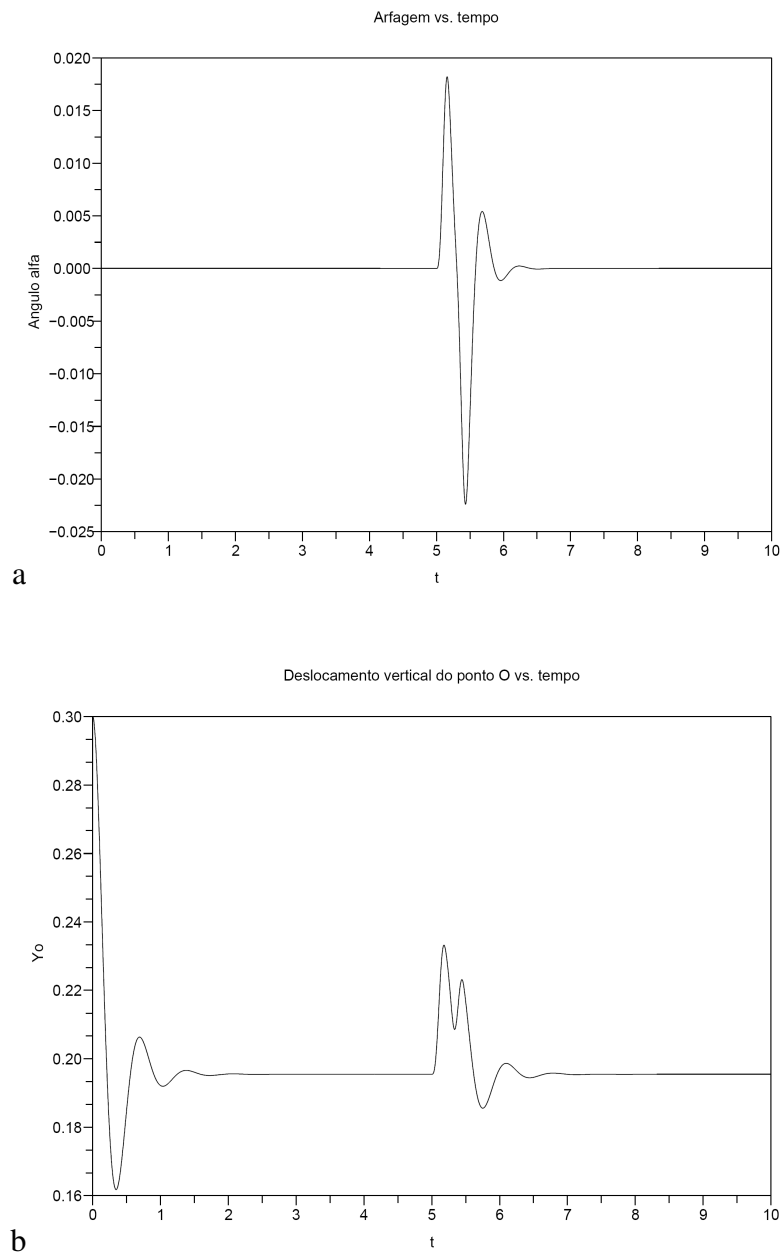


Figura 3: Resultados obtidos adotando-se as condições definidas no item e). A Figura 3a apresenta o gráfico de $\alpha = \alpha(t)$ e a Figura 3b apresenta o gráfico de $Y_O = Y_O(t)$.