

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SUSPENSÃO ATIVA EM TERRENOS ACIDENTADOS

**Aline Elly Treml e Carlos H. F. dos Santos**

UNIOESTE, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Curso de Engenharia Mecânica  
Grupo de Pesquisas em Robótica (GPR), Centro de Engenharia e Ciências Exatas- Parque Tecnológico Itaipu (PTI) -  
CEP 85856-970 – Foz do Iguaçu – Paraná  
E-mail para correspondência: aline\_elly@hotmail.com, chf.santos@uol.com.br

### Introdução

A pesquisa em robótica móvel está em plena difusão devido a sua ampla aplicabilidade em diversos campos de atuação, tais como: exploração planetária, operação em estruturas colapsadas e inspeção de áreas radioativas. Estas pesquisas têm o intuito de realizar tarefas evitando o risco de expor operadores humanos. Uma das pesquisas deste campo da robótica consiste no desenvolvimento de suspensões ativas aplicadas a veículos, tripulados ou não, que operam em terrenos acidentados (Lin, 1995). A irregularidade do terreno, a qual é freqüentemente desconhecida, provoca uma súbita mudança de estado do veículo robotizado em relação ao solo, podendo levar ao tombamento deste ou a perda de tração de alguma das rodas, o que pode ocasionar no fracasso da missão, caso este veículo seja não tripulado e esteja operando em local isolado.

Uma das soluções encontradas foi à utilização de uma suspensão ativa, capaz de controlar os distúrbios sofridos através de um sistema mecânico, composto de amortecedores, molas e um atuador hidráulico.

### Objetivos

Modelar matematicamente e simular os casos de uma suspensão convencional e uma suspensão ativa de um veículo robotizado. As respostas transitórias destes casos são comparadas, onde destaca-se que a suspensão ativa considera o modelo linearizado do atuador hidráulico obtido em (Paim, 1997). Estas respostas permitirão observar a necessidade da aplicação de compensadores com o intuito de reduzir o sobresinal e atenuar as oscilações. Os resultados obtidos neste trabalho permitirão uma posterior análise detalhada do modelo não-linear sistema. Com estas etapas concluídas será feita uma comparação com os resultados já obtidos por pesquisadores nesta mesma área.

### Metodologia

Um sistema de suspensão automotiva convencional, ilustrado na Fig. 1, é composto pela combinação de molas e amortecedores (Ogata, 2003), neste caso composto de duas molas com rigidez  $K_a$  e  $K_t$  e com coeficiente de amortecimento  $C_a$ . O modelo matemático deste sistema é representado pelos quatro primeiros equacionamentos da Eq. 1, ignorando o distúrbio  $r$  e a variável  $x_5$ . Pode-se considerar que é um sistema auto-regulável pois entra em regime permanente mesmo sem a presença de um controlador.

No caso da suspensão ativa, ou seja, com a presença de um atuador hidráulico, Fig. 2, os distúrbios sofridos são rapidamente corrigidos, tendo uma melhor estabilidade devido à baixa porcentagem de sobresinal e um menor tempo de acomodação. O modelo matemático deste é representado pela Eq. 1.

### Equações

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = x_2 \\ x_2' = -\frac{1}{M_b}(K_a(x_1 - x_3) + C_a(x_2 - x_4) - A * x_5) \\ x_3 = x_4 \\ x_4' = -\frac{1}{M_{uz}}(K_a(x_1 - x_3) + C_a(x_2 - x_4) - K_t(x_3 - r) - A * x_5) \\ x_5' = -\beta * x_5 - \alpha * A * (x_2 - x_4) + \gamma * x_6 * \sqrt{P_s} - K_c * x_5 \\ x_6' = -\frac{1}{T}(-x_6 + u) \\ r = \begin{cases} \alpha * (1 - \cos * \pi * t) & \text{se } 0,5 \leq t \leq 0,75 \\ 0 & \text{outros} \end{cases} \end{array} \right. \quad (1)$$

## Figuras

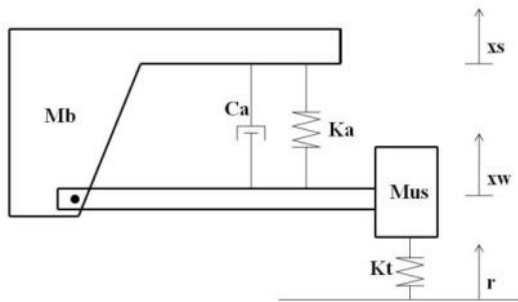


Figura 1 – Suspensão Convencional

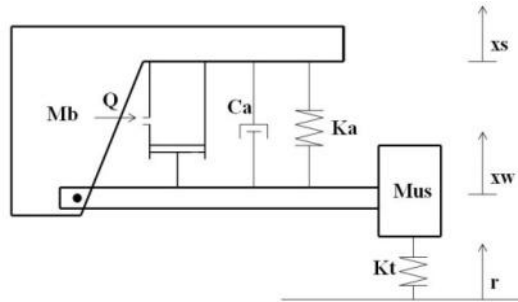


Figura 2 – Suspensão Ativa

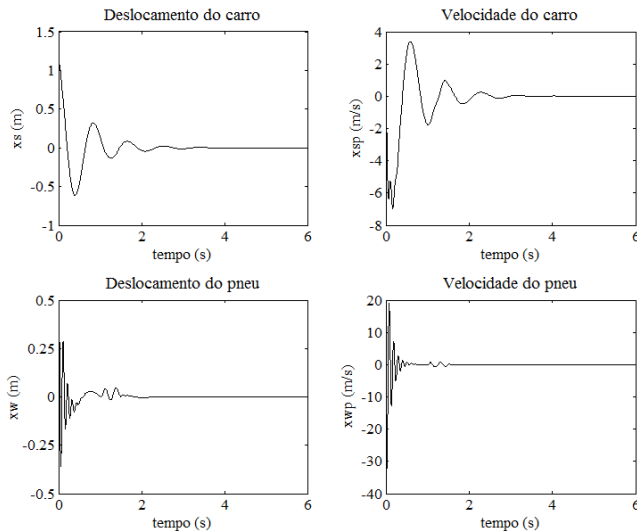


Figura 3 – Simulação de Suspensão Convencional

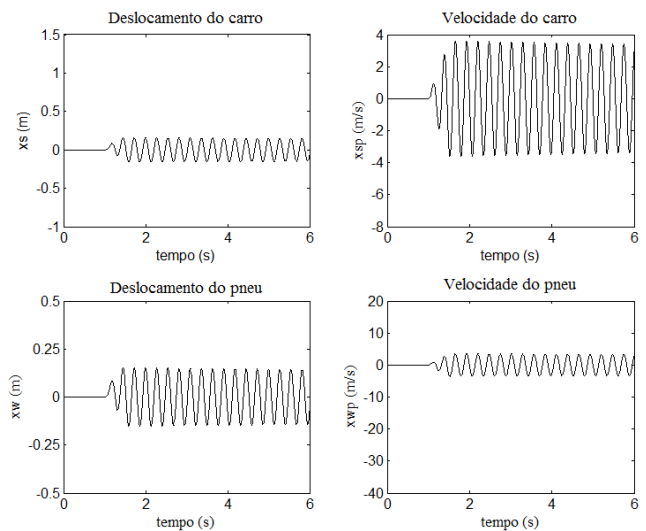


Figura 4 – Simulação de Suspensão Ativa

## Resultados

Com a simulação da suspensão convencional obteve-se as respostas ilustradas na Fig. 3, e as respostas da suspensão ativa com um atuador hidráulico linearizado estão demonstradas na Fig. 4. Estas simulações exibem a necessidade da utilização de compensadores, com o objetivo de reduzir os efeitos de terrenos irregulares. Uma análise detalhada é exposta na seção seguinte.

## Conclusão

A resposta transitória do caso com suspensão convencional mostra que o sistema é auto-regulável (estável), porém, um regulador pode usado para diminuir o sobressinal e do tempo de assentamento. Por outro lado, o caso da suspensão ativa expõe uma característica oscilatória do sistema, a qual pode inclusive tender para uma instabilidade. Neste último caso, o projeto de uma lei de controle associada ao deslocamento da servoválvula do atuador hidráulico é crucial para que o sistema obtenha um desempenho aceitável.

## Agradecimentos

Este projeto foi apoiado pela Fundação Parque Tecnológico Itaipu – FPTI-BR e pela Unioeste Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

## Referências Bibliográficas

- Khalil, H. K., “Nonlinear Systems”, 3ª Ed., Editora Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
- Lin, J.S., Kanellakopoulos, I., “Nonlinear Design of Active Suspensions”, Anais do 34º IEEE Conference on Decision and Control, pp. 3567-3569, New Orleans, LA, 1995.
- Ogata, K., “Engenharia de Controle”, 4ª Ed., Editora Prentice Hall, São Paulo, SP, 2003.
- Paim, C.C., “Técnicas de controle aplicadas a um atuador hidráulico”, Dissertação de Mestrado, USFC- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, pp.17-85, 1997.