# MAXIMIZAÇÃO DA CAPTAÇÃO DE ENERGIA DE UM SISTEMA DINÂMICO COM EXCITAÇÃO PERIÓDICA VIA CONTROLE LINEAR ÓTIMO

**Estevão Fuzaro de Almeida[1], Fábio Roberto Chavarette**

**Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Ilha Solteira, Engenharia Mecânica, estevao.fuzaro@unesp.br[1], Bolsa FAPESP de Iniciação Científica.**

Palavras Chave: *Captação de Energia, Controle Linear Ótimo, Regulador Quadrático Linear (LQR).*

## Introdução

Os captadores de energia baseados em vibração possuem respostas eficientes se a frequência de excitação coincide com a frequência natural do sistema, dando origem a ressonância. A fim de aumentar a eficiência da captação de energia em sistemas vibracionais são propostas: a solução multimodal (Ferreira et al., 2016) que mantém o sistema em ressonância em uma maior faixa de frequência de excitação, favorecendo a captação de energia e uma solução paralela com a utilização de controladores. Em um trabalho recente (Wang e Inman, 2012), a utilização do controle ótimo é promissora para esse tipo de captador.

## Objetivos

Este projeto de pesquisa propõe a aplicação de controle via Regulador Quadrático Linear a um sistema linear de captação de energia com acoplamento piezelétrico submetido à excitação periódica e com parâmetros e condições iniciais instáveis/caóticas. O controle será aplicado a fim de comparar a efetividade na captação de energia elétrica do sistema com e sem controle e mostrar que o controle retira o sistema da instabilidade.

## Materiais e Métodos

A Fig. (1) mostra o modelo do captador de energia.

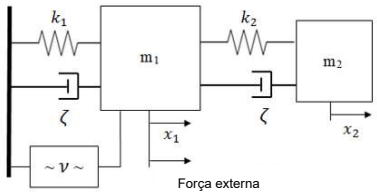



**Figura 1.** Modelo do captador de energia.

O sistema de equações diferenciais, adimensionais pela massa, que representa o sistema é dado por:

$$\ddot{x}_1 + 2\zeta\dot{x}_1 + k_1 x_1 - k_2\left(x_1 - x_2\right) - \chi\nu = f cos\left(\omega t\right)$$

$$\ddot{x}_2 + 2\zeta\dot{x}_2 - k_2\left(x_1 - x_2\right) = 0$$

$$\dot{\nu} + \Lambda\nu + \mathrm{K}\left(\dot{x}_1 - \dot{x}_2\right) = 0$$

## Resultados e Discussões

Simularam-se dois sistemas: um com os parâmetros estáveis e outro com parâmetros instáveis com controle. O único parâmetro alterado foi a taxa de rigidez da Mola 2: com um valor de 0.02 o sistema é estável, com 0.08 o sistema é instável, segundo a análise de estabilidade pelo Segundo Método de Lyapunov. A Tab. (1) apresenta os parâmetros instáveis e as condições iniciais usadas.

**Tabela 1.** Parâmetros instáveis e condições iniciais.

| $\zeta$ | $\chi$ | K | $\Lambda$ | $f$ | $k_1$ | $k_2$ | $\omega$ | $x_1(0)$ | $\dot{x}_1(0)$ | $x_2(0)$ | $\dot{x}_2(0)$ | $\nu(0)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0.1 | 0 | 0 |

A matriz ***Q*** do controle LQR tem como diagonal os valores 5, 10, 5, 5 e 1; o vetor ***B*** é totalmente unitário e o vetor ***R*** é igual a 1. Essas são as matrizes necessárias para se resolver a eq. de Riccati e determinar o vetor de realimentação. A Fig. (2) apresenta os comparativos entre os planos de fase do sistema com e sem controle.

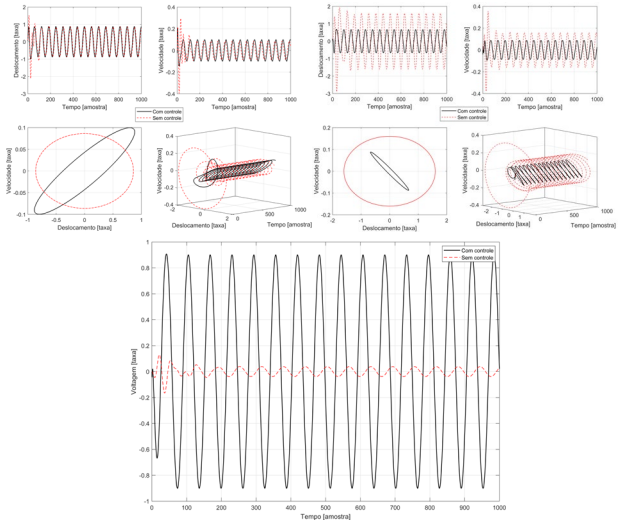


**Figura 2.** Planos de fase com e sem controle.

## Conclusões

O controle ótimo foi fundamental pois, além de controlar um sistema instável/caótico, conseguiu-se melhorar a captação de energia em cerca de 300%.

## Agradecimentos

Agradecemos a FAPESP (Proc. No. 2017/03829-7).

Ferreira, D.C. et. al. "Multimodal energy harvesting efficiency enhancement via linear matrix inequalities control driven", **2016**.
Wang, Y. and Inman, D.J. "A survey of control strategies for simultaneous vibration suppression and energy harvesting via piezoceramics". *J.I.M.S.S.*, **2012**, 23, 18, 2021.