

# Aplicação do método do Filtro de Kalman Estendido (EKF) em um modelo matemático não-linear para um sistema de multicorpos rígidos para identificação de parâmetros em análise estrutural de um aerogerador de três pás

**Fabio F. Real** \*

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO  
20251-020, Rio de Janeiro, RJ  
E-mail: ffreal@inmetro.gov.br

**Thiago G. Ritto**

Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia Mecânica  
21945-970, Rio de Janeiro, RJ  
E-mail: tritto@mecanica.ufrj.br

## RESUMO

Hoje existem propostas e políticas em várias regiões do planeta com metas de adoção de fontes renováveis. Neste contexto, a energia eólica apresenta-se como uma importante fonte em ascensão na geração de energia elétrica, tornando-a cada vez mais competitiva se comparada às fontes convencionais.

Um dos problemas atuais no monitoramento da operação de aerogeradores (turbinas eólicas) é a determinação de parâmetros relacionados à sua estrutura, que se alteram ao longo do tempo. Este trabalho aplica o método do Filtro de Kalman Estendido [2, 5] em um modelo matemático não-linear para multicorpos rígidos [1, 4] para a identificação dos coeficientes de elasticidade e de amortecimento na análise estrutural de um aerogerador de três pás, a partir de dados de campo tratados.

As equações da dinâmica do sistema de multicorpos rígidos são derivadas das seguintes equações [3]:

$$\sum F_{ext} = \dot{G}_T^{\mathfrak{R}} \quad (1)$$

$$\sum M_{ext}^{L_i} = \dot{H}_{B_i/L_i}^{\mathfrak{R}} + (v_{L_i}^{\mathfrak{R}} \times G_{B_i}^{\mathfrak{R}}) \quad (2)$$

onde  $\sum F_{ext}$  é o somatório das forças externas atuantes no sistema,  $\dot{G}_T^{\mathfrak{R}}$  é a quantidade de movimento linear total do sistema,  $\sum M_{ext}^{L_i}$  é a somatória dos momentos com relação ao ponto  $L_i$  de referência do *link* (associação da pá com a cabeça do rotor),  $\dot{H}_{B_i/L_i}^{\mathfrak{R}}$  é a derivada da quantidade de movimento linear da pá em relação ao ponto  $L_i$  de referência do *link*,  $v_{L_i}^{\mathfrak{R}}$  é o vetor velocidade em relação ao ponto  $L_i$  de referência do *link*  $G_{B_i}^{\mathfrak{R}}$  é a quantidade de movimento linear referente à cada pá.

A partir das equações (1) e (2) chega-se a um sistema de equações não-lineares acopladas, onde são desconhecidos os ângulos de deslocamento de cada pá em relação ao sistema fixo de referência e os deslocamentos relativos a dois eixos perpendiculares entre si em relação ao topo da torre.

Foi aplicado o método do Filtro de Kalman Estendido (EKF) para a identificação do coeficiente de elasticidade no sistema de cinco equações não-lineares acopladas a partir de dados experimentais tratados utilizando o *software* MATLAB. Alguns resultados são mostrados na Figura 1, de (a) até (d).

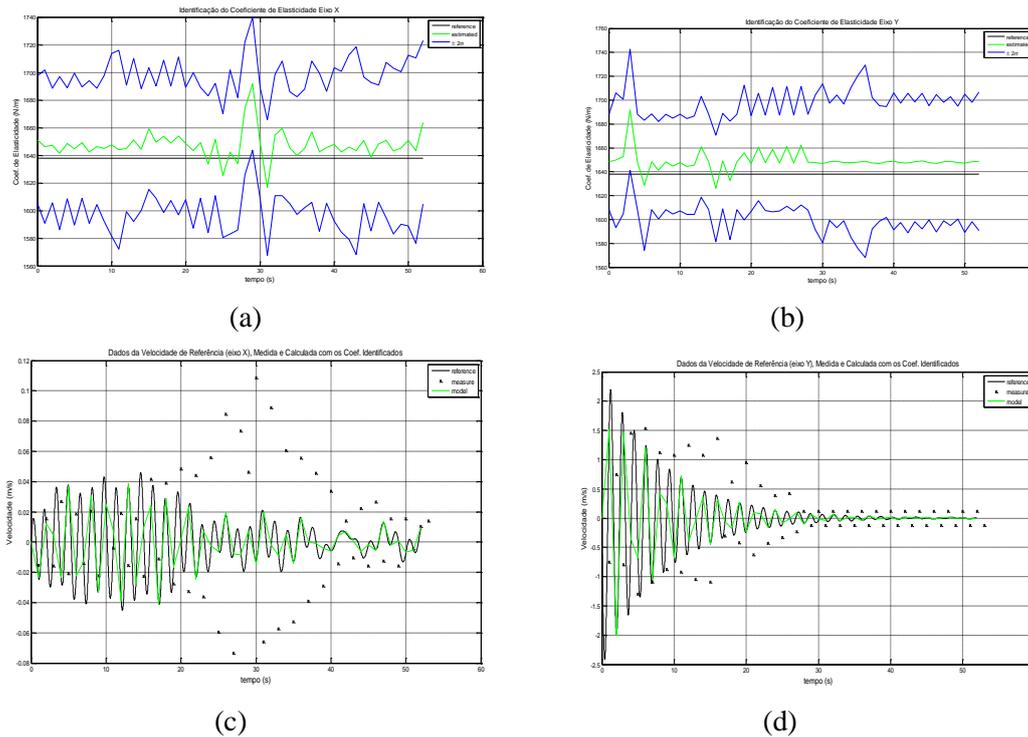


Figura 1: Identificação do coeficiente de elasticidade na direção  $x$  (a) e na direção  $y$  (b), sendo o modelo aplicado com os coeficientes identificados na direção  $x$  (c) e direção  $y$  (d).

Pelas figuras (a) e (b) apresentadas, o método EKF apresentou um bom comportamento para a identificação do coeficiente de elasticidade, uma vez que os valores identificados ficaram próximos ao valor de referência com um desvio padrão aceitável ( $2\sigma$ ). As figuras (c) e (d) mostram que os coeficientes identificados aplicados no modelo matemático não-linear mencionado (linha verde – *model*) acompanha satisfatoriamente a curva de referência (linha preta – *reference*), com um custo computacional baixo (30 segundos). Com isso é possível aplicar esta metodologia no monitoramento *on-line* desses coeficientes, já que estes se alteram ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** *aerogerador, modelo multicorpos, Filtro de Kalman Estendido*

## Referências

- [1] C. S. ROBINSON, “Modeling and analysis of helicopter ground resonance utilizing symbolic processing and dynamic simulation software”, Ph.D, thesis, Naval Postgraduate School, 1997.
- [2] B. RISTIC, S. ARULAMPALAM, N. GORDON, “Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications”, Artech House Radar Library, Boston, 2004.
- [3] F. F. Gonzaga, “Modelos computacionais para análise da vibração acoplada rotor-pás com aplicação em turbinas eólicas e ressonância de solo de helicópteros”, Projeto de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
- [4] I. F.Santos, C. M. Saracho, J. T. Smith, Contribution to experimental validation of linear and non-linear dynamic models for representing rotor-blade parametric coupled vibrations, *Journal of sound and vibration*, 271(3-5), pp. 883-904, 2004.
- [5] J. KAIPIO, E. SOMERSALO, “Statistical and Computational Inverse Problems”, 1<sup>a</sup> ed., Springer Science+Business Media Inc, Nova Iorque, 2005.