

**DINCON 2017**CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES
30 de outubro a 01 de novembro de 2017 – São José do Rio Preto/SP

Identificação de Parâmetros de um Sistema Mecânico através de Técnicas Heurísticas de Otimização

Daniel Almeida Colombo¹Erik Taketa²Joana Pereira Repinaldo³Edson Hideki Koroishi⁴Fabian Andres Lara Molina⁵

Departamento de Engenharia Mecânica, UTFPR, Cornélio Procopio, PR

Resumo. Este trabalho tem como objetivo identificar os parâmetros de rigidez e amortecimento de uma estrutura massa-mola-amortecedor através de problema inverso. Para tanto foi necessário utilizar técnicas de otimização visando minimizar a diferença entre as respostas numérica e experimental, sendo a função objetivo. Nesta etapa, foram definidas as variáveis de projeto (parâmetros de rigidez e amortecimento) assim como os intervalos de projeto. Os métodos de otimização utilizados foram o Algoritmo Genético e a Evolução Diferencial. Os resultados obtidos demonstraram a validade da metodologia proposta.

Palavras-chave. Identificação de parâmetros, Algoritmo Genético, Evolução Diferencial.

1 Introdução

Desde a antiguidade representar um sistema real através de um modelo matemático sempre foi um desafio. Apesar dos avanços tecnológicos e desenvolvimento de novas técnicas de modelagem, o desafio de obter um modelo matemático idêntico ao sistema real parece inalterado, porém a cada dia que se passa com o avanço tecnológico e desenvolvimento de

¹ danielcolombo@alunos.utfpr.edu.br

² eriktaketa@alunos.utfpr.edu.br

³ joanarepinaldo@hotmail.com

⁴ edsonh@utfpr.edu.br

⁵ fabianmolina@utfpr.edu.br

novas técnicas de obtenção do modelo, os modelos estão mais representativos ao sistema real [1].

Com a crescente necessidade de desenvolver formas de obter a dinâmica do sistema com maior precisão e o aumento da complexidade dos sistemas, um método desenvolvido para solucionar esses problemas utiliza os dados adquiridos do sistema real. Esse método também conhecido como solução através do problema inverso, utiliza os dados conhecidos de entrada e saída do sistema real. Uma vez conhecida a equação que rege o comportamento dinâmico do sistema, os parâmetros não conhecidos podem ser identificados através de métodos heurísticos de otimização. Diante disso o presente trabalho utiliza duas técnicas de otimização, sendo elas, o Algoritmo Genético e a Evolução Diferencial, para a identificação dos parâmetros de amortecimento e rigidez de uma estrutura massa-mola-amortecedor de um grau de liberdade.

2 Técnicas Heurísticas de Otimização

A otimização visa determinar a melhor configuração para um sistema sem ter que testar todas as possibilidades; assim, otimizar é melhorar o que já existe, aumentando a eficiência de seu desempenho e diminuindo os custos de projeto e operação [4]. Não existe nenhum algoritmo de otimização que possa ser aplicado eficientemente a todas as classes de problemas. O método escolhido para um caso particular é fortemente dependente da natureza da função objetivo, das restrições e do número de variáveis dependentes e independentes [4], [5].

Os métodos heurísticos de otimização têm recebido especial atenção nas últimas décadas. Tais métodos são baseados nos princípios e modelos de evolução biológica, e se destacam principalmente pela sua simplicidade conceitual e versatilidade na resolução de problemas realísticos; além disso, o desenvolvimento de modelos computacionais, baseado em mecanismos evolutivos, caracteriza-se pela configuração de algoritmos de otimização robustos [7].

2.1 Evolução Diferencial

O método de Evolução Diferencial foi proposto pela primeira vez em 1995 por Price e Storn, o qual consiste em uma técnica de otimização que utiliza conceitos evolutivos para buscar o ponto ótimo [3]. O fato do método da Evolução Diferencial utilizar vetores para a obtenção de novos potenciais candidatos a resolver o problema proporciona ao método algumas vantagens como: facilidade de uso, estrutura simples, velocidade, robustez e capacidade de escapar de ótimos locais [2]. Para gerar uma nova população são utilizados operadores específicos de cruzamento, mutação e seleção para obter os melhores candidatos.

No algoritmo de ED o procedimento de otimização é regido pelas seguintes etapas [4]:

1. Geração de uma população inicial com soluções factíveis para o problema em questão, onde garante-se por "*regras de reparo*" que os valores atribuídos às variáveis estão dentro das fronteiras delimitadas pelo projetista;
2. Seleção de um indivíduo, de forma aleatória, para ser substituído. Três diferentes indivíduos são selecionados como genitores (pais), sendo que um destes é selecionado como genitor principal;
3. Modificação de cada variável do genitor principal, conforme uma certa probabilidade;

4. Adição no valor atual da variável (genitor principal) a diferença entre duas outras variáveis (genitores secundários) ponderada por uma taxa de perturbação F . Este procedimento representa o operador de cruzamento na ED;
5. Verificação se o vetor resultante apresenta uma função de adaptação melhor que o genitor principal, ele o substitui; caso contrário, esse vetor é mantido na população.

2.2 Algoritmo Genético

Esta técnica foi apresentada primeiramente por Holland em 1975 e estendido posteriormente por De Jong e Goldberg. A técnica de busca no método de AGs mostra-se bastante eficiente ao aplicar leis da genética para explorar o espaço de busca de diversos tipos de problemas, aplicados com sucesso em problemas científicos e de engenharia [9]. Isto se deve ao fato de que o método de AGs é um método de busca não determinística e não requer solução de equações diferenciais; sendo assim, consegue trabalhar com robustez em problemas complexos envolvendo descontinuidades e funções discretas [6].

O Algoritmo Genético, assim como o método de Evolução Diferencial, opera com operadores biológicos, a saber, o cruzamento, recombinação e mutação, que têm a responsabilidade de gerar indivíduos cada vez mais aptos [4].

O funcionamento do AG pode ser descrito nas seguintes etapas [8]:

1. Inicialização
 - 1.1. Entrada dos parâmetros iniciais
 - 1.2. Criação da população inicial
 - 1.3. Geração = 1
2. Enquanto a população máxima for atingida
 - 2.1. Selecionar os indivíduos mais aptos
 - 2.2. Aplicar o operador de cruzamento
 - 2.3. Aplicar o operador de mutação
3. Atualização da geração existente
4. Avaliação da função
5. Geração = Geração + 1 até a convergência estipulada previamente ser alcançada.

3 Métodos

O sistema massa-mola-amortecedor estudado é apresentado pela Figura 1. A equação de movimento do sistema é:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) \quad (1)$$

De acordo com a Equação 1, a rigidez (k) e o amortecimento (c) são os parâmetros que necessitam ser identificados. A massa da placa é $1,5962 \text{ kg}$.

O primeiro passo para a realização do presente estudo foi obter a Função Resposta em Frequência (FRF), a qual foi obtida experimentalmente, no qual os sinais de vibração de saída no domínio do tempo foram medidos usando-se acelerômetro do fabricante PCB

Piezotronics®. A força de excitação foi aplicada por meio de do martelo de impacto da PCB Piezotronics®. Para aquisição dos dados de entrada e saída, utilizou-se aplaca modelo Data Physics Quattro®, na interface do software SignalCalc ACE no qual o sinal medido é convertido em gráficos de fácil visualização e configuração.

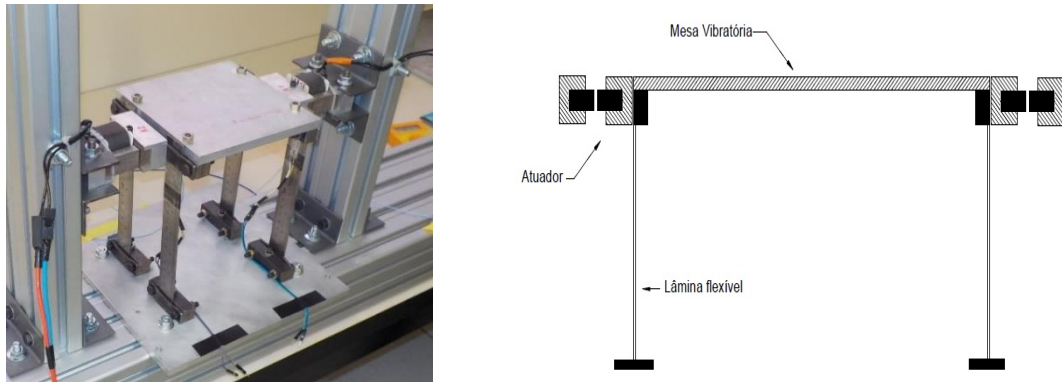


Figura 1: Sistema mecânico e modelo esquemático.

A Figura 2 apresenta a entrada impulsiva e a Figura 3 apresenta as respostas no domínio do tempo e da frequência.

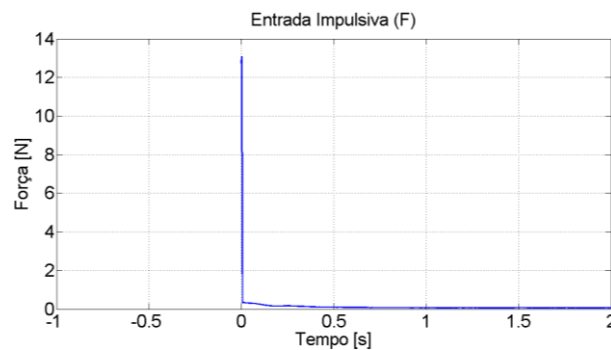


Figura 2: Entrada Impulsiva.

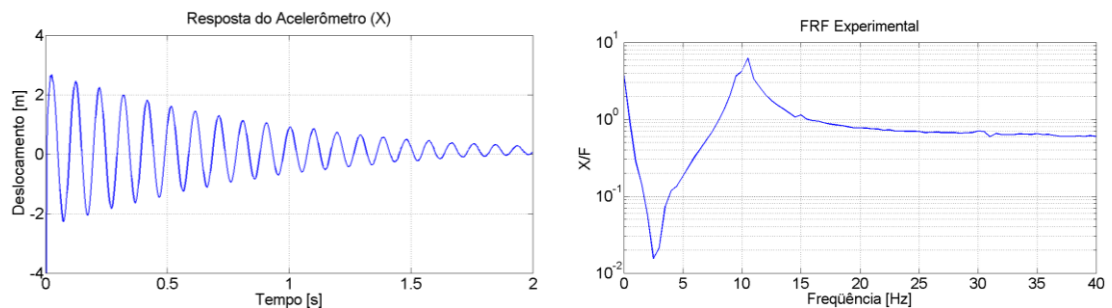


Figura 3: Deslocamento e FRF experimentais.

A FRF foi então utilizada no processo de identificação dos parâmetros de rigidez (k) e amortecimento (c) por meio dos algoritmos de otimização de ED e AG. A Tabela 1 apresenta o espaço de projeto utilizado nos processos de otimização.

Tabela 1: Espaço de Projeto utilizado.

Parâmetros	Espaço de Projeto
Rigidez (k)	$4000 \leq k \leq 9000$ [N/m]
Amortecimento (c)	$1 \leq c \leq 30$ [N.s/m]

A função objetivo é apresentada pela Equação 2:

$$F.O = \left| \frac{FRF_{exp} - FRF_{num}}{FRF_{exp}} \right| \quad (2)$$

Os algoritmos de ED e AG foram executados cem vezes para cada população considerada (50, 100, 150, 200 e 250 indivíduos).

4 Resultados e discussões

As Figuras 4 e 5 a seguir apresentam os *boxplots* correspondentes aos resultados obtidos de rigidez e amortecimento através das técnicas de otimização utilizadas.

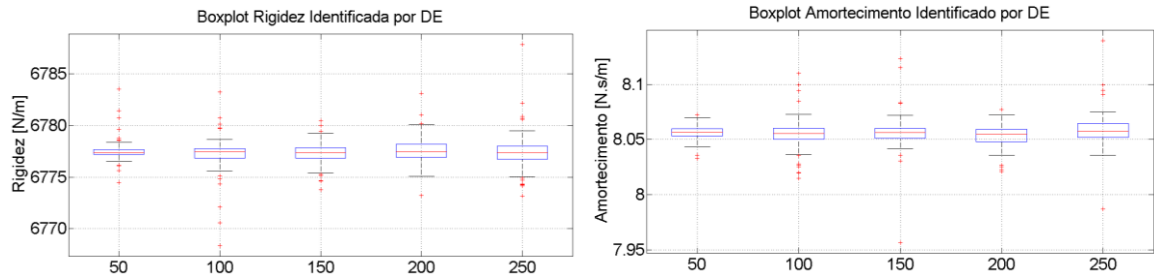


Figura 4: *Boxplots* da rigidez e amortecimento identificados (ED).

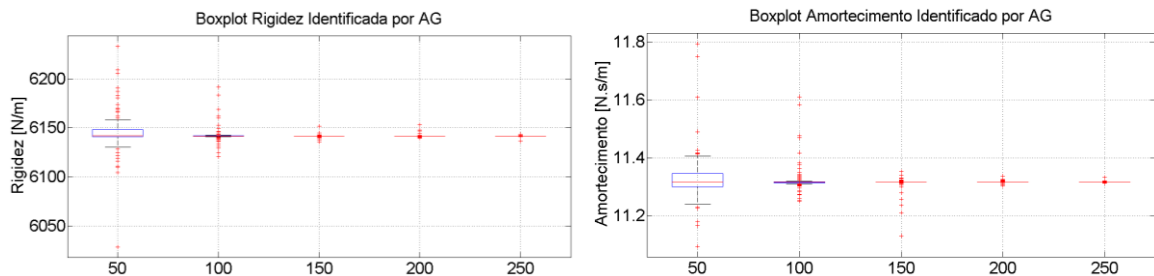


Figura 5: *Boxplots* da rigidez e amortecimento identificados (AG).

Analisando os gráficos apresentados pelas Figuras 4 e 5, observa-se que os valores encontrados apresentaram pequena dispersão, considerando que as otimizações foram executadas 100 vezes para cada população considerada. Observa-se também que a técnica de Algoritmo Genético se mostrou mais sensível ao aumento de indivíduos na população, o que pode ser confirmado pela diminuição progressiva da caixa do *boxplot* com o aumento populacional.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pelas otimizações e os desvios padrão relativos a cada parâmetro otimizado.

Tabela 2: Parâmetros Físicos obtidos pela otimização.

Parâmetros	Algoritmo Genético (AG)	Evolução Diferencial (ED)
Frequência natural (ω_n)	62.0344 [rad/s]	65.1610 [rad/s]
Rigidez (k)	6142.6 [N/m] $\pm$ 0,17%	6777.4 [N/m] $\pm$ 0,02%
Amortecimento (c)	11.3199 [N.s/m] $\pm$ 0,41%	8.0559 [N.s/m] $\pm$ 0,16%

Através da Tabela 2 nota-se que a técnica do AG apresentou um maior desvio padrão tanto para os valores de rigidez como também de amortecimento. Muito embora a variação tenha sido menor para a técnica de ED, tal comportamento não implica que esta seja mais precisa, pois ainda não se pode afirmar que o valor médio identificado para os parâmetros otimizados são os ideais. A Figura 6 apresenta as FRFs experimental e identificadas.

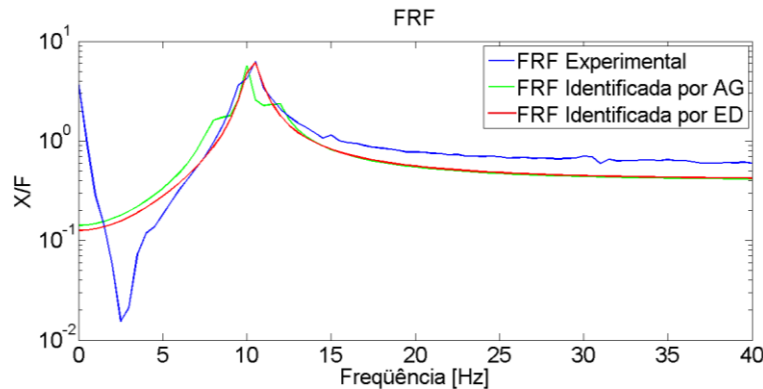


Figura 6: FRF experimental e identificada por AG e ED.

A Figura 6 demonstra que a FRF identificada por ED apresentou melhores resultados, conforme já demonstrado no menor desvio padrão apresentado nos valores de rigidez e amortecimento na Tabela 2.

5 Conclusões

Os resultados apresentados demonstram a eficácia dos métodos para a identificação dos parâmetros, inicialmente, desconhecidos de rigidez e amortecimento. As curvas da FRF experimental e identificada, apresentada pela Figura 6, demonstram a proximidade entre as

curvas, com a Evolução Diferencial resultando em um desempenho melhor em relação ao Algoritmo Genético com base na convergência das curvas e dos valores de desvio padrão apresentados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Referências

- [1] L. A. Aguirre, Introdução à identificação de sistemas—Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais. Editora UFMG, (2004).
- [2] D. O. Silva, L. G. M. Vieira, F. S. Lobato, M. A. S. Barrozo, Optimization of the design and performance of hydrocyclones by Differential Evolution technique, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 61, 1-7, (2012).
- [3] D. Zou, J. Wu, L. Gao, S. Li, A modified differential evolution algorithm for unconstrained optimization problems, Neurocomputing, v. 120, 469-481 (2013).
- [4] F. S. Lobato, Multi-objective optimization for engineering system design. Tese de Doutorado em Engenharia, Universidade Federal de Uberlândia, (2008).
- [5] G. N. Vanderplaats, Numerical optimization techniques for engineering design, Third edition, USA: VR D INC, Colorado Springs, (1999).
- [6] H. Saruhan, Optimum design of rotor-bearing system stability performance comparing an evolutionary algorithm versus a conventional method”, International Journal of Mechanical Sciences, v. 48, 1341-1351, (2006).
- [7] K. Deb, An efficient constraint handling method for genetic algorithms”, Computational Methods Applications Mechanical Engineering, v. 18, 311-318, (2000).
- [8] Q. Long, A constraint handling technique for constrained multi-objective genetic algorithm, Swarm and Evolutionary Computation, (2013).
- [9] Z. Q. Zhang, J. X. Zhou, N. Zhou, X. M. Wang, L. Zhang, Shape optimization using reproducing kernel particle method and an enriched genetic algorithm, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, v 194, 4048-4070, (2005).