

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE SUBESPAÇOS E GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE PARIDADE APLICADOS AO MONITORAMENTO DA INTEGRIDADE DE ESTRUTURAS

Nilson Roberto Inocente-Junior, inocente@fem.unicamp¹
Eurípedes Guilherme de Oliveira Nóbrega, egon@fem.unicamp.br¹

¹Departamento de Mecânica Computacional – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas. Rua Mendeleev, 200. Cidade Universitária ‘Zeferino Vaz’, CEP 13083-970.

Resumo: No contexto do monitoramento da integridade de estruturas, a etapa de detecção de danos é da maior importância no sentido de fornecer um diagnóstico a respeito do estado de dano da estrutura. Neste trabalho é feito um estudo comparativo da técnica de geração e análise de resíduos de paridade, utilizando dois métodos de subespaços diferentes, um que utiliza apenas os sinais de saída do sistema, e outro que utiliza sinais de entrada e saída. É feita uma comparação da precisão e da robustez da identificação dos parâmetros do sistema obtidos por cada um dos métodos e, finalmente, dos resíduos de paridade gerados para medidas feitas em uma placa de alumínio com diferentes estados de dano introduzidos.

Palavras-chave: Monitoramento da Integridade de Estruturas, Métodos de Subespaços, Resíduos de Paridade

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento da integridade de estruturas, do inglês, SHM, é uma área de aplicação multidisciplinar que tem recebido atenção e tem se desenvolvido dentro dos campos da engenharia civil, engenharia de manutenção, entre outros. As diferentes técnicas e procedimentos aplicados em SHM podem ser executados em vários níveis, englobando a detecção, localização e estimação da extensão de danos, além de viabilizar um prognóstico do tempo necessário para uma intervenção sobre a estrutura.

Neste trabalho foca-se a questão da detecção de danos em uma estrutura, que é a primeira questão a ser respondida e cuja resposta é decisiva para o sucesso do procedimento do monitoramento da estrutura como um todo, o que exige que essa etapa seja realizada de modo a fornecer uma resposta robusta e confiável. Entre os métodos aplicáveis à detecção de falhas em estruturas citados pela literatura, podemos citar métodos baseados em vibração, em ondas de Lamb, ultra-som, entre outros (Doebling, 1996).

A metodologia empregada baseia-se em métodos baseados em vibração estacionária, onde modificações na estrutura refletem-se na mudança de seus parâmetros modais (frequências naturais e formas de modo de vibração). A análise sobre a mudança dos parâmetros da estrutura é feita por meio de geração e análise de resíduos de paridade, onde uma matriz de paridade é gerada através dos parâmetros de uma estrutura em estado íntegro (sem danos presentes), e utilizada posteriormente para gerar uma função resíduo, que deve ser nula (ou relativamente próxima de zero) no caso da estrutura estar íntegra ou significativamente distante de zero no caso da estrutura com algum dano presente (Basseville, 2001). Isso serve de base para se inferir o estado atual da estrutura, que pode ser ‘com dano’ ou ‘sem dano’. O procedimento descrito é esquematizado na Figura 1.

Uma etapa anterior à geração do resíduo é a geração da matriz que será utilizada como matriz de teste para a função de paridade. Nos trabalhos atuais, a matriz utilizada é a matriz de Hankel das covariâncias dos sinais medidos na estrutura ou de uma matriz de observabilidade baseada em algum modelo da estrutura, como um modelo em elementos finitos. A matriz de Hankel das covariâncias tem a vantagem de ser facilmente obtida, utilizando, inclusive, métodos de estimação recursivos em tempo real (Inocente-Junior e Nóbrega, 2009). No entanto, o método atual oferece suporte apenas para a utilização de sinais de saída puros.

Neste trabalho existe o interesse de se investigar a obtenção da matriz de observabilidade a partir de um método geométrico, baseado em projeções dos espaços vetoriais das matrizes de entrada e de saída do sistema. Para a identificação de parâmetros de vibração de uma estrutura, trabalhos anteriores mostram que um método envolvendo sinais de entrada e saída poderia funcionar melhor que um método que utiliza apenas saída (Mével et al, 2006).

Assim, será feita uma comparação entre os métodos de obtenção das matrizes de observabilidade, utilizando diferentes métodos, e, em seguida serão gerados resíduos de paridade a partir dessas matrizes. No final, deseja-se ver qual método é capaz de fornecer resíduos que conduzam para uma detecção de danos mais precisa.

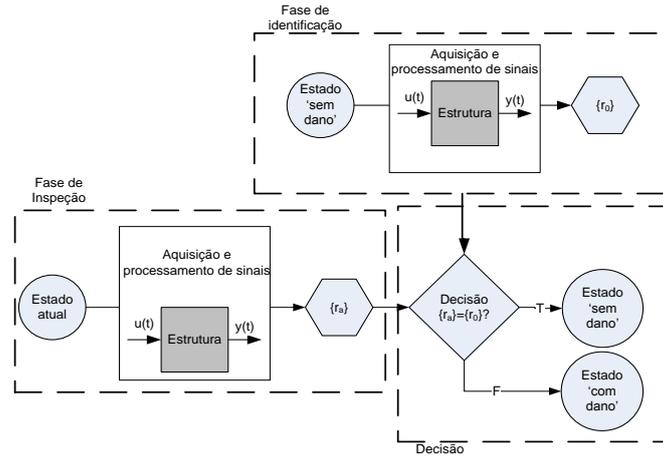


Figura 1: Esquema do procedimento de detecção de danos em estruturas.

2. METODOLOGIA

O método dos subespaços (Katayama, 2005, Van Overschee e DeMoor, 1996) se baseia na projeção dos subespaços dos sinais de saída de entrada e de saída do sistema. Essa projeção pode ser feita do ponto de vista estatístico, através do cálculo da covariância de matrizes formadas por vetores de sinais. Nesta seção são mostrados os dois métodos que serão comparados neste trabalho: um método que considera apenas sinais de saída (também chamado de *output-only*) e um método que leva em consideração os sinais de entrada e de saída (também chamado *input-output*).

Uma vantagem da identificação de um sistema por métodos de subespaços, se comparados à simples decomposição espectral dos sinais (FFT e FRF) é que não existe a questão da resolução em espectro, o que torna possível uma identificação mais precisa dos parâmetros, tais como frequências naturais e fatores de amortecimento. Neste trabalho a FRF é utilizada como um recurso auxiliar, representando uma referência de comparação.

2.1. Modelagem da estrutura mecânica

Para os métodos utilizados neste trabalho, a estrutura mecânica é modelada utilizando um modelo de estado, como mostrado na Equação (1).

$$\begin{aligned} \{x_{k+1}\} &= [A_d]\{x_k\} + [B_d]\{u_k\} + \{w_k\} \\ \{y_k\} &= [C]\{x_k\} + \{v_k\} \end{aligned} \quad (1)$$

Onde $\{x_k\}$ é o vetor de estados do sistema, $[A_d]$ é a matriz de estados do sistema, cujos pólos são dados as frequências naturais e coeficientes de amortecimento, $[B_d]$ é a matriz de alimentação por entradas determinísticas, $\{w_k\}$ é um vetor de perturbação dos estados, $\{y_k\}$ é o vetor de saídas medidas, $[C]$ é a matriz de medição e $\{v_k\}$ é o vetor de ruídos de saída.

2.2. Matrizes de sinais

Como convenção, é considerado que os sinais são agrupados em uma matriz de Hankel, como mostrado nas Equações (2) e (3). É considerado que a matriz é particionada em um horizonte passado, de dimensão p e um horizonte futuro, de dimensão q .

$$[Y] = \begin{bmatrix} [Y_p] \\ [Y_f] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{y_1\} & \{y_2\} & \cdots & \{y_N\} \\ \{y_2\} & \{y_3\} & \cdots & \{y_{N+1}\} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \{y_p\} & \{y_{p+1}\} & \cdots & \{y_{p+N-1}\} \\ \{y_{p+1}\} & \{y_{p+2}\} & \cdots & \{y_{p+N}\} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \{y_{p+q}\} & \{y_{p+q+1}\} & \cdots & \{y_{p+q+N-1}\} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[U] = \begin{bmatrix} [U_p] \\ [U_f] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{u_1\} & \{u_2\} & \cdots & \{u_N\} \\ \{u_2\} & \{u_3\} & \cdots & \{u_{N+1}\} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \{u_p\} & \{u_{p+1}\} & \cdots & \{u_{p+N-1}\} \\ \{u_{p+1}\} & \{u_{p+2}\} & \cdots & \{u_{p+N}\} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \{u_{p+q}\} & \{u_{p+q+1}\} & \cdots & \{u_{p+q+N-1}\} \end{bmatrix} \quad (3)$$

2.3. Método de subespaços utilizando apenas saída (*output-only*)

O método consiste em calcular uma matriz de Hankel do tipo:

$$[H_{pq}] = \begin{bmatrix} [\Lambda_1] & [\Lambda_2] & \cdots & [\Lambda_q] \\ [\Lambda_2] & [\Lambda_3] & \cdots & [\Lambda_{q+1}] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ [\Lambda_p] & [\Lambda_{p+1}] & \cdots & [\Lambda_{p+q-1}] \end{bmatrix} = \text{cov}([Y_p], [Y_f]) \quad (4)$$

A matriz de Hankel pode ser decomposta em matrizes de observabilidade e de controlabilidade:

$$[H_{pq}] = [Ob_p][Ct_q] \quad (5)$$

A decomposição acima pode ser realizada através de decomposição em valores singulares da matriz de estados, resultando em uma realização balanceada do sistema (Juang 1994).

As matrizes de estado e de medição podem ser obtidas diretamente a partir da matriz de observabilidade, pela relações das Equações (6) e (7).

$$[A_d] = [Ob_{p-1}]^+ [Ob_p]^\wedge \quad (6)$$

$$[C] = [O_1] \quad (7)$$

Na Equação (6), o símbolo + denota a inversa generalizada da matriz de observabilidade e $[O_1]$ é o primeiro bloco linha da matriz de observabilidade.

O método utilizado aqui utiliza apenas os dados das medidas de saída no processamento, o que pode ser uma vantagem dependendo do sistema a ser identificado, uma vez que nem sempre os sinais de excitação são conhecidos ou disponíveis para medição (Basseville et al, 2001).

2.4. Método de subespaços utilizando entradas e saídas (*input-output*)

Um método mais geométrico sugere que se for projetado o vetor de saídas no espaço vetorial das entradas e saídas passadas do sistema, paralelamente ao vetor de entradas futuras, é possível então obter uma matriz que contem a matriz de observabilidade e os vetores de estados do sistema (maiores detalhes podem ser vistos em Van Overschee e De Moor, 1996 e também em Katayama, 2005).

A projeção é dada pela Equação (8):

$$[Y_f] /_{[U_f]} [W_p] = [Ob_p][X] \quad (8)$$

Onde:

$$[W_p] = \begin{bmatrix} [U_p] \\ [Y_p] \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[X] = [\{x_1\} \quad \{x_2\} \quad \cdots \quad \{x_N\}] \quad (10)$$

A matriz $[X]$ corresponde a uma matriz de estados estimados, conforme o modelo da Equação (1). A obtenção de um vetor de estados estimados é uma vantagem desse método, o que pode ser bastante interessante para a implementação de controle da estrutura.

A projeção dos subespaços é feita por uma decomposição do tipo LQ, onde é obtido um espaço vetorial ortonormal que engendra o mesmo espaço vetorial dos vetores originais. A decomposição é mostrada na Equação (11).

$$\begin{bmatrix} [U_f] \\ [W_p] \\ [Y_f] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [L_{11}] & [0] & [0] \\ [L_{21}] & [L_{22}] & [0] \\ [L_{31}] & [L_{32}] & [L_{33}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q_1]^T \\ [Q_2]^T \\ [Q_3]^T \end{bmatrix} \quad (11)$$

A projeção descrita na Equação (8) pode ser obtida utilizando as matrizes da Equação (11):

$$[Y_f] / [U_f] [W_p] = [L_{32}] [L_{22}]^{-1} [L_{21} \mid L_{22}] \begin{bmatrix} [Q_1]^T \\ [Q_2]^T \end{bmatrix} \quad (12)$$

O resultado da Equação (12) pode ser decomposto por meio de decomposição em valores singulares, fornecendo a matriz de observabilidade $[O_p]$ e o vetor de estados $[X]$. As matrizes de estados $[A_d]$ e de medição $[C]$ podem ser obtidas da mesma maneira que no método *output-only*, descrito na subseção anterior.

2.5. Diagrama de estabilização

O número de pólos de um sistema está relacionado com a sua ordem, que, por sua vez, não está muito bem definida para um sistema contínuo, que possui, a princípio, infinitos graus de liberdade, ou seja, uma ordem infinita. Desse modo, na identificação de um sistema de ordem sobreestimada surgem alguns pólos puramente numéricos, ou seja, que não têm relação alguma com o sinal relacionado ao sistema. Para diferenciar os pólos do sistema dos pólos numéricos, é utilizado o diagrama de estabilização, que é obtido a partir da variação da ordem do sistema. Nesse diagrama os pólos verdadeiros do sistema convergem para um mesmo valor, a medida que se aumenta a ordem, enquanto os pólos puramente numéricos não apresentam tal convergência (Basseville et al 2001).

2.6. Geração de resíduos de paridade

A matriz de Observabilidade obtida a partir da decomposição da Equação (5) possui dentro dela as matrizes de Estado $[A]$ e de medição $[C]$. Essas matrizes, por sua vez, carregam dentro de si as informações dos parâmetros de vibração do sistema, como pode ser visto na Equação (13).

$$[Ob_p] = \begin{bmatrix} [C] \\ [C][A] \\ \vdots \\ [C][A]^{p-1} \end{bmatrix} \quad (13)$$

O método de geração de resíduos de paridade se baseia no cálculo de um vetor de resíduos a partir da matriz de observabilidade. Esse vetor é calculado como mostrado na Equação (14).

$$\{r\} = vec([S_{ref}]^T [Ob]) \quad (14)$$

Onde $[S_{ref}]$ corresponde à matriz do espaço nulo de uma matriz de observabilidade de referência $[O_{ref}]$, que pode ser obtida tanto de medidas da estrutura em caso íntegro, quanto por dados de algum modelo disponível, como Elementos Finitos, por exemplo.

A característica principal do vetor de resíduos é que ele tem uma norma que tende a zero no caso de uma matriz de observação atual tender à matriz de observação de referência (isso porque uma matriz exatamente igual à outra é praticamente impossível de se obter experimentalmente). A Figura 2 sintetiza o processo de detecção de danos na estrutura.

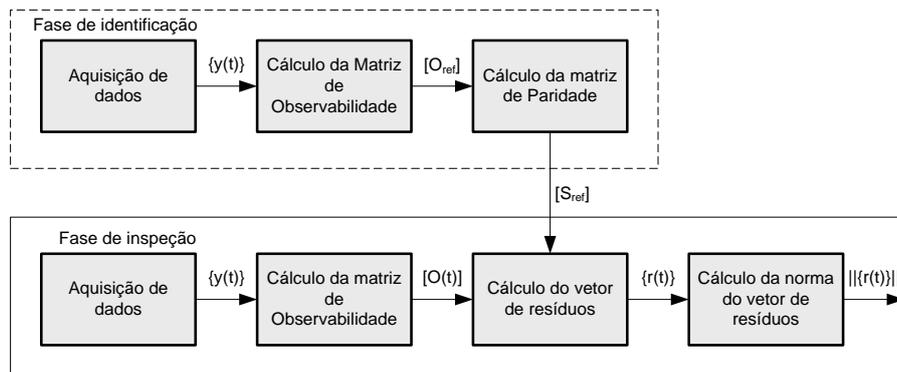


Figura 2: Processo de detecção de danos utilizando resíduos de paridade

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Bancada de testes

A estrutura mecânica utilizada neste estudo é uma placa de Alumínio retangular, com lados medindo 696 mm por 500 mm e com espessura de 1,2 mm. A placa é apoiada sobre espumas, de modo a reproduzir uma condição de vibração livre. Uma foto da bancada pode ser vista na Figura 3.

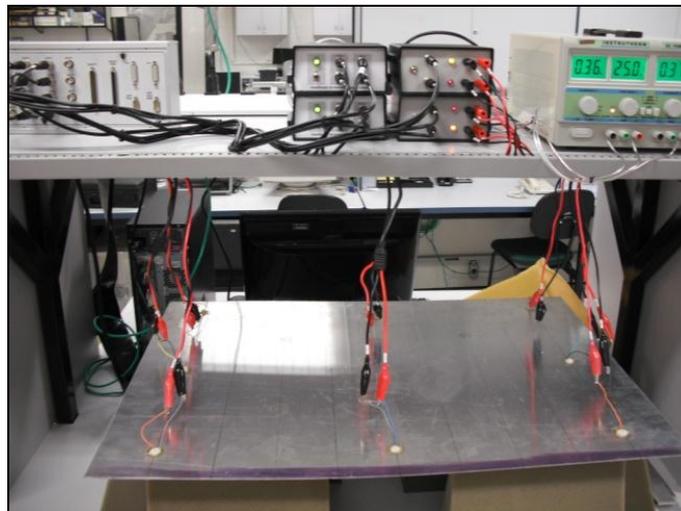


Figura 3: Bancada experimental

A instrumentação da bancada de testes de vibração consiste basicamente de um conjunto de amplificadores de potência para os atuadores, um conjunto de condicionadores de sinal, baseados em amplificadores de instrumentação e filtros, para os sensores e uma placa de entrada/saída de dados, neste caso, uma placa dSPACE®, modelo DS1104, ligada a um computador, conforme ilustrado na Figura 4.

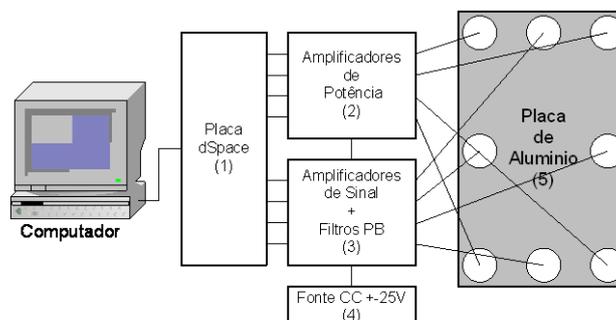


Figura 4: Diagrama da instrumentação da bancada

Os conjuntos de amplificadores e condicionadores de sinal foram construídos pela própria equipe do laboratório, utilizando componentes de boa performance e custo relativamente baixo. Os amplificadores de potencia utilizam

circuitos de amplificadores de áudio comerciais, com capacidade de 20W de potência. Os condicionadores de sinal possuem amplificadores de instrumentação de ganho ajustável (no caso, o ganho foi fixado em 100), aliados a filtros Passa-baixas do tipo Butterworth de 8ª ordem (para máxima planicidade da banda passante), sintonizados em 25kHz, para evitar problemas de aliasing do sinal.

Existe um conjunto de quatro atuadores e quatro sensores dispostos sobre a placa de alumínio, conforme ilustrado na Figura 5.

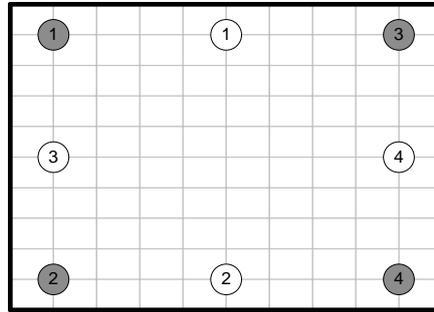


Figura 5: Configuração de sensores e atuadores.

Na Figura 5, os atuadores estão representados pelos círculos escuros, e os sensores, pelos círculos claros. Para os estudos apresentados neste trabalho, são tratados apenas casos SISO, ou seja, considerando um par atuador/sensor. Os dados das próximas seções foram obtidos utilizando-se o atuador 1 como entrada do sistema e o sensor 1 como saída.

3.2. Parâmetros de ensaios

Alguns testes realizados mostram que a instrumentação tem um desempenho melhor na faixa das médias frequências, acima de 2kHz (Inocente-Junior e Nóbrega, 2010). A faixa de trabalho escolhida para realizar os ensaios deste trabalho está compreendida entre 4kHz e 5kHz. O sinal de excitação da placa é determinístico e periódico, do tipo Schroeder (Heylen et al, 1999), com 2^{14} pontos por período, amostrados a 20kHz. Os sinais de excitação e seu espectro podem ser vistos na Figura 6.

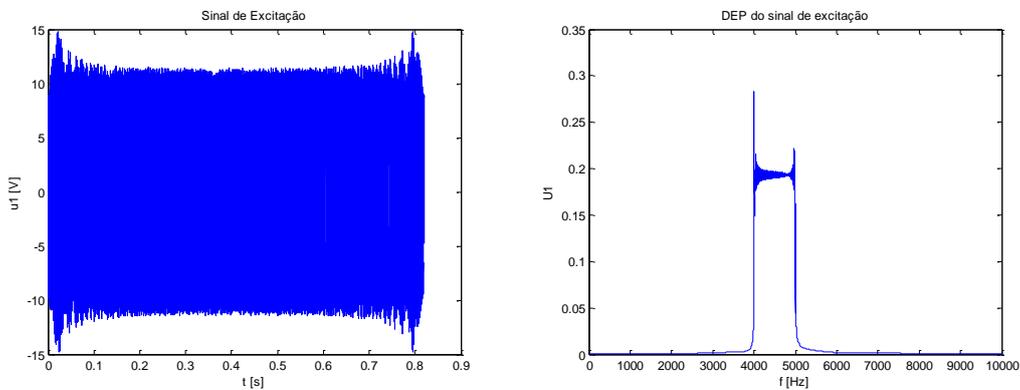


Figura 6: Sinal de excitação e seu espectro

Observando a Figura 6, pode-se ver que o espectro do sinal de excitação é bastante plano dentro da faixa entre 4kHz e 5kHz, garantindo uma excitação da placa nesse intervalo de frequências. Na Figura 7 é mostrado um exemplo do sinal medido utilizando as condições mostradas aqui.

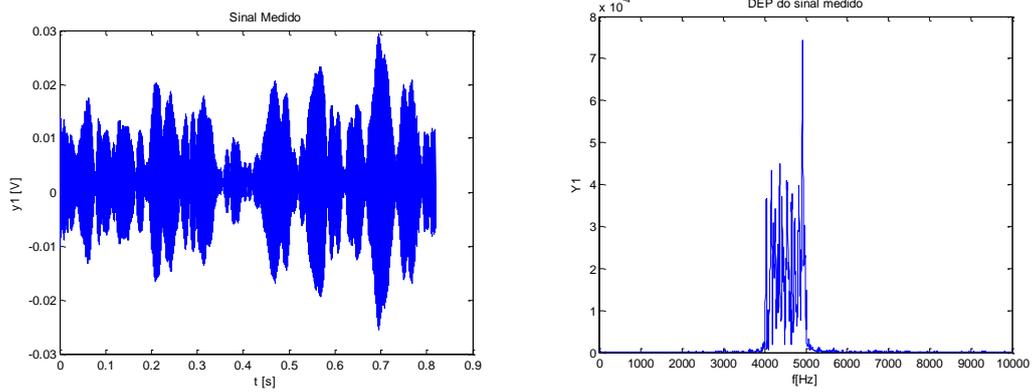


Figura 7: Sinal medido e espectro.

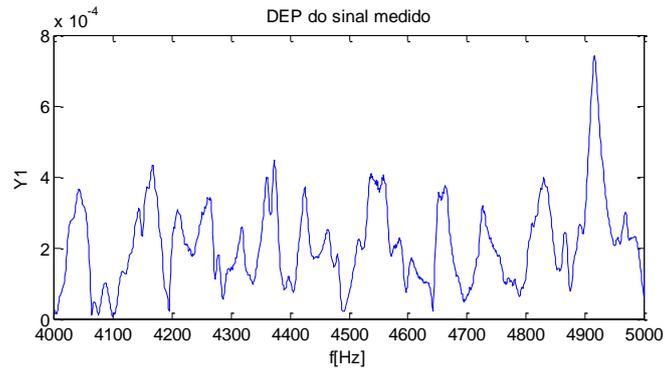


Figura 8: Detalhamento do espectro do sinal medido

Observando a Figura 7, bem como a Figura 8, pode-se ver que existem alguns picos bastante nítidos de resposta da placa no intervalo considerado. Esses picos deverão ser caracterizados pela identificação por subespaços, a ser mostrada na próxima seção.

3.3. Simulação de danos na estrutura

Com o objetivo de se avaliar a capacidade de se fazer a detecção de danos em estruturas, foram simulados danos, na forma de alterações pontuais de massa, na estrutura. As massas utilizadas foram chumbadas de 20g. A Figura 9 mostra a posição do posicionamento das massas, para cada um dos casos de dano estudados.

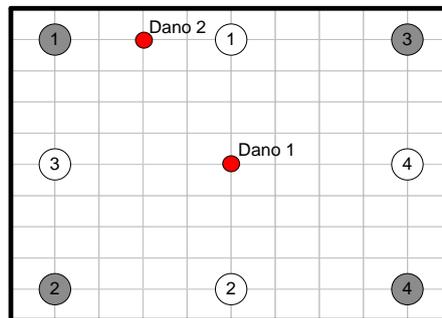


Figura 9: Posicionamento das massas concentradas.

Assim, foram comparados os seguintes casos:

- Placa sem dano;
- Placa com dano 1;
- Placa com dano 2.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Comparação das FRFs da placa

A fim de verificar as mudanças na resposta do sistema para os diferentes casos de dano simulados, foram levantadas as FRFs para cada caso, como mostrado na Figura 10.

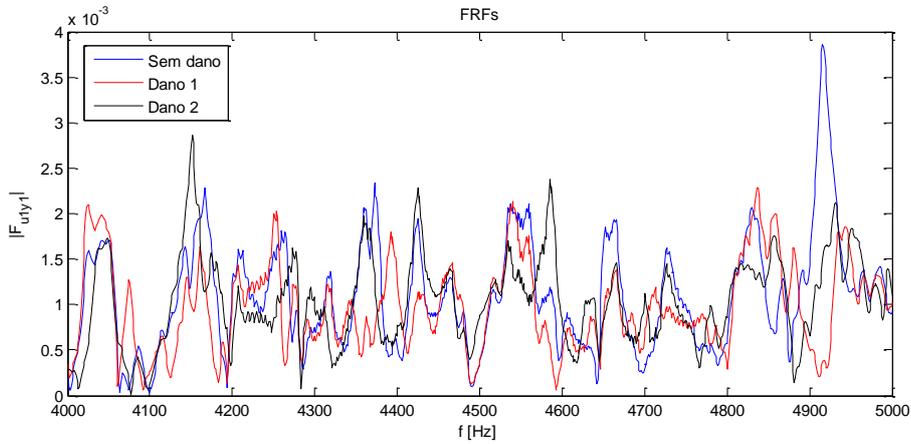


Figura 10: FRFs do sistema para diferentes casos

Observando a Figura 10, é possível perceber uma diferença na resposta em frequência do sistema, para diferentes casos, o que mostra que a resposta em frequência é bastante afetada pelas condições de dano.

4.2. Comparação dos métodos de identificação

Aqui é feita uma comparação da identificação dos pólos do sistema, utilizando métodos de *output-only* e *input-output*. Para isso, são feitos os diagramas de estabilização correspondentes a identificação feita para cada um dos dois métodos, que são comparados com a FRF, a fim de verificar se as frequências convergentes correspondem aos picos de ressonância da estrutura.

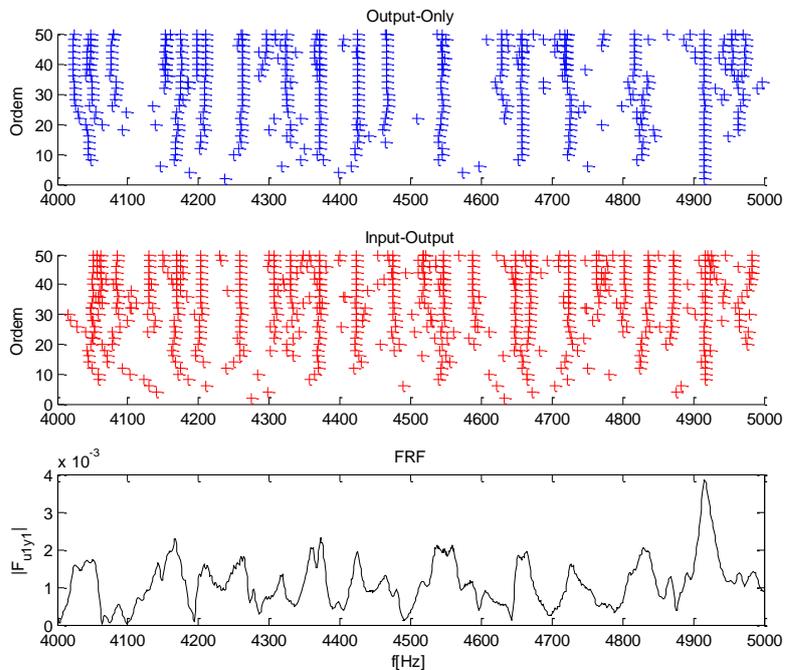


Figura 11: Comparação dos diagramas de estabilização

A Figura 11 mostra que ambos os métodos são capazes de identificar os maiores picos de resposta em frequência do sistema. Pode-se notar que utilizando o método *input-output* é capaz de identificar mais picos do que o método *output-only*, para o mesmo intervalo considerado. Outro aspecto interessante a ser observado é a convergência dos pólos identificados, que parece melhor para o caso do método *output-only*.

4.3. Comparação dos métodos para diferentes medidas

Algo bastante importante a ser avaliado nos métodos de identificação é a sua robustez. Se a resposta em frequência do sistema não se altera, os parâmetros identificados também não devem ser modificados. Para os testes mostrados a seguir, foram feitas identificações para dois conjuntos de medidas diferentes, para o mesmo caso, da placa sem dano. A Figura 12 mostra os resultados obtidos para o caso *output-only* e os resultados para *input-output* estão na Figura 13.

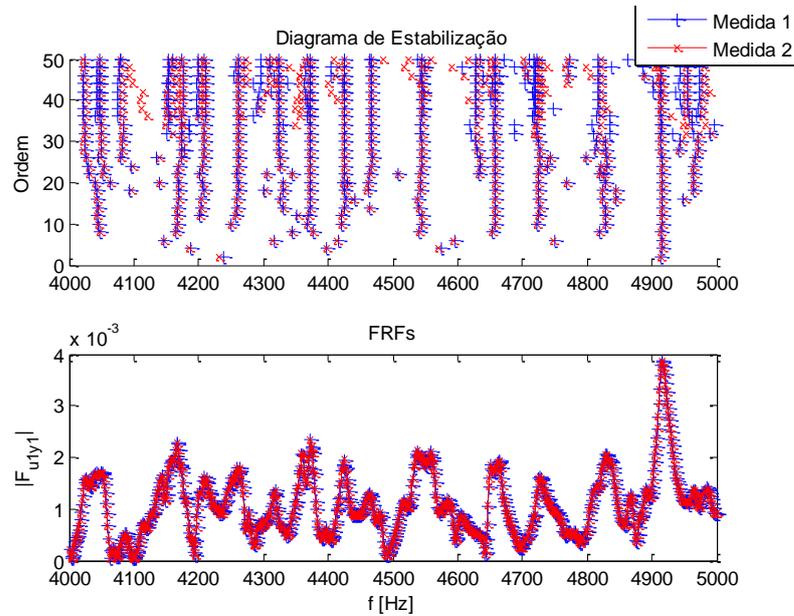


Figura 12: Comparação para duas medidas diferentes, no método *output-only*

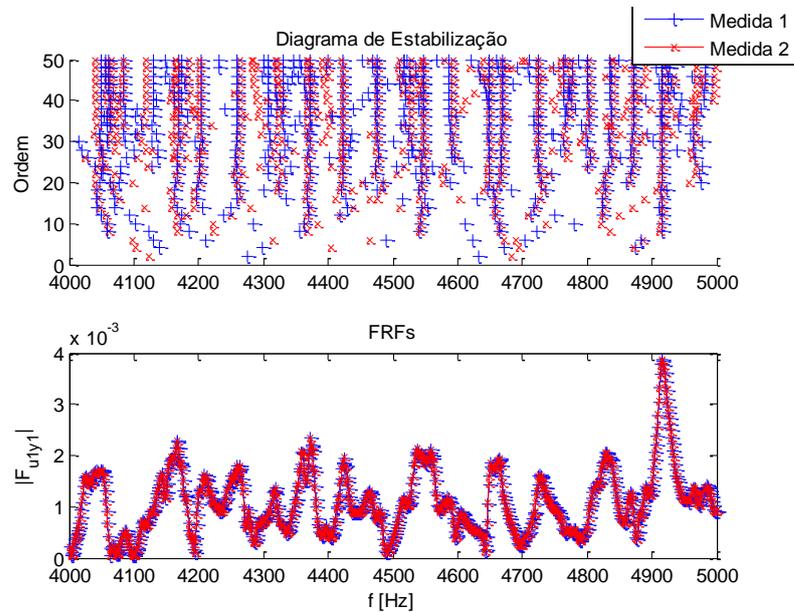


Figura 13: Comparação para duas medidas diferentes, no método *input-output*

Pode-se perceber que a identificação do tipo *output-only* foi capaz de fornecer um resultado com maior repetibilidade do que a do tipo *input-output*. Cabe destacar que entre as medidas não houve mudança de resposta em frequência do sistema, como pode ser percebido pelas curvas de FRF.

4.4. Resíduos de Paridade

Para o teste dos resíduos de paridade, foram feitos 20 conjuntos de medidas para cada um dos três casos experimentais (sem dano, com dano 1 e com dano 2). Aqui os resultados estão sendo apresentados em termos da norma do vetor de resíduos nas ordenadas, pelo número do conjunto de medidas correspondente. Os resultados obtidos para o método *output-only* são mostrados na Figura 14 e os resultados obtidos com *input-output* são mostrados na Figura 15.

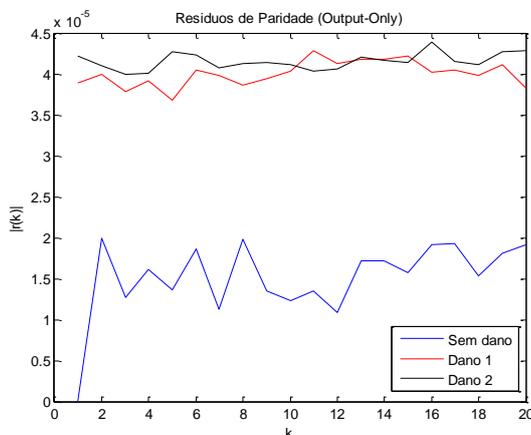


Figura 14: Resíduos de paridade calculados através do método *output-only*

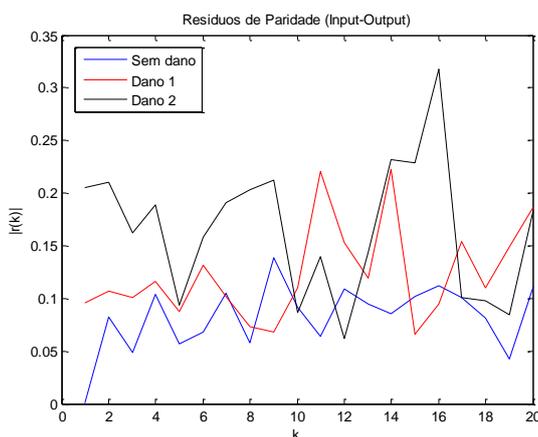


Figura 15: Resíduos de paridade calculados através do método *input-output*

Comparando os gráficos da Figura 14 e Figura 15, pode-se notar uma discriminação entre a norma dos resíduos para o método *output-only*, ao passo que para o resíduo obtido pelo método *input-output*, não existe praticamente nenhuma maneira de se discriminar entre os resíduos de diferentes casos. Em termos de detecção, o gráfico da Figura 14 está bom do ponto de vista de mostrar claramente a diferença entre o caso sem dano e com dano. Não existe uma grande discriminação entre os resíduos obtidos para os diferentes casos com dano, mas isso não é tão importante nesta etapa.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Os resultados mostrados nesse estudo indicam que o método de identificação por subespaços do tipo *output-only*, parece ser o mais adequado para a geração dos resíduos de paridade, uma vez que é possível se fazer uma boa discriminação entre os resíduos para os casos com dano e sem dano, levando em consideração a norma do vetor de resíduos. Isso representa um passo importante no sentido de se obter um método de detecção que seja preciso e robusto.

Aliada aos bons resultados, a relativamente maior simplicidade do método baseado apenas nos sinais de saída é mais um atrativo para a sua utilização, sendo possível, inclusive, a sua implementação para monitoramento em tempo real, conforme já foi proposto em um trabalho anterior (Inocente-Junior e Nóbrega, 2009).

Ainda existe uma série de recursos que devem ser explorados no intuito de se melhorar a etapa de detecção. A montagem possui múltiplos sensores e atuadores, que podem ser utilizados ao mesmo tempo e em posições diferentes, possibilitando a extração de uma quantidade maior de informação a respeito da estrutura. Além disso, as informações contidas no vetor de paridade podem ser mais bem aproveitadas, caso sejam consideradas cada uma de suas componentes, ao invés de apenas a sua norma, como foi feito neste estudo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências FAPESP e CAPES pela disponibilização dos recursos necessários para a realização deste trabalho de pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- Basseville, M. , Benveniste, A. , Goursat, M. , Hermans, L. , Mevel, L. , Van der Auwerauer, H. (2001). Output-Only Subspace-Based Structural Identification: From Theory to Industrial Testing. Transactions of ASME, Vol 123, pp. 668 – 676.
- Doebbling, S. Farrar, C., Prime, M., and Shevits, D., (1996). Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review, Los Alamos National Laboratory Report No. LA-13070- MS, Los Alamos, New Mexico
- Inocente-Junior, N. R. , Nóbrega, E. G. O. (2010). Método de subespaços aplicado à identificação de placas de alumínio. Congresso Brasileiro de Automática. (Em publicação).
- Inocente-Junior, N. R. , Nóbrega, E. G. O. (2009). Real-time parity residue analysis for structural health monitoring. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Gramado, Brasil.
- Heylen, W. , Lammens, S. , Sas, P. (1999). Modal Analysis Theory and Testing, K-U Leuven, Leuven, Belgium.
- Juang, J-N (1994). Applied System Identification. Prentice Hall, New Jersey.
- Mével, L. , Benveniste, A. , Basseville, M. , Goursat, M. , Peeters, B. , Auweraer, H. V. , Vecchio, A. (2006). Input/output versus output-only data processing for structural identification – Application to in-flight data analysis. Journal of Sound and Vibration, vol 295, pp 531-552.
- Katayama, T. (2005). Subspace methods for system identification: a realization approach. - (Communications and control engineering). Springer-Verlag, London.
- Van Overshchee, P. and De Moor, B. (1996). Subspace identification for linear systems. Kluwer Academic Press, Boston.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

COMPARISON OF SUBSPACE AND PARITY RESIDUE GENERATION METHODS APPLIED TO STRUCTURAL HEALTH MONITORING

Nilson Roberto Inocente Junior, inocente@fem.unicamp.br¹
Eurípedes Guilherme de Oliveira Nóbrega, egon@fem.unicamp.br¹

¹Department of Computational Mechanics – Mechanical Engineering Faculty – Campinas State University . Rua Mendeleev, 200. Cidade Universitária ‘Zeferino Vaz’, CEP 13083-970.

Abstract. *In the structural health monitoring context, the damage detection step plays a major role in order to provide conditions to make a diagnostic about the damage state of a structure. In this work, a comparative study about the generation and analysis technique is performed, using two different subspace identification methods: an output-only based method and an input-output based method. It is made a comparison of identification parameters precision and robustness obtained for each method and, finally, the parity residues generated for experimental measures in an aluminum plate with several damage states introduced.*

Keywords: *Structural Health Monitoring, Subspace Methods, Parity Residue.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.