



Estudo Comparativo de Métodos de Síntese Modal de Componentes

Felipe José Vinaud

Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Universitário Darcy Ribeiro

Asa Norte - Brasília - DF - Brasil

CEP: 70910-900

Resumo. *Os métodos de síntese modal são técnicas bastante utilizadas para a análise dinâmica de grandes estruturas formadas por subestruturas ou componentes. Essas técnicas reduzem o tamanho dos modelos e conseqüentemente o tempo e o custo de cálculo exigidos, sem perda da qualidade dos resultados dentro das faixas de frequências de interesse industrial. Existem vários métodos de síntese modal, diferenciando-se entre si pela forma como o subespaço modal é construído e quais condições de contorno são adotadas para a análise modal das subestruturas. Considerando a complexidade das estruturas (tanto em geometria quanto na presença de amortecimento, não linearidades e aleatoriedades) deve-se saber selecionar qual o melhor método a ser aplicado, tanto do ponto de vista de eficiência numérica como também de representatividade do real comportamento das interfaces. Esse trabalho apresenta os métodos clássicos de síntese modal a partir de uma formulação generalizante e faz a comparação entre eles utilizando como critério o “número de MAC (Modal Assurance Criterion)” para comparação de formas modais. São apresentados também os resultados obtidos na comparação desses métodos aplicados ao estudo de placas.*

Palavras chave: *método de síntese de componentes, subestruturação, síntese modal, dinâmica de estruturas.*

1. INTRODUÇÃO

Os métodos de síntese modal são variantes do Método de Ritz cujo princípio é de transformar a sub-estrutura do espaço físico para um sub-espaço modal formado pelos primeiros modos próprios da estrutura e por outros modos complementares. Esta transformação conduz à redução da dimensão do problema estudado e ainda oferece a vantagem de reduzir o tempo de cálculo e o espaço de memória requerido para os problemas de grande dimensão.

A Estrutura é dividida em componentes ou subestruturas que são analisadas separadamente para determinação de seus modos e frequências de vibração. Em seguida, um modelo reduzido de cada subestrutura é obtido por meio de técnicas de análise modal numéricas ou experimentais. Por fim, a síntese modal da estrutura é efetuada acoplando-se as equações modais reduzidas das subestruturas e calculando-se os autovetores e autovalores da estrutura global, usando o sistema de equações reduzido.

Uma outra vantagem dos métodos de síntese modal é a possibilidade de evitar os cálculos repetitivos no caso das estruturas que possuem vários módulos idênticos. Mesmo com a

performance dos computadores atuais, que permitem resolver grandes problemas, a sub-estruturação é muito utilizada por permitir a separação e tratamento das diferentes partes da estrutura com diferentes ferramentas e de maneira mais adequada às propriedades de cada uma das partes. Por exemplo, a síntese modal permite a análise ou otimização das estruturas com parâmetros não lineares e/ou não determinísticas de maneira mais econômica que o método dos Elementos Finitos (Diniz, 1999).

Os métodos clássicos de sub-estruturação estão agrupados em métodos de interface livre (Goldman, 1969; Hou, 1969 e Rubin, 1975) e métodos de interface fixa (Hurty, 1965; Craig e Bampton, 1968). Um terceiro método utiliza condições híbridas de acoplamento das sub-estruturas (Gladwell, 1964; MacNeal, 1971, Hale e Meirovitch, 1982 e Diniz, 2001).

Os métodos com modos de interface fixa utilizam os modos de vibração obtidos fixando-se a sub-estrutura na sua fronteira com as sub-estruturas vizinhas. Os métodos com modos de interface livre usam os modos de vibração das sub-estruturas liberados nas fronteiras com as sub-estruturas vizinhas. Os métodos híbridos utilizam uma combinação de modos de vibração com interface livre e fixa e outros modos especiais, como os modos estáticos de ligação, os modos carregados ou a flexibilidade residual das sub-estruturas.

2. EQUAÇÕES DE SÍNTESE MODAL

Todos os métodos de síntese modal se desenvolvem em três etapas: sub-estruturação, análise modal das sub-estruturas e síntese modal empregando um sistema reduzido de equações. Nesta seção, apresentam-se as equações gerais de cada etapa.

As equações do movimento de uma estrutura, que foi discretizada por elementos finitos, pode ser escrita na forma matricial.

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [C]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{f(t)\} \quad (1)$$

Onde $[M]$, $[C]$ e $[K]$ são as matrizes de massa, amortecimento e rigidez, $\{u(t)\}$ e $\{f(t)\}$ são os vetores de deslocamento e carregamento dinâmicos respectivamente.

2.1. Sub-estruturação

Aplicando-se a técnica de sub-estruturação, as matrizes estruturais podem ser obtidas a partir da montagem das matrizes das sub-estruturas.

$$[K] = \sum_{s=1}^m [\alpha_s]^T [K_s] [\alpha_s] \quad (2)$$

$$[M] = \sum_{s=1}^m [\alpha_s]^T [M_s] [\alpha_s] \quad (3)$$

$$[C] = \sum_{s=1}^m [\alpha_s]^T [C_s] [\alpha_s] \quad (4)$$

$$\{f(t)\} = \sum_{s=1}^m [\alpha_s]^T \{f_s(t)\} \quad (5)$$

Onde o índice “s” indica as matrizes estruturais da s-ésima sub-estrutura. $[\alpha_s]$ é a transformação Booleana de tamanho $(N_s \times N)$ associada à s-ésima sub-estrutura, a qual permite a montagem das sub-estruturas. N_s é o número de graus de liberdade (gdl) da s-ésima sub-estrutura e N é o número total de gdl da estrutura. Todas as operações $[\alpha_s]$ são zero, exceto se o i-ésimo grau de liberdade da s-ésima sub-estrutura é o j-ésimo grau de liberdade global da estrutura. Neste caso, o elemento α_{ij} é a unidade. O índice “m” indica o número total de sub-estruturas.

2.2. Análise Modal das Sub-estruturas

Aplicando-se o método de Rayleigh-Ritz apenas os modos de frequência mais baixas são usados como base para o espaço modal generalizado. As formas dos modos da sub-estrutura são definidas como a solução do auto-problema da estrutura não amortecida. Assim para a s -ésima subestrutura tem-se as seguintes equações modais:

$$([K] - \lambda_i [M])\{\phi_i\} = \{0\} \quad i = 1, 2, \dots, N_s \quad (6)$$

O deslocamento da s -ésima sub-estrutura é expresso em termos da matriz modal $[\phi]$ formada pelas formas modais de menores frequências:

$$\{u_s(t)\} = [\phi_s] \{\eta_s\} \quad \text{com} \quad [T_s] = [\phi_s] \quad (7)$$

Cada matriz $[T_s]$ é formada por poucos modos e seu tamanho é dado por $\dim[T_s] = N_s \times R_s$, $R_s < N_s$. Onde R_s é o número de modos retidos para s -ésima sub-estrutura e $\{\eta_s\}$ é o vetor de coordenadas generalizadas da s -ésima sub-estrutura.

Assim, o vetor de deslocamentos da estrutura montada é dado por:

$$\{u\} = [T] \{\eta\} \quad \text{com} \quad [T] = \sum_{s=1}^m [\alpha_s^*]^T [\phi_s] [\alpha_s^*] \quad (8)$$

Onde $\{\eta\}$ é o vetor de coordenadas generalizadas da estrutura total ($\dim\{\eta\} = R = \sum R_s$). As matrizes $[\alpha_s^*]$ têm forma e função análogas à matriz $[\alpha]$ para representar a relação entre as coordenadas globais generalizadas e as coordenadas locais generalizadas para a s -ésima sub-estrutura. $[T]$ ($\dim[T] = R \times N$, $R < N$) é a matriz de transformação da estrutura das coordenadas físicas $\{u(t)\}$ para as coordenadas generalizadas $\{\eta\}$.

2.3. Sistema Reduzido de Equações

A substituição da Eq. (8) na Eq. (1) e a pré-multiplicação por $[T^T]$ leva às equações dinâmicas governantes para toda a estrutura:

$$[M^*] \{\ddot{\eta}(t)\} + [C^*] \{\dot{\eta}(t)\} + [K^*] \{\eta(t)\} = \{f^*(t)\} \quad (9)$$

Onde as matrizes globais reduzidas da estrutura completa são dadas por:

$$[K^*] = \sum [T^T] [\alpha_s]^T [K_s] [\alpha_s] [T] \quad (10)$$

$$[M^*] = \sum [T^T] [\alpha_s]^T [M_s] [\alpha_s] [T] \quad (11)$$

$$[C^*] = \sum [T^T] [\alpha_s]^T [C_s] [\alpha_s] [T] \quad (12)$$

$$\{f^*(t)\} = \sum [\alpha_s]^T \{f(t)\} \quad (13)$$

A matriz de transformação $[T]$ leva à redução do número de equações do problema. As matrizes reduzidas $[M^*]$, $[C^*]$ e $[K^*]$ têm dimensões $(R \times R)$.

A matriz de transformação $[T]$, nos métodos de síntese modal, é formada por um conjunto selecionado de poucos modos de baixa frequência e outros modos suplementares. Os diversos métodos de síntese modal diferem na forma em que a matriz de transformação $[T]$ é definida. O método de Craig e Bampton utiliza uma matriz transformação formada por modos de interface fixa e os modos estáticos de ligação (Craig e Bampton, 1968). O método de MacNeal utiliza os modos de interface livre e os modos de flexibilidade residual (MacNeal, 1971).

3. MÉTODOS DE SÍNTESE MODAL

3.1. Método Com Interface Fixa: O Método de Craig e Bampton

A partir do aperfeiçoamento do método de Hurty, Craig e Bampton propuseram um método simples e prático que não necessita de um tratamento especial para os modos de corpos rígidos que são representados por uma combinação linear das deformações estáticas. Este método tem como característica uma boa precisão e é muito utilizado quando os dados das sub-estruturas são obtidos através de modelos de E.F.

No método de Craig e Bampton o comportamento dinâmico da sub-estrutura é descrito de forma completa em termos de seus modos de vibração próprios, postos em evidência engastando a sub-estrutura pela fronteira com as sub-estruturas vizinhas, e dos modos estáticos de ligação, resultantes da aplicação de deslocamentos unitários aos gdl da interface, estando todos os demais gdl fixos.

Na ausência de forças de inércia, pode-se então definir a transformação a seguir para cada sub-estrutura:

$$\begin{Bmatrix} u_F \\ u_I \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{FF} & 0_{FR} \\ \Phi_{IF} & \Psi_{IR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_F \\ \eta_R \end{Bmatrix} \quad (14)$$

Onde:

$[\Phi_{IF}]$ é a matriz dos modos estáticos de ligação definida como $[\Phi_{IF}] = -[K_{II}]^{-1}[K_{IF}]$;

$[\Psi_{IR}]$ é a matriz dos “R” primeiros modos próprios com interfaces fixas, solução de $\left([K_{II}] - \lambda_{I_i} [M_{II}] \right) \Psi_{II_i} = \{0\}$;

$\{\eta_R\}$ é o vetor de participação modal reduzido aos “R” primeiros modos.

3.2. Método Com Interfaces Livres: Método de MacNeal

O método proposto por MacNeal em 1971 introduziu a correção de flexibilidade residual que conduz à uma precisão satisfatória aliada à simplicidade de sua utilização. Esse método permite também a utilização de modos próprios com condições híbridas.

De maneira geral, os métodos com interfaces livres fazem a transformação das coordenadas físicas “ $\{u\}$ ” para as coordenadas modais “ $\{\eta\}$ ” utilizando a matriz “[$\Theta_{\tilde{N}R}$]” dos “R” primeiros modos próprios da sub-estrutura livre nas interfaces. A contribuição dos modos de alta frequência é aproximada pela matriz de flexibilidade residual dos modos truncados “[$G_{T\tilde{N}\tilde{N}}$]” (MacNeal, 1971). Para uma sub-estrutura discretizada com “ \tilde{N} ” gdl temos:

$$\{u_{\tilde{N}}\} = [\Theta_{\tilde{N}R}] \{\eta\} + [G_{T\tilde{N}\tilde{N}}] \{f_{\tilde{N}}\} \quad (15)$$

Fazendo a partição dos gdl da sub-estrutura em gdl de fronteira (indicados pelo índice F) e gdl internos (indicados pelo índice I), a Eq. (15) torna-se:

$$\begin{Bmatrix} u_F \\ u_I \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Theta_{FR} \\ \Theta_{IR} \end{bmatrix} \{\eta_R\} + \begin{bmatrix} G_{TFF} & G_{TFI} \\ G_{TIF} & G_{TI} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_F \\ 0_I \end{Bmatrix} \quad (16)$$

Escrevendo as forças atuantes nas interfaces “ f_F ” em função dos deslocamentos “ u_F ” e das coordenadas generalizadas “ η ” pode-se escrever os deslocamentos físicos em função dos gdl de fronteiras e dos modos próprios da cada sub-estrutura de interfaces livres:

$$\begin{Bmatrix} u_F \\ u_I \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{FF} & \mathbf{0}_{FR} \\ \mathbf{B}_{IF} & \mathbf{C}_{IR} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_F \\ \eta_R \end{Bmatrix} \quad (17)$$

Onde as matrizes \mathbf{B}_{IF} e \mathbf{C}_{IR} representam os termos de correção em relação à flexibilidade residual:

$$\mathbf{B}_{IF} = [G_{TIF}] [G_{TFF}]^{-1} \quad (18)$$

$$\mathbf{C}_{IR} = [\Theta_{IR}] - [G_{TIF}] [G_{TFF}]^{-1} [\Theta_{FR}] \quad (19)$$

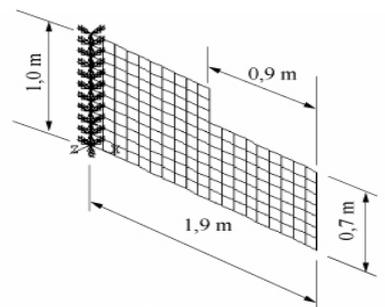
A matriz de flexibilidade residual das sub-estruturas é calculada usando-se a definição clássica.

4. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE SÍNTESE MODAL

Com o objetivo de comparar os diferentes métodos de síntese modal no caso de um sistema linear e não dissipativo, apresentam-se aqui os resultados obtidos utilizando os métodos estudados nos parágrafos anteriores para a montagem de uma estrutura simples.

Como exemplo utilizamos uma placa não simétrica engastada exteriormente ao longo de uma de suas extremidades, Fig. 1(a), e dividida em duas sub-estruturas, como mostrado na figura 1(b).

Os resultados de referência são obtidos pelo método dos Elementos Finitos para a placa da Fig. 1(a) modelada como uma só estrutura.



(a) estrutura primitiva



(b) sub-estruturas 1 e 2

Figura 1. Modelamento de placas por E.F. e divisão em duas sub-estruturas

Para o método dos elementos finitos, utilizamos elementos de placa com 3 gdl por nó. A placa possui 193 nós, sendo onze engastados e 8 servindo de interface entre as duas subestruturas. O modelo E.F. da placa completa possui então 546 gdl, sendo 24 gdl na interface e 522 gdl internos.

Em seguida efetua-se a comparação das frequências e das formas dos modos de vibração. Para a comparação das formas modais são utilizadas as matrizes de MAC (Critério de Certeza Modal, Friswell et al, 1995) calculadas entre os resultados de referência, obtidos pelo método dos E.F., e os resultados obtidos pelos métodos de síntese modal:

$$MAC_{i,j} = \frac{\phi_{c_i}^T \phi_{m_j}}{\sqrt{\phi_{c_i}^T \phi_{c_i} \phi_{m_j}^T \phi_{m_j}}} \quad (20)$$

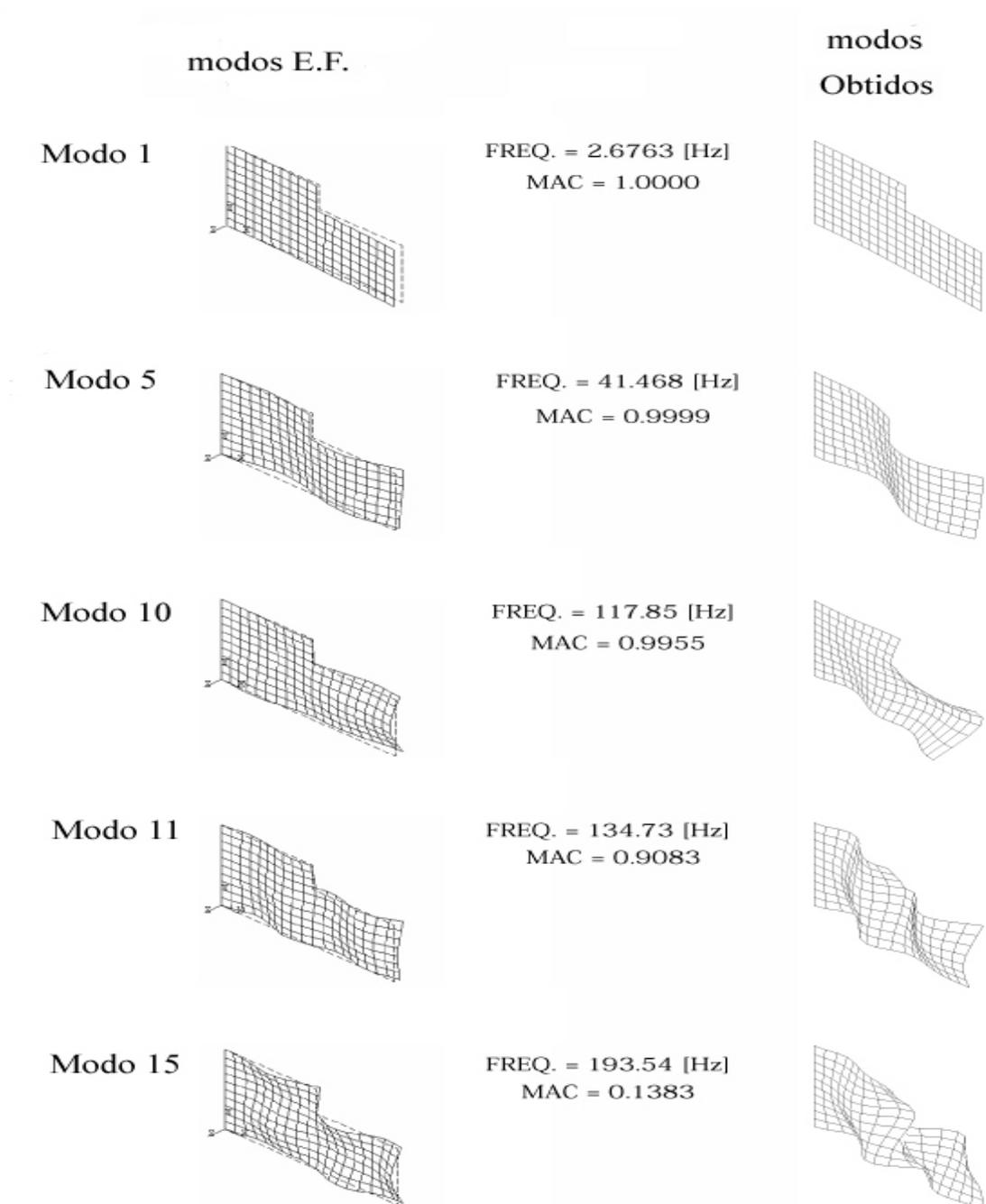


Figura 2. Deformações obtidas pelo método de Craig e Bampton com 5 modos engastados para cada sub-estrutura e 24 modos estáticos de ligação

Na comparação entre cálculos e ensaios dois modos são considerados como correlacionados se o MAC é superior a 0,75. Para a comparação entre formas modais calculadas por métodos numéricos diferentes, esperam-se valores de MAC superiores a 0,90 para mostrar a eficiência do método testado.

Para o método de Craig e Bampton foram utilizados 24 modos estáticos de ligação (um para cada gdl de fronteira), mais, sucessivamente, 5, 10 e 20 modos com interface fixa para cada sub-estrutura. Para o método de MacNeal foram utilizados, igualmente, 5, 10 e 20 modos com interface livre. Para a correção do efeito dos modos truncados no método de MacNeal, foram utilizadas as matrizes de flexibilidade residual das subestruturas condensadas à interface. Isso implica em adicionar aos modos livres mais 24 componentes de flexibilidade residual.

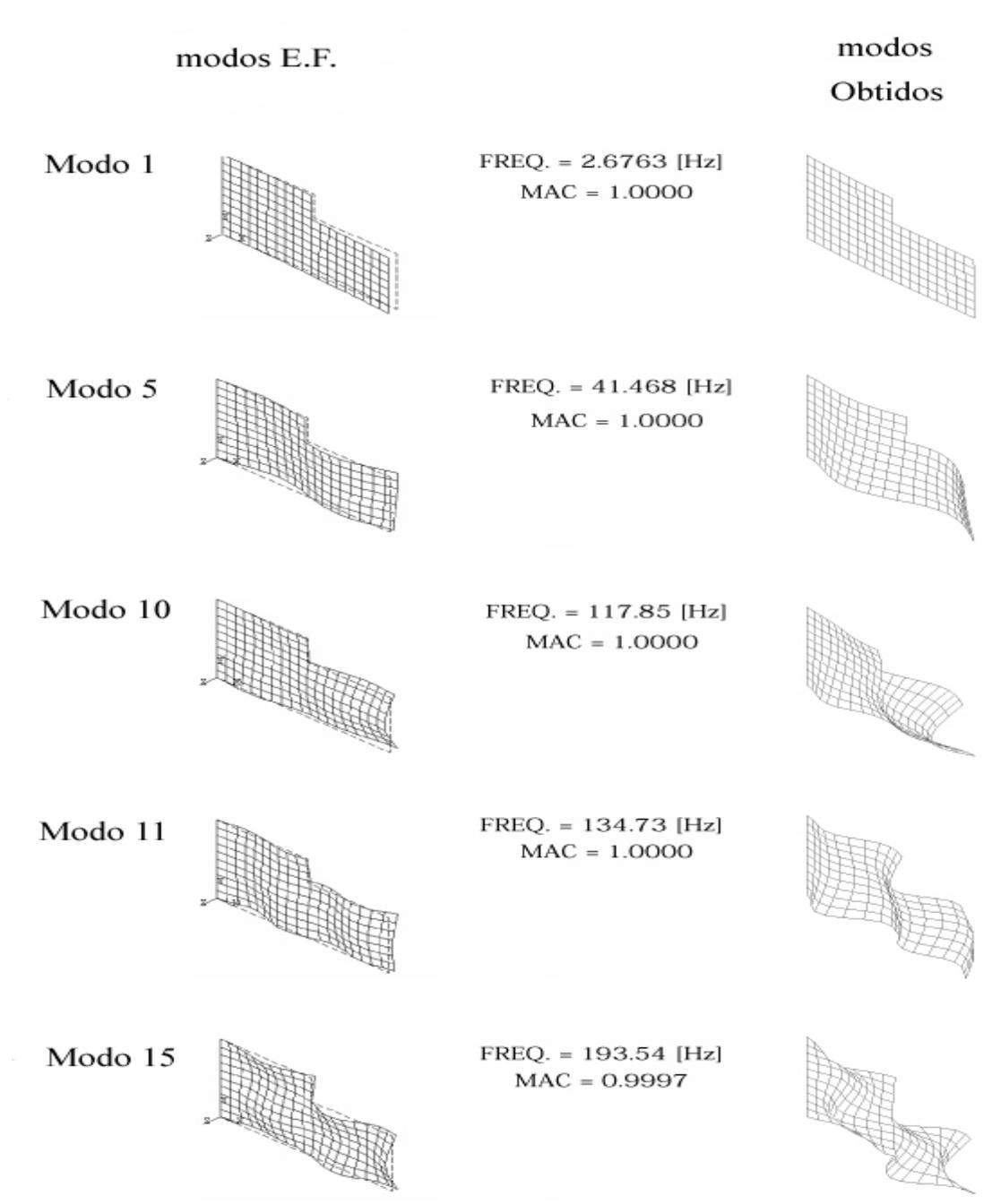


Figura 3. Deformações obtidas pelo método de MacNeal com 5 modos livres para cada sub-estrutura e 24 componentes de flexibilidade residual.

Algumas das formas modais obtidas pela aplicação desses dois métodos são mostradas nas Figs. (2) e (3). A Fig. (2) compara as formas modais obtidas pelo método de Craig e Bampton àquelas obtidas pelo método E.F., enquanto que a Fig. (3) compara o método de MacNeal à solução E.F. As duas figuras mostram os modos 1, 5, 10, 11 e 15 obtidos utilizando, respectivamente, 5 modos engastados e 5 modos livres para cada subestrutura.

Tabela 1. Frequências próprias das placas montadas por síntese modal

referência M.E.F. Freq. [Hz]	Craig & Bampton - valores em [Hz]			MacNeal - valores em [Hz]		
	24 modos estáticos			24 componentes de flexibilidade		
	número de modos			número de modos		
	5 modos	10 modos	20 modos	5 modos	10 modos	20 modos
2.6763	2.6763	2.6763	2.6763	2.6763	2.6763	2.6763
13.150	13.1517	13.1506	13.1504	13.1504	13.1504	13.1503
14.560	14.5633	14.5604	14.5599	14.5600	14.5599	14.5598
32.642	32.6526	32.6441	32.6425	32.6433	32.6427	32.6425
41.468	41.4981	41.4710	41.4681	41.4683	41.4681	41.4680
65.808	66.1499	73.4828	65.8156	65.8147	65.8114	65.8093
73.237	73.4516	73.2663	73.2419	73.2486	73.2417	73.2391
81.261	81.8107	81.3521	81.2755	81.2970	81.2770	81.2670
103.29	103.9116	103.3740	103.3041	103.3320	103.3142	103.3001
117.85	118.4899	117.9308	117.8654	117.8681	117.8589	117.8547
134.73	144.7446	135.1136	134.7583	134.7654	134.7500	134.7363
140.69	149.8788	141.3486	140.7576	140.7445	140.7240	140.6988
159.85	184.4957	160.6491	160.0415	159.9088	159.8751	159.8572
168.74	298.1045	169.1028	168.7739	168.8258	168.7708	168.7533
193.54	320.5442	193.9325	193.6106	193.8974	193.6818	193.5913
195.83	369.3196	196.6802	195.9484	196.2956	196.0294	195.8791
214.76	448.5822	216.6528	214.9512	215.3430	214.9635	214.8261
241.61	615.5890	244.2070	242.2610	242.0703	241.7743	241.6773
257.56	957.5654	269.4902	258.0741	258.3147	258.0555	257.6664
281.43	1002.142	296.0545	281.6961	281.8283	281.6867	281.5060

A Tab. (1) permite comparar as frequências dos modos próprios de vibração obtidas com o método de Craig e Bampton, de uma parte; de MacNeal, de outra parte, aos resultados obtidos com o método de elementos finitos. Como esperado, o truncamento modal dos métodos de síntese modal conduzem a frequências próprias mais elevadas que o método de elementos finitos. Essa diferença é mais acentuada para o método de Craig e Bampton, pois este utiliza os modos fixos de interface o que enrijece ainda mais a estrutura.

Constata-se que para os modos 1 e 5 a interface entre as sub-estruturas deforma pouco e o método de Craig e Bampton conduz a bons resultados. Por outro lado, no caso dos modos 10, 11 e 15, onde a interface é sujeita a grandes deformações, os resultados obtidos se afastam do método de E.F. Os modos estáticos de ligação utilizados pelo método de Craig e Bampton são, no exemplo em questão, pouco representativos da dinâmica da estrutura estudada. Nesse caso, para uma boa representação da dinâmica da interface o método de Craig e Bampton exige um número de modos superior ao método de MacNeal. Esse fato está bem ilustrado nas matrizes de MAC mostradas nas Figs. (4) e (5).

Os valores de MAC mostram a correlação entre as formas modais obtidas pelos métodos de síntese modal e as obtidas pelo M.E.F. A excelente qualidade dos resultados obtidos por síntese modal é evidenciada pela proeminência da diagonal principal com relação às outras componentes da matriz de MAC.

Na Fig. (4c), pode-se observar que um número reduzido de modos (5 modos bloqueados para cada subestrutura mais 24 modos estáticos de ligação) não é suficiente para representar os vinte primeiros modos de vibração da estrutura estudada. Por outro lado, um número equivalente de modos com o método de MacNeal conduz a bons resultados devido à qualidade superior da correção introduzida pelos termos de flexibilidade residual. Essas correções fazem com que, no caso estudado, o método de MacNeal apresente melhores resultados que o método de Craig e Bampton.

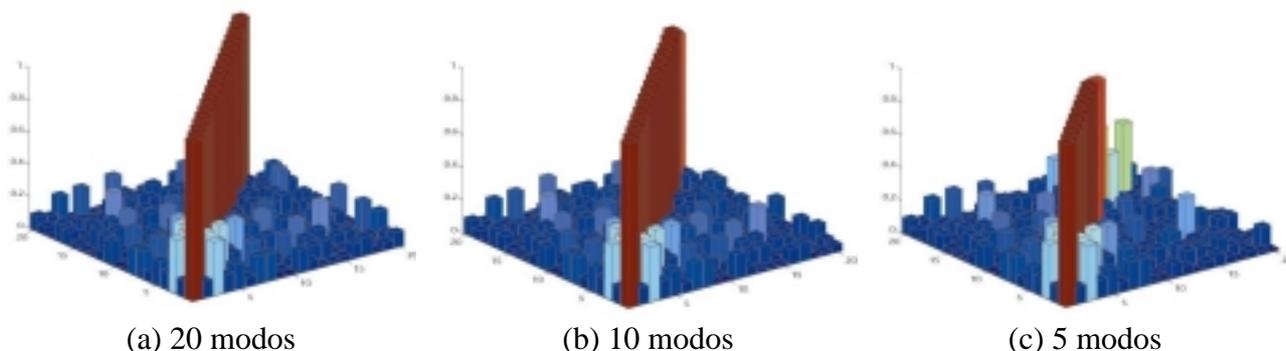


Figura 4. Valores de MAC, método de Craig e Bampton com diferentes números de modos de interface fixa para cada sub-estrutura

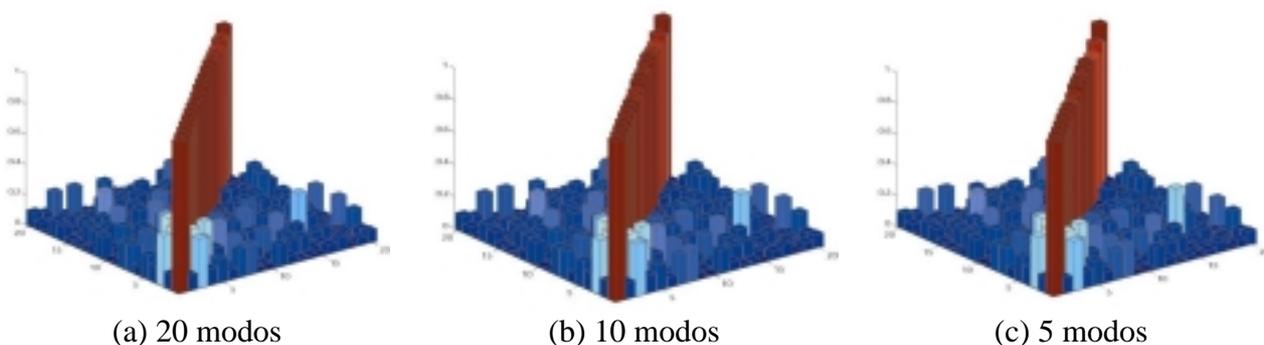


Figura 5. Valores de MAC para o método de MacNeal com diferentes números de modos de interfaces livres para cada sub-estrutura

5. CONCLUSÃO

Observamos, como previsto, que os métodos de síntese modal conduzem a valores próprios mais elevados que o M.E.F devido ao truncamento modal. Esta diferença é mais acentuada no caso do método de Craig e Bampton, pois a relevância dos modos de interface fixa endurece a estrutura.

Podemos ver também que o método de Craig e Bampton é mais sensível ao número de modos utilizados que o método de MacNeal, pois o primeiro utiliza os modos estáticos de ligação que, no exemplo em questão (e infelizmente em um grande número de problemas reais), são pouco representativos da dinâmica da estrutura. Este fato é bem ilustrado pelas matrizes de MAC mostradas nas Figs. (4) e (5).

Os valores dos MAC mostram a correlação entre as deformações obtidas pelos métodos de síntese modal e as obtidas pelo método dos elementos finitos. Podemos constatar a alta qualidade dos resultados obtidos por síntese modal observando a diagonal principal que é posta em evidência em relação aos outros elementos da matriz.

As matrizes de MAC pelo método de MacNeal não apresentam grandes modificações para os diferentes números de modos utilizados, mas os valores dos MAC para as mais altas frequências no método de Craig e Bampton com um pequeno número de modos não apresentam um bom resultado.

6. REFERÊNCIAS

- Craig-Jr, R.R. and Bampton, M.C.C., 1968, "Coupling of Substructures for Dynamic Analysis", AIAA Journal, 6(7), pp. 1313-1319.
- Diniz, Alberto C.G.C. e Thouverez, F., 1999, "Analysis of Stochastic Structures by Perturbation Method", Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia;
- Diniz, Alberto C.G.C. e Thouverez, F., 2001, "A hybrid Method of Modal Synthesis with Branch Modes", Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Uberlândia – TRB0731.
- Friswell, M. I. and Mottershead, J. E., 1995, "Finite Element Model Updating in Structural Dynamics", Kluwer Academic Publishers.
- Gladwell, G.M.L., 1964, "Branch Mode Analysis for Vibrating Systems", Journal of Sound and Vibration, 1(1), pp. 41-59.
- Goldman, R.L., 1969, "Vibration Analysis by Dynamic Partitioning", AIAA Journal, 7(6), pp. 1152-1154.
- Hou, S., 1969, "Review of Modal Synthesis Techniques and a New Approach", Shock and Vibration Bulletin, 40(4), pp. 25-39.
- Hurty, W.C., 1965, "Dynamic Analysis of Structural Systems Using Component Modes", AIAA Journal, 3(4), pp. 678-685.
- MacNeal, R.H., 1971, "A Hybrid Method of Component Mode Synthesis", Computers and Structures, 1(4), pp. 581-601.
- Rubin, S., 1975, "Improved Component-Mode Representation for Structural Dynamic", AIAA Journal, 13(8), pp. 995-1006.

COMPARATIVE STUDY OF COMPONENT MODE SYNTHESIS METHODS

Felipe José Vinaud

Alberto Carlos Guimarães Castro Diniz

Universidade de Brasília

Departamento de Engenharia Mecânica

Campus Universitário Darcy Ribeiro

Asa Norte - Brasília - DF - Brasil

CEP: 70910-900

E-Mail: adiniz@unb.br

Abstract. *The modal synthesis methods are techniques used in the dynamic analysis of large structures comprising of substructures or components. These techniques are known to reduce model size, time and cost of required calculations without any loss of quality in the results within a frequency array of industrial interests. There are several modal synthesis methods, being each characterized through the way the modal subspace is constructed and boundary conditions are selected for the component modal analysis. Those methods are grouped in free interface methods and fixed interface methods. Considering the structure complexity (geometry, damping effects, non-linearities, random effects) one should be able to select the most suitable method, considering numerical efficiency and approximation to the interface real behaviour. This paper presents the classical methods based on a general formulation and compares these methods using the MAC criteria (Modal Assurance Criterion) for mode shape comparison. Comparison results obtained from the application of the classical methods to plates are shown as well.*

Keywords: *component synthesis method, substructuring, modal synthesis, structure dynamics.*