

8 Conclusões e Sugestões

8.1. Conclusões

São resumidas neste item as conclusões e observações mais importantes obtidas através do desenvolvimento da presente tese.

Do estudo dos métodos de integração no tempo observa-se que:

- Os métodos de integração de equações diferenciais de Runge-Kutta explícitos demonstram ser, no cálculo da resposta dinâmica linear de uma estrutura para um mesmo incremento de tempo, mais rápidos que o método de Newmark, porém, apresentam sérios problemas de estabilidade levando à necessidade de usar incrementos de tempo muito pequenos, aumentando consideravelmente o esforço computacional total. No entanto, não apresentam problemas de dissipação numérica como o algoritmo de Newmark.

Do estudo sobre a inclusão de uma base flexível:

- A consideração da flexibilidade dos apoios através de elementos unidimensionais com comportamento linear modifica a resposta das estruturas devido a redução da rigidez global do sistema, evidenciado na diminuição das frequências de vibração natural e no aumento das amplitudes de vibração máxima.
- A consideração de comportamento elasto-plástico nas molas evidencia um efeito de dissipação de energia, manifestado na redução do valor dos deslocamentos e acelerações máximos na maioria dos exemplos realizados. Além disto, há uma mudança substancial da resposta no tempo e a ocorrência de deslocamentos residuais, elevando o risco de dano perante novas solicitações.

Da análise em frequência:

- A técnica do MBH-Galerkin, apresentada e implementada na presente tese, apresenta-se como uma ferramenta eficiente para a análise não linear em frequência de estruturas reticulares que consideram não linearidade geométrica, sendo, na obtenção de curvas de ressonância, mais rápidas que as técnicas de análise no tempo, e capazes de representar a resposta em frequência de forma coerente com o tipo de não linearidade geométrica, inclusive nas regiões com múltiplas posições de equilíbrio estáveis e instáveis.
- A técnica de continuação permite ultrapassar pontos limites, associados a bifurcações sela-nó, e assim obter trechos estáveis e instáveis das curvas de ressonância.
- No estudo em frequência das estruturas tipo galpão simétrico, verifica-se que, para os exemplos estudados na presente tese, acelerações horizontais e verticais excitam diferentes modos de vibração. Acelerações com ambas as componentes excitam todos os modos. A não linearidade geométrica tem um efeito evidente na região primeira e segunda região de ressonância, mostrando um comportamento com ganho de rigidez nos casos de aceleração horizontal e mista, quando a não linearidade cúbica predomina, e de perda de rigidez no caso de aceleração vertical, quando domina a não linearidade quadrática fruto da interação entre deslocamentos axiais e laterais.

Da análise sísmica de estruturas esbeltas:

- O emprego de sismos artificiais gerados a partir de FDEP de sismos reais mostra a influência da distribuição de potência e do faseamento de harmônicos na resposta das estruturas estudadas, evidenciando que uma mudança de faseamento pode aumentar ou diminuir a magnitude dos deslocamentos e acelerações.

- A consideração de uma excitação sísmica com distribuição de frequências que apresenta picos ou regiões de concentração de potência próximas às frequências naturais das estruturas estudadas aumenta consideravelmente a magnitude da resposta em deslocamentos e acelerações na estrutura. Este procedimento está a favor da segurança e seu uso, juntamente com um tratamento estatístico das respostas, pode levar a um procedimento de cálculo eficiente e seguro.
- A consideração da ação de dois sismos reais sucessivos mostrou os efeitos potencialmente nocivos que pode sofrer uma estrutura, evidenciado no exemplo da sucessão de sismos EL Centro-Kobe, onde houve um importante aumento da aceleração sísmica máxima, deslocamento máximo e deformações residuais, efeitos que podem resultar perigosos para a integridade estrutural.

8.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

A fim de dar continuidade ao tema de pesquisa apresentado na presente tese, são apresentadas as seguintes sugestões:

- Estudar técnicas e algoritmos de integração no tempo com conservação de energia.
- Implementar modelos de simulação de comportamento de base flexível composta por solo através de elementos discretos que levem em consideração amolecimento, dano e/ou rigidez complexa.
- Aprofundar o desenvolvimento dos algoritmos para análise não linear em frequência com a finalidade de detectar bifurcações dinâmicas e seguir ramos estáveis e instáveis após estas bifurcações, usando elementos finitos.
- Realizar o estudo considerando outros tipos de amortecimentos proporcionais e não proporcionais, tais como amortecimentos históricos.

- Estudar outros modelos estruturais com maior proximidade entre as frequências de ressonância para a avaliação do efeito da interação modal.
- Estudar o efeito da presença de ligações semirrígidas presentes nos sistemas estruturais metálicos.
- Aprofundar o estudo da sucessão de eventos sísmicos analisando mais casos de combinação de ações sísmicas e considerando a possibilidade de colapso progressivo.