

Conclusões e Sugestões

Aqui são apresentadas as conclusões das análises realizadas no trabalho, assim como algumas sugestões para realização de trabalhos futuros seguindo a mesma linha de pesquisa.

6.1

Conclusões

Esta dissertação apresenta uma formulação não linear exata para um grupo de treliças piramidais abatidas. A partir desta formulação foi possível investigar a perda de estabilidade e o comportamento das vibrações não lineares destas estruturas quando submetidas a cargas estáticas e dinâmicas.

Através do caminho fundamental de equilíbrio, para o caso axissimétrico, observa-se como se comporta a estrutura com o acréscimo do carregamento estático. Percebe-se a treliça apresenta um caminho de equilíbrio altamente não linear com decréscimo da rigidez efetiva ao longo do caminho fundamental, tornando-se esta nula no ponto de bifurcação nó-sela (ponto limite). Ao chegar a um ponto limite a treliça perde a estabilidade. Após um incremento infinitesimal de carga, a estrutura salta para uma posição pós-crítica, passando por uma região de instabilidade até atingir uma nova configuração estável, invertendo sua concavidade.

A variação da energia potencial com o nível de carregamento estático mostra que, à medida que a carga aumenta, o vale referente à posição pré-crítica diminui. Isso revela que, à medida que a carga compressiva cresce, a estrutura perde progressivamente a capacidade de resistir a perturbações iniciais sem que haja perda de estabilidade (escape do vale potencial).

Quando se analisa a estrutura com dois graus de liberdade, w e r , vê-se a partir dos caminhos de equilíbrio que para treliças abatidas perfeitas, o comportamento da estrutura sob carga vertical é essencialmente simétrico, pois para $\delta > 0.8$ (treliça abatida, base bem maior que a altura) a bifurcação simétrica

instável ocorre após o ponto limite, não influenciando a capacidade de carga da estrutura.

Quando se analisa o comportamento dinâmico da estrutura a partir dos planos de fase, identificam-se as diversas classes de soluções do sistema estrutural e a fronteira de estabilidade da posição de equilíbrio pré-crítica. É possível observar dois centros que correspondem a duas posições de equilíbrio estável e um ponto de sela que corresponde a uma posição de equilíbrio instável. As variedades homoclínicas do ponto de sela delimitam os três tipos possíveis de solução, as soluções restritas a cada vale potencial e as soluções de grande amplitude para níveis de energia maior que aquele associado ao ponto de sela. Conclui-se que, quanto maior a carga estática, menor a região segura relacionada ao vale potencial pré-crítico.

Incluindo-se na análise o efeito do amortecimento, observa-se que as órbitas apresentam um comportamento oscilatório de amplitude decrescente e convergem para as duas posições de equilíbrio (atratores do sistema não conservativo). Isso evidencia que a posição final do sistema não linear amortecido depende das condições iniciais. Além disso, pode-se destacar ainda que, com o aumento da carga estática, a bacia de atração associada à configuração pré-crítica diminui e, conseqüentemente, o nível de segurança da estrutura, o que está em concordância com as conclusões anteriores.

Os resultados mostram que a não linearidade geométrica leva a um comportamento estrutural eminentemente não linear com múltiplas posições de equilíbrio estático tanto para a estrutura carregada quanto descarregada. Isto leva a uma função potencial com dois vales que gera um complexo comportamento dinâmico não linear, como revelado pelos diagramas de bifurcação obtidos na análise paramétrica. A existência de várias soluções coexistentes leva a ocorrência de saltos dinâmicos que, por sua vez, levam a picos de tensões no regime transiente.

As fronteiras de estabilidade mostram que a carga de escape varia bastante com a frequência da excitação em virtude da ressonância principal e das ressonâncias sub-harmônicas e que a carga estática causa um decréscimo significativo na capacidade de carga da estrutura.

Finalmente, os resultados apresentados mostram que, em estruturas similares às estudadas neste trabalho, ou seja, estruturas abatidas, os complexos

fenômenos dinâmicos identificados devem constituir-se objetos de atenção por parte de engenheiros projetistas, visto que estes podem conduzir a estrutura com comportamentos indesejáveis e, até mesmo, perigosos.

6.2 **Sugestões para trabalhos futuros**

Os resultados apresentados neste trabalho mostram a importância da não linearidade na dinâmica e estabilidade da estrutura, o conhecimento deste tópico é fundamental para a segurança estrutural de treliças espaciais. Com isso sugere-se alguns tópicos para pesquisas futuras:

- O estudo da treliça imperfeita, assim como, o movimento tridimensional de treliças abatidas e o cálculo dos respectivos modos não lineares de vibração.
- Análise das medidas de integridade da treliça com base na evolução das bacias de atração e controle de vibrações das mesmas.
- Investigação do comportamento de nanoestruturas piramidais abatidas.
- Análise da treliça com contato unilateral em placas sanduiche.
- Análise experimental de cascas piramidais abatidas.