

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1. Conclusões.

Neste trabalho, foi adotado um modelo não linear para vigas de seção aberta e parede delgada, considerando grandes deslocamentos e os efeitos de encurtamento e acoplamentos entre flexão e torção.

Na formulação apresentada, consideram-se tanto não linearidades geométricas quanto inerciais. As equações não lineares que descrevem o acoplamento modal de flexo-torção da barra, foram usadas, juntamente com o método de Galerkin, para se obter um conjunto de equações discretizadas de movimento, o qual foi resolvido utilizando-se o método de Runge–Kutta de quarta ordem.

Usando esta formulação, foram inicialmente determinadas as frequências naturais, as cargas críticas e as relações frequência-carga axial para diversas seções, incluindo perfis monossimétricos e assimétricos, e, com base nestes resultados, foi estudado detalhadamente o comportamento dinâmico não linear do perfil de seção “C”, destacando o efeito do acoplamento não linear na região de ressonância e sua influência na estabilidade dinâmica da estrutura. Para isto foram usadas diversas ferramentas de dinâmica não linear, tais como diagramas de bifurcação, respostas no tempo, planos de fase e bacias de atração.

Os resultados dos diversos exemplos da análise linear mostraram que, em virtude das características geométricas dos perfis esbeltos de seção aberta monossimétricas e assimétricas, a interação entre flexão e torção sempre ocorre, sendo em muitos casos a carga crítica e a frequência fundamental associada a um modo de flexo-torção.

Ao se estudar o efeito do comprimento da barra nas frequências naturais e cargas críticas, verificou-se, para certos comprimentos, a coincidência de frequências naturais e cargas críticas, gerando a possibilidade de ressonâncias

internas e interação modal. Estes efeitos tornam-se importantes quando se consideraram os acoplamentos devidos as não linearidades geométricas.

Através de uma minuciosa análise das bifurcações foram determinadas as fronteiras de estabilidade para uma viga submetida a um carregamento lateral harmônico. Em particular, investigou-se a influência da posição do carregamento na carga crítica lateral. Os resultados mostraram que a frequência da excitação e a posição do carregamento têm grande influência na capacidade de carga da estrutura. A presença de super- e sub-harmônicos foram detectadas, levando a diversas regiões de ressonância secundárias, o que provoca grande variação de carga crítica com a frequência da excitação.

Os resultados mostraram que, dependendo apenas da magnitude do carregamento e do nível de amortecimento, podem surgir ao longo das curvas de ressonância clássicas bifurcações do tipo *pitchfork* que levam a uma quebra de simetria, bem como bifurcações por duplicação de período. Estas bifurcações estão associadas a vibrações não planares de pequena, moderada e grande amplitude. Oscilações periódicas e quase periódicas são observadas.

Finalmente, os resultados apresentados mostram que, em estruturas similares às estudadas neste trabalho, os complexos fenômenos dinâmicos identificados devem constituir-se objetos de atenção por parte de engenheiros projetistas, visto que estes podem conduzir a estrutura a comportamentos indesejáveis e, até mesmo, perigosos.

6.2. Sugestões.

Como continuação do presente trabalho, são sugeridos os seguintes tópicos de pesquisa:

- Investigar o efeito das condições de contorno, incluindo ligações semi-rígidas, bem como empenamento livre e impedido, nas vibrações não lineares e instabilidade dinâmica de vigas esbeltas de seção aberta.
- Analisar o comportamento dinâmico não linear de outros perfis monossimétricos e, em particular, perfis assimétricos.

- Estudar a interação entre flexão e torção em barras submetidas a cargas axiais e laterais. Em particular a influência do carregamento combinado na instabilidade estática e dinâmica de vigas-coluna.
- Pesquisar a importância de ressonâncias internas nas vibrações não lineares de vigas esbeltas de seção aberta.
- Desenvolver modelos mais refinados para o estudo de interação e acoplamento modal em elementos de vigas esbeltas de seção aberta, comparação dos resultados com o método de elementos finitos e dedução de modelos de ordem reduzida para análise de bifurcações e bacias de atração.
- Realizar testes experimentais, para validar o modelo desenvolvido e verificar o comportamento destes perfis nas situações estudadas.