

5 Conclusões

Com o objetivo de estudar a viabilidade e eficiência de elementos enriquecidos no estudo de instabilidade e dinâmica, foi realizado um trabalho em conceitos teóricos e com a elaboração de um programa computacional utilizando o software Maple 9.0. Foi implementado um procedimento de cálculo para a obtenção de cargas críticas e modos de flambagem e frequências naturais com seus respectivos modos de vibração, válido para elementos diversos com funções gerais.

O programa realiza o cálculo das matrizes de rigidez elástica, geométrica e de massa, resolve os problemas de autovalores e autovetores, e plota modos de flambagem, nas direções 'u' e 'v', curvas carga-deslocamento generalizado, e modos de vibração.

Deve ser observado que o programa Maple, neste caso particular em que os elementos são retangulares, torna possível uma integração analítica exata para obtenção das diversas matrizes.

No Capítulo 4 foi mostrada uma coluna engastada-livre com seção transversal constante e submetida a uma tensão distribuída na extremidade livre, variando-se a relação entre o comprimento da peça e a altura da seção. O fato de a diferença entre resultados teóricos e numéricos diminuir, quando a peça fica esbelta, é explicado por ser o elemento adotado em análise um elemento bidimensional, enquanto os modelos teóricos usados para comparação são unidimensionais.

Para os resultados das frequências naturais, concluiu-se que para funções polinomiais de 4º, 5º e 6º graus, tanto as frequências quanto os modos de vibrações ainda não estão próximos dos resultados analíticos para peças esbeltas. Já com funções polinomiais de 7º grau os resultados são satisfatórios, com os desvios ocorridos podendo ser admitidos devido ao fato de os valores analíticos usados para comparação não considerarem o efeito de cisalhamento.

Em outro teste, foram liberados graus de liberdade adicionais de rotações correspondentes ao lado apoiado do elemento em balanço. Observou-se que,

quando a peça é muito curta, a extremidade que era para estar engastada sofre deslocamentos não representando corretamente as condições de contorno. Isto mostra que são necessários cuidados especiais com esses graus de liberdade de rotação.

Verificou-se que o tempo de processamento tende a crescer substancialmente ao se aumentar o número de funções. Isto ocorre porque as integrações envolvidas tornam-se muito demoradas e também porque o sistema de equações é acoplado (matrizes cheias), gerando a necessidade de grande número de operações no caso de alto refinamento. Esta é uma deficiência do enfoque adotado *vis a vis* o enfoque de divisão em elementos de baixa ordem, que requerem maior número de graus de liberdade, mas levam a integrações rápidas e a matrizes esparsas.

Para o efeito do dano do material foi demonstrado que o tratamento linearizado da flambagem com material não linear leva a resultados consistentes, com uma redução da carga estimada de flambagem. Este procedimento, ainda a ser implementado em forma mais geral, permite uma análise com pouco custo computacional, podendo ser útil em estudos preliminares de projeto. Naturalmente, mesmo tal estudo tendo sido feito, é recomendável fazer a verificação da carga de colapso e do comportamento não linear de forma mais completa possível.

Portanto, com todos os aspectos acima citados, tem-se que os objetivos desta dissertação de mestrado foram devidamente cumpridos, com a implementação dos estados planos de tensão e deformação, e a capacidade de se analisar cargas de flambagem, frequências, modos de flambagem e modos de vibração. Foi possível compreender melhor o funcionamento de elementos enriquecidos com séries de funções. Não foi possível obter modos localizados (enrugamentos, faixas danificadas) de forma confiável, um problema ainda não resolvido e sob intenso estudo em diversas instituições. No entanto, a implementação aqui colocada permite a introdução bastante simples de outras famílias de funções buscando atender a tais objetivos.

Colocam-se como desenvolvimentos futuros a implementação computacional de funções adequadas para localização de deformações, a implantação de condições de ortogonalidade ao desenvolver as funções adicionais, a ampliação do estudo para cascas, placas sanduíches e vigas-parede e a inclusão

o estudo não linear no efeito do dano. Seria de interesse verificar o grau de deterioração das soluções devido a mudanças de geometria, bem como estudar regras de integração especializadas para elementos de alta ordem.