

## 6 Conclusões

Desenvolveu-se nesta dissertação uma metodologia para modelar a dinâmica de uma casca cilíndrica laminada numa faixa considerada de alta frequência (pequenos comprimentos de onda com relação a espessura).

A teoria discreta de Reddy (*Reddy's discrete layerwise theory*) foi empregada para descrever o campo de deslocamentos ao longo da espessura do laminado. As equações de balanço e as equações constitutivas foram simplificadas utilizando a transformada de Fourier na aplicação do princípio variacional para finalmente obter a equação de estado que governa a dinâmica desta casca. Esta equação de estado tem como variáveis de estado os deslocamentos e as forças generalizadas.

A validação do método proposto neste trabalho foi feito comparando o espectro de frequência dos modos de propagação exato com o obtido pela teoria de Reddy. Destas comparações conclui-se que a teoria de Reddy fornece excelentes resultados para representar ondas com comprimentos de onda de até  $1/5$  da espessura do cilindro o que sem dúvida é representativo da faixa de altas frequências. Além disso constatou-se também, que a teoria de Reddy é capaz de representar campos de deslocamentos complexos a longo da espessura do laminado cilíndrico, que como foi analisado no capítulo anterior, estão associados a ondas guiadas na faixa de altas frequências.

Deve se destacar que a obtenção de resultados para uma maior faixa de frequência (uma menor relação entre o comprimento de onda e a espessura do laminado cilindro) requer maior esforço computacional e maior tempo. Os programas computacionais utilizados nas simulações nesta dissertação foram desenvolvidos no ambiente Matlab<sup>®</sup>, versão 6.0. No entanto, o emprego de uma linguagem como Fortran ou C, pode melhorar significativamente este tempo computacional.

Para resolver a equação de estado obtida a partir da teoria de Re-

ddy empregou-se o método de Riccati também conhecido como método da imersão invariante. Com este método é possível trabalhar com a equação de estado, que se torna mal condicionada em altas frequências. Constatou-se que esta técnica é bastante estável para uma ampla faixa de frequência e pode ser aplicada para qualquer relação espessura-raio interno do cilindro, ou para qualquer número de camadas isotrópicas, já que na implementação do algoritmo de solução não foi feita nenhuma restrição com relação a estes parâmetros. Assim, a aplicação desta técnica permitiu encontrar a solução da equação de estado para uma ampla faixa de frequências.

Na faixa de baixas frequências os resultados obtidos a partir da teoria desenvolvida nesta dissertação foram comparados com os obtidos pelo método dos elementos finitos. Empregou-se o programa comercial de elementos finitos *ANSYS<sup>TM</sup>*, versão 5.5 para comparar estes resultados. Duas configurações foram analisadas : um cilindro livre-livre e um cilindro engastado-livre. Estas comparações só puderam ser feitas para o caso axi-simétrico ( $n = 0$ ), já que a quantidade de elementos requeridos para modelar o cilindro laminado é muito grande para todos os outros casos (quando  $n > 0$ ). Assim, comparou-se as frequências naturais e a resposta em frequência do deslocamento radial de um cilindro isotrópico e laminado obtendo resultados satisfatórios. O perfil do campo de deslocamento ao longo da espessura do cilindro laminado para duas frequências determinadas foram também comparados com sucesso.

Finalmente é importante destacar que a metodologia desenvolvida nesta dissertação foi aplicada no caso de um cilindro laminado isotrópico por partes, mas esta mesma metodologia poderia ser aplicada no caso mais geral de um cilindro compósito ortotrópico.