

## 9

### Conclusões e considerações finais

O presente trabalho teve como objetivo fundamental demonstrar a aplicabilidade da otimização de estruturas reticuladas considerando incertezas. Considerou-se para fins da otimização a variação nas dimensões das seções transversais dos elementos, buscando-se com isso a estrutura mais leve, atendendo às restrições do problema. Neste sentido, apesar das limitações referentes aos parâmetros aleatórios considerados e às restrições impostas ao problema, acredita-se que a proposta inicial foi cumprida de forma satisfatória.

Com o objetivo de preencher uma lacuna em relação à otimização de estruturas com a consideração de incertezas foi estudada a possibilidade do desenvolvimento de uma ferramenta auxiliar ao projetista de estruturas. Acredita-se que o estudo efetuado na realização deste trabalho, ainda que limitado, pode ser considerado como promissor, uma vez que não se limita ao estudo da otimização de estruturas e sim abrange outras áreas de pesquisa importantes e promissoras como a análise estatística e a análise de sensibilidade estatística de estruturas.

Como mencionado no início do presente trabalho, a simulação de Monte Carlo constitui-se na metodologia mais empregada para a realização da análise estatística de estruturas. Entretanto, sua utilização é em muitos casos limitada, dado o grande número de simulações necessárias para a obtenção de resultados plausíveis. Com essa consideração, optou-se pela utilização do modelo de análise estatística linear para a realização da análise estatística das estruturas, tendo a simulação de Monte Carlo como referência para comparação dos resultados. Em todos os exemplos apresentados, verificou-se que a análise estatística linear apresenta bons resultados. As comparações efetuadas se deram desde a análise passando pela análise de sensibilidade e terminando na etapa de otimização. Através dos resultados verificados, pode-se afirmar, ao menos para estruturas de comportamento linear elástico, que a análise estatística linear é um bom método

para a análise estatística de estruturas, sendo este um campo de estudo também promissor e que merece relativo destaque e, por conseguinte maiores aprofundamentos.

A consideração das propriedades mecânicas dos materiais como sendo as variáveis aleatórias do problema deveu-se ao fato destas possuírem um certo grau de variabilidade e também por ter-se optado em desenvolver o programa proposto de forma gradual. Uma vez verificada a aplicabilidade da formulação e da metodologia proposta com a consideração das propriedades mecânicas dos materiais como variáveis aleatórias do problema, a inclusão de outros fatores como aleatoriedade dos carregamentos ou dimensões se dá de forma semelhante.

Com respeito à análise de sensibilidade estatística pode-se dizer que esta se constituiu numa das etapas mais significativas do estudo, uma vez que não foram encontradas referências que tratassem desse assunto. Assim como citado, a análise de sensibilidade é fundamental na etapa de otimização e pode ser utilizada para determinação da significância dos parâmetros do modelo estrutural conforme apresentado no capítulo referente à implementação computacional.

A formulação proposta para o tratamento da otimização apresentou-se concisa e com resultados bastante satisfatórios. Salienta-se que a indicação de valores de aceitabilidade ou de segurança das estruturas não fez parte dos objetivos do trabalho, estando estes presentes na formulação do problema meramente como dados a serem informados.

Inicialmente tratou-se da formulação para o modelo de treliça e, posteriormente, para o modelo de pórtico. Em ambos os casos tomaram-se como restrição valores das probabilidades de deslocamento. Ainda com referência às restrições verificou-se que seria de grande interesse o tratamento da probabilidade de falha local da estrutura ocasionada por tensões excessivas nos elementos. Nesse sentido, implementou-se para o modelo de treliça esse tipo de restrição.

Alguns apontamentos referentes a esse tipo de restrição podem ser feitos. Tratando-se de análise estatística a resposta da estrutura é dada em termos estatísticos, por meio de valores médios e valores de dispersão. Entretanto, quando se trabalha com treliças isostáticas ou então com treliças constituídas por um único material não se verifica variação nos valores das tensões dos elementos

e conseqüentemente não são obtidos valores de dispersão. Desta forma para a utilização da formulação proposta deve-se estar trabalhando com estruturas para as quais se obtém valores de dispersão das tensões.

Outro aspecto importante verificado no decorrer do trabalho é aquele que trata dos valores de correlação entre deslocamentos, tensões e entre deslocamentos e tensões. Para estruturas de comportamento linear tem-se sempre correlação total. Com essa constatação verificada, pode-se afirmar que no caso de problemas com mais de uma restrição ao invés de adotar funções de densidade de probabilidade múltiplas pode-se considerar as mesmas como sendo definidas para uma única variável. Essa característica simplifica muito a obtenção dos valores das integrais contidas nas restrições e viabiliza a solução dos problemas.

Com respeito à implementação computacional do programa pode-se afirmar que se constituiu em uma etapa significativa do trabalho, mas que indubitavelmente acarretou em benefícios para a utilização do programa, principalmente no que se refere à análise de sensibilidade e a otimização.

Como prosseguimento ao presente estudo objetiva-se, além da consideração de outros parâmetros aleatórios como carregamentos e dimensões das seções, a gradativa consideração de outras restrições abrangendo com isso todas as verificações necessárias para a realização de um projeto estrutural. Considerações pertinentes ao tipo de análise adotada também devem ser estudadas, como a realização de uma análise estatística não linear. Com respeito às restrições de probabilidade de falha, estas podem ser efetuadas não mais no âmbito local, mas sim no global. Valores de confiabilidade global da estrutura podem ser determinados gerando-se, com isso, um procedimento de projeto ótimo de estruturas que apresentem valores apropriados de segurança.

Outros modelos estruturais como grelhas, estruturas reticuladas espaciais, placas ou cascas podem ser estudadas, uma vez que para isso poucas modificações em relação ao trabalho realizado necessitam ser realizadas. Seria interessante também comparar a análise estatística linear com o método de simulação de Monte Carlo para estruturas com comportamento não linear físico e geométrico.

Pretende-se que os estudos apresentados neste trabalho não se constituam unicamente numa demonstração acadêmica de um campo alternativo de aplicação

de técnicas de otimização ou de análise estatística de estruturas, mas sim num passo efetivo, mesmo que modesto, no processo de desenvolvimento de ferramentas computacionais para busca de soluções econômicas e seguras.