

1 Introdução

1.1. Motivação

A partir da década de 1970 a consideração de cargas sísmicas, no projeto de instalações e de seus componentes para as usinas termonucleares, entrou na pauta da implantação de empreendimentos industriais no Brasil. Com este argumento, desde o início de 1997, tem sido mantida uma colaboração entre a ELETRONUCLEAR e a PUC-RIO/DEC para o desenvolvimento de metodologia para a análise sísmica de sistemas estruturais e de seus componentes.

No presente, há o interesse em um estudo que leve à compreensão do funcionamento, entendimento da solução e da forma mais adequada de utilização do programa SASSI2000.

Esse programa, que vem sendo usado na análise estrutural das usinas nucleares de Angra, é uma valiosa ferramenta que incorpora recursos particulares na análise estrutural sísmica destacando-o entre os demais protocolos existentes pelos seguintes pontos:

- análise no domínio da frequência;
- consideração da interação solo-estrutura;
- composição de ondas variável no campo-livre, com opção de ondas de corpo, tipo P, SV e SH, com ângulos de incidência variáveis, e ondas superficiais, tipo Rayleigh e Love, para frequências de análise até 4Hz, com fatores de participação de até 20% no total do campo de ondas;
- fornecimento de funções de transferência, $H(\omega)$, que permitem o desenvolvimento de algoritmos para análise probabilística da resposta dos sistemas estruturais.

Porém, tais características agregam também algumas dificuldades de modelagem dos sistemas a serem analisados entre as quais têm um peso apreciável:

- a escolha de um conjunto básico de frequências de análise;

- a eleição adequada dos tipos de ondas, das suas inclinações e das suas participações relativas, na composição do campo-livre.

Pouco se sabe sobre as configurações dos modos de vibração fornecidos pelo campo-livre. Propõe-se analisar através da vertical do ponto de controle estes modos.

Até que ponto a interação do solo com a estrutura modifica as frequências do campo-livre, os modos de vibração e a propagação com a distância, são questões a serem respondidas.

Também não se sabe até que ponto o ângulo de inclinação da onda incidente interfere nas frequências do sistema.

Estudos já foram feitos e relatórios produzidos, porém essas questões ainda não estão totalmente respondidas. Para se ter maior confiabilidade nos resultados é que se propõe pesquisar esses tópicos mais a fundo neste trabalho.

1.2. Contextualização

Estudos anteriores, Dalcanal (2004), mostram a composição básica das frequências de análise e a sugestão de uma metodização para utilização exclusiva do SASSI na definição das frequências naturais do sistema, pois, é de muita valia na redução do tempo total de análise e obtenção de resultados confiáveis. Prossegue-se assim com quase 80 frequências para a análise do campo-livre.

Outra questão que também tem sido motivo de estudos e dúvidas é a composição de ondas do campo-livre. Infelizmente, encontra-se uma grande discrepância entre o que consta no manual do usuário e os resultados fornecidos pelo programa. Também se faz uma ambientação geral no Programa SASSI2000, e, em caráter geral, diz-se que o programa admite os movimentos do terreno no campo-livre compostos por combinações de ondas P, SV e R ou SH e L, com coeficientes relativos de participação de cada onda variáveis de 0 a 100%. O segundo grupo de ondas (SH e L) é orientado aos modelos axissimétricos. As ondas superficiais derivam-se das ondas de corpo provocadas pela presença da superfície livre do terreno e recebem coeficientes relativos de participação que não ultrapassam 0,20 do total.

Também se declara que essa composição de ondas conjugada com os ângulos de incidência de cada uma tem uma participação grande na definição da excitação à estrutura. Por exemplo, um movimento de controle segundo a direção do eixo X é transformado, dependendo da natureza e ângulos de incidência das ondas componentes, em movimentos segundo os eixos x e z, podendo ser este último superior ao movimento de controle.

É necessário muito critério e consciência na especificação do campo de ondas para o movimento do terreno, pois algumas soluções apresentadas pelo programa são absurdamente altas e, em outros casos, dependendo da combinação de ondas adotada, a solução simplesmente não é apresentada.

Os fornecedores do SASSI, afirmam que, de fato, há situações em que o programa não responde corretamente, especialmente para ângulos de incidência, α , de 45° e 90°, com onda SV e a combinação de onda P com SV. Também dizem que não se deve, na mesma execução, associar diferentes tipos de ondas, contrariamente ao que consta no manual. Evitando-se esses valores do ângulo α , os valores díspares desaparecem, mas sempre fica uma dúvida. A questão da combinação de ondas permanece em aberto ainda que se tenham obtido algumas soluções para as combinações.

A resposta dinâmica das estruturas durante um terremoto depende das características do terremoto no movimento do solo, propriedades dos materiais e geometria da estrutura e também da fundação, condições locais do solo como também do meio ambiente geológico do local. O efeito da interação solo estrutura deve ser considerada na análise de certos tipos de estrutura. A completa análise da interação solo estrutura consiste de duas partes; a resposta da análise do movimento do campo livre e uma análise de interação da resposta da estrutura. A experiência tem mostrado que as características do movimento do campo livre é um dos mais importantes fatores que envolvem a análise da interação solo estrutura.

Uma visão geral dos métodos da interação solo-estrutura foi apresentada por Lysmer (1978).

1.3. Objetivos

Ampliar o entendimento da solução do campo-livre na vertical do ponto de controle e da sua propagação na horizontal. Analisar a influência sobre as frequências e configurações modais do terreno, no campo-livre, devido à variação da inclinação com a vertical das ondas de corpo definidoras do campo de excitação.

Ampliar o intervalo seguro de aplicação do programa SASSI, hoje confinada a umas poucas situações de valores de ângulo de incidência e de composição de ondas e aumentar o conhecimento e a sensibilidade quanto à maneira de trabalhar com o programa.

1.4. Organização do texto

Organiza-se esse trabalho em oito capítulos. O primeiro, de introdução, onde se esclarece o porquê do estudo e quais os objetivos do mesmo.

O segundo capítulo traz uma revisão dos assuntos teóricos, tais como: domínio da frequência, funções de transferência, propagação de ondas elásticas, excitação sísmica.

No terceiro capítulo, faz-se uma ambientação no programa SASSI, seu conteúdo, e a apresentação da resolução através do diagrama de bloco do programa.

O quarto capítulo mostra os cenários matemáticos e físicos para se chegar à solução do campo-livre, e os principais protagonistas no cenário do sítio e da excitação. Também se demonstram os cálculos para obtenção das frequências de referência.

O quinto capítulo é dedicado ao desenvolvimento dos estudos através da composição de ondas do campo-livre, estratégia de trabalho, o modelo estudado, o programa de ensaios, a apresentação e análise dos resultados, finalizando com as conclusões parciais.

O sexto capítulo trata da análise interação solo-estrutura, estratégias, definição do modelo, modos e frequências dessa interação, propagação com a distância e conclusões parciais.

O sétimo capítulo trata das conclusões finais, sugestões para prosseguimento e a apresentação de uma sinopse aos usuários.