

1 Introdução

1.1. Situação geral

A partir da década de 1970 a consideração de cargas sísmicas, no projeto de instalações e de suas componentes para as usinas termonucleares, entrou na pauta da implantação de empreendimentos industriais no Brasil.

Nesse contexto, 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 de um estudo que leva à compreensão do funcionamento e da forma mais adequada de utilização do programa SASSI2000.

Esse programa, que vem sendo utilizado 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 nos principais 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 superficiais, tipo Rayleigh e Love, com fatores de participação variáveis para cada frequência;
- 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.

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. Situação particular

Em estudos anteriores analisou-se o procedimento proposto no manual do programa para determinação do conjunto básico de frequências de análise e, concluiu-se que, o programa sugere dois caminhos para definição das frequências naturais nas regiões de pico das funções de transferência:

- a utilização de outro programa que determine os modos e frequências naturais do sistema;

- o estudo da função de transferência fornecida pelo SASSI com um conjunto inicial de frequências de análise igualmente espaçadas e, com base nos picos insinuados na função, a definição do conjunto final de frequências de análise para a continuação do trabalho.

Também foi afirmado que:

- o esquema de interpolação entre cinco frequências, proposto pelo SASSI, é suficiente para obterem-se os demais pontos necessários à definição das funções de transferência;

- é indispensável observar as frequências naturais principais, pois a não observação dessas pode levar a valores inesperados na função;

- frequências de pequena participação modal podem ser descartadas.

Mas, com a utilização continuada do programa, experiências outras foram incorporadas e mais indagações surgiram. Como por exemplo, a identificação, a partir de um outro programa, das frequências naturais do sistema para servirem de pauta para o grupo de frequências de análise, introduz uma parcela razoável de trabalho extra, já que os modelos usados no SASSI diferem bastante dos de outros protocolos; então, surge a questão sobre a metodização de uma sistemática

alternativa, para a localização dessas frequências naturais, que leve em conta a sua sensibilidade aos seguintes pontos:

- pequenos desvios nos valores das frequências de cálculo introduzidas no intervalo entre duas frequências naturais sucessivas;
- mudança no número de frequências de cálculo inseridas entre duas frequências naturais.

Outra questão que também tem sido motivo de estudos e dúvidas é a composição de ondas do campo-livre. Uma primeira aproximação ao problema é feita com o objetivo de verificar as opções disponíveis ao usuário. Infelizmente, encontra-se uma grande discrepância entre o que consta no manual do usuário e o que é verificado na prática. 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 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 0,25.

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 x é transformado, dependendo da natureza e ângulos de incidência das ondas componentes, em movimentos segundo x e z, podendo ser este último superior ao movimento de controle.

E, que são necessários 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, em correspondência direta, 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. 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 combinação P e R, SV e R, P e SV e R, SV e P.

1.3. Objetivos

Desenvolver uma metodologia para definição do conjunto de frequências de análise sem utilização de um programa auxiliar, avaliando o intervalo de discretização mais conveniente para a faixa de frequências de 0,3 – 30 Hz, de modo a ser obtida uma boa aproximação na localização das frequências naturais do sistema solo-estrutura e, em consequência, no cálculo das funções de transferência.

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 do programa mediante a organização de uma base de uma série de exemplos.

1.4. Organização do texto

Organiza-se esse trabalho em sete capítulos mais um Apêndice. O primeiro, de introdução, onde se esclarece o porquê do estudo e quais os objetivos do mesmo, bem como a sua forma de apresentação.

O segundo capítulo traz uma revisão teórica dos assuntos abordados, tais como: domínio da frequência, funções de transferência, excitação sísmica e propagação de ondas. Este último item é ainda complementado no Apêndice I.

No terceiro capítulo, faz-se uma ambientação no programa SASSI, seu conteúdo, como ele trabalha e dá-se atenção especial aos tópicos particulares de estudo: cálculo dos movimentos de campo-livre, influenciados pela definição da

natureza de ondas e do ângulo de incidência, e considerações sobre as frequências de análise.

O quarto e o quinto capítulos são dedicados ao desenvolvimento do estudo. O primeiro trata da composição de ondas do campo-livre e o segundo da questão de definição das frequências de análise. Ambos apresentam a estratégia de trabalho, o modelo estudado, o programa de ensaios, a apresentação e análise dos resultados, finalizando com as conclusões.

O sexto capítulo é dedicado às conclusões gerais e comentários sobre o trabalho final.

E, no sétimo capítulo, apresenta-se a bibliografia referenciada e consultada.

Encontra-se, no final do trabalho, no Apêndice I, uma revisão bibliográfica mais completa sobre propagação de ondas elásticas unidirecionais, tridimensionais e planas.