

5. Análise de Autovalores e Autovetores

5.1. Considerações Gerais

Os métodos de análise modal caracterizam-se pelo cálculo direto dos parâmetros modais da estrutura a partir dos registros no tempo de sua excitação e resposta. A estimativa dos parâmetros modais da estrutura pode ser realizada diretamente a partir dos sinais medidos experimentalmente ou após processamento dos mesmos.

A análise modal também pode ser feita com base em simulações numéricas, sendo, no entanto, consideradas as relações matemáticas que conceituam o problema dinâmico no domínio do tempo, ou da frequência.

A escolha dos perfis utilizados nestes modelos foi baseada nos resultados obtidos no capítulo três, seção 3.3.2, onde foram realizados cálculos que buscaram avaliar os aspectos dimensionais (área, rigidez) destes modelos, bem como ofereceu uma previsão do valor da frequência natural.

Primeiramente, foi avaliado o comportamento do modelo inicial para o qual não foram previstas barras de travamento lateral. Este modelo teve os montantes e diagonais fabricados com barras redondas de meia polegada, \varnothing (12,70mm), seus banzos inferiores compostos por cantoneiras duplas, \llcorner 2x(38.10 x 3,18mm) e os superiores por cantoneiras duplas \lrcorner 2x (50,0 x 3,18).

Posteriormente, foram adotados nove modelos matemáticos. Esses modelos possuem variações estruturais no que diz respeito aos perfis metálicos utilizados na construção da estrutura metálica principal e no sistema de travamento das vigas treliçadas (joists).

Os modelos 1, 2 e 3 tiveram seus montantes e diagonais fabricados com cantoneiras L (12,70 x 3,18 mm) e nos modelos 4, 5 e 6 os montantes e diagonais foram fabricados com barras redondas de meia polegada, \varnothing (12,70mm). Nos modelos 7, 8 e 9, os montantes foram fabricados com barras redondas, \varnothing (12,70mm) e as diagonais em cantoneiras L (12,70 x 3,18mm). Todas as vigas treliçadas (joists) tiveram seus banzos inferiores compostos por cantoneiras duplas, \llcorner 2x(38.10 x 3,18mm) e os superiores por cantoneiras duplas \lrcorner 2x (50,0 x 3,18).

A laje possui espessura de 52,50 mm, com peso próprio de 1850 kg/m³, conferindo aos modelos uma inércia efetiva em torno de 240×10^6 mm⁴.

Através das simulações numéricas foi possível determinar as frequências naturais e os modos de vibração dos modelos acima descritos. Comparativamente, foi apresentado o valor

da frequência fundamental calculada pelo AISC [8], para o exemplo original considerando o carregamento estimado para eventos com atividades rítmicas.

Finalmente, apresenta-se uma análise das frequências naturais e dos modos de vibração obtidos para os modelos.

5.2. Frequências Naturais

Nesta seção é apresentada a análise de vibração livre do modelo inicial e dos nove modelos estruturais desenvolvidos nesta dissertação com o intuito de se obter as frequências naturais e os modos de vibração dos mesmos.

Na análise numérica foram obtidos os valores representativos até o sexto modo de vibração para cada um dos modelos desenvolvidos. Estes dados foram dispostos na Tabela 5.1 e na

Tabela 5.2, sendo comparados com o valor da frequência fundamental do sistema estrutural proposto pelo AISC [8], apresentando a variação percentual encontrada em cada modelo proposto.

Tabela 5.1 - Resumo das frequências fundamentais do modelo inicial

Vão	Frequências naturais dos pisos apoiados em parede (Hz)						AISC [8]	Variação
	f_{01}	f_{02}	f_{03}	f_{04}	f_{05}	f_{06}	(Hz)	%
(14m)								
Modelo inicial	4,59	4,59	4,59	4,61	4,61	4,61	5,8	-3,28

O modelo inicial apresentou o valor de frequência natural igual a 4,59 Hz para o modo fundamental. A falta de travamento lateral levou o sistema de piso a ter um comportamento de corpo rígido, desta forma, os seis primeiros modos apresentaram valores de frequências próximos ao da frequência fundamental.

A Tabela 5.2 apresenta as frequências naturais dos pisos apoiados em paredes com sistemas de travamento diferenciados para cada modelo, conforme descrito no Capítulo 3, seção 3.4.

Os modelos 1 e 7 apresentaram o valor da frequência natural fundamental coincidente com a encontrada no modelo do AISC. Além disso, os modelos 1 e 7 apresentam o mesmo tipo de travamento com barras inclinadas duplas. Nota-se ainda que para os modelos com o mesmo tipo de perfil utilizado na fabricação das vigas treliçadas (joists), tem-se a frequência natural aumentada (modelos 4, 5 e 6).

Tabela 5.2 - Resumo das frequências fundamentais do modelos 1 a 9.

Vão (14m)	Frequências naturais dos pisos apoiados em parede (Hz)						AISC [8] (Hz)	Variação %
	f_{01}	f_{02}	f_{03}	f_{04}	f_{05}	f_{06}		
Modelo 1	5,80	5,91	6,13	6,42	6,56	7,89	5,8	0,0
Modelo 2	5,61	5,72	5,89	6,14	6,28	7,22		3,10
Modelo 3	5,52	5,55	5,62	5,75	5,99	6,35		4,83
Modelo 4	6,65	6,67	6,74	6,86	7,08	7,41		10,37
Modelo 5	6,82	6,93	7,12	7,40	7,51	8,78		17,58
Modelo 6	6,71	6,80	6,96	7,20	7,32	8,19		15,68
Modelo 7	5,80	5,91	6,13	6,42	6,56	7,91		0,0
Modelo 8	5,62	5,72	5,89	6,14	6,29	7,21		3,10
Modelo 9	5,52	5,55	5,62	5,75	5,99	6,35		4,83

Em relação as frequências naturais dos demais modelos, como era de se esperar, estas sofrem grande influência do tipo de travamento. Tal fato pode ser observado quando são comparadas as frequências naturais dos modelos 1, 2 e 3 os quais mesmo possuindo a mesma configuração física, apresentaram frequências naturais diferentes.

Nos modelos 1 a 3 e nos modelos 7 a 9 a única diferença entre eles foi a substituição dos montantes por barras circulares, no entanto percebe-se que esta alteração não causou mudanças no seu comportamento modal, pois as frequências encontradas para estes modelos são idênticas.

Considerando que o aumento da rigidez nos modelos eleva o valor das frequências naturais, podem-se verificar nos modelos 4, 5 e 6 tal ocorrência. A presença de barras circulares funcionando como diagonais, aumenta muito o valor da frequência natural.

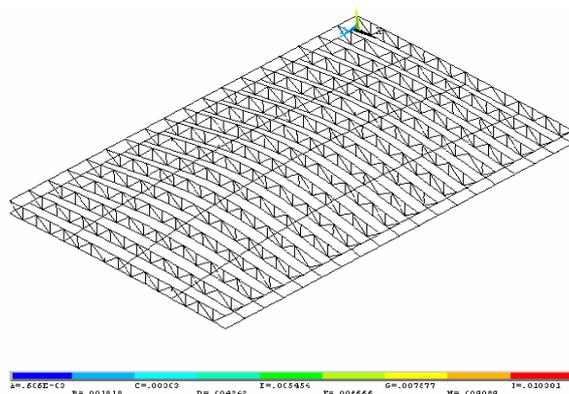
Verifica-se, no entanto, que o fator de maior influência no aumento da frequência natural foi a geometria dos modelos, por exemplo, nos modelos 4, 5 e 6, que têm a alma (montantes e diagonais) constituída por barras circulares apresentaram os maiores valores de frequências naturais, implicando no aumento de rigidez do conjunto.

5.3. Modos de Vibração

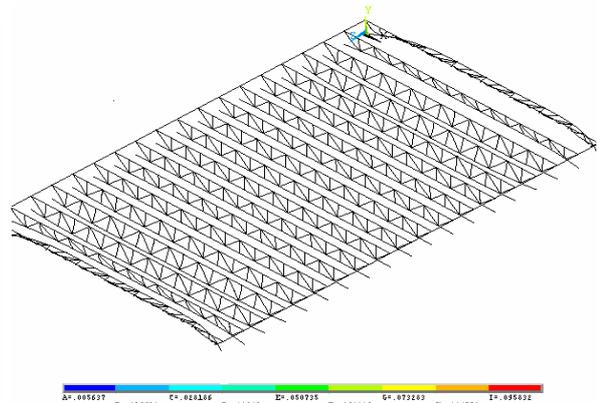
Para o cálculo da frequência fundamental do modelo proposto pelo AISC [8] são levados em consideração o tipo da atividade desenvolvida sobre o piso (atividades rítmicas), a densidade dos participantes e, ainda, os dados associados a atividade desenvolvida, representada por coeficientes de carregamento dinâmico e da aceleração limite, ambos tabelados neste guia [8].

Na Figura 5.3-a até a Figura 5.3-l, são mostradas as formas modais do primeiro modo referente ao modelo 1 e as formas modais das posições equivalentes no modelo inicial. Observa-se, portanto, que a falta de travamento levou as vigas treliçadas (joists) a vibrarem isoladamente proporcionando algumas formas que não são necessariamente as formas modais correspondentes aos modos de vibrar destas estruturas.

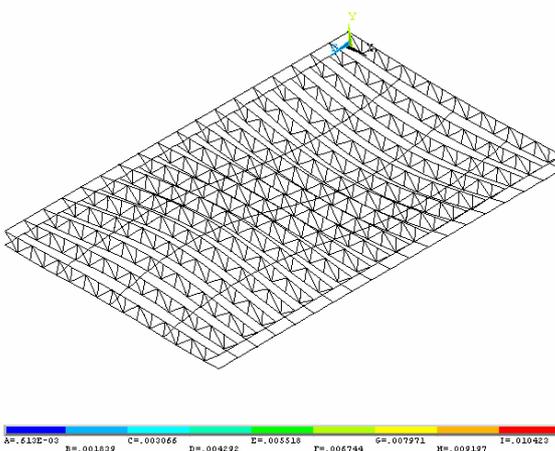
Para esclarecer esta ocorrência, são apresentadas as Figuras 5.1 (a, c, e, g, i, k), apresentando forma modal convencional esperada para estas estruturas (Modelo 1), enquanto as Figuras 5.1 (b, d, f, h, j, l) apresentam as formas apresentadas para mesma estrutura sem o travamento [42], as formas modais identificam uma inconsistência de projeto, aqui ocasionada pela ausência de travamento lateral das estruturas treliçadas (joists).



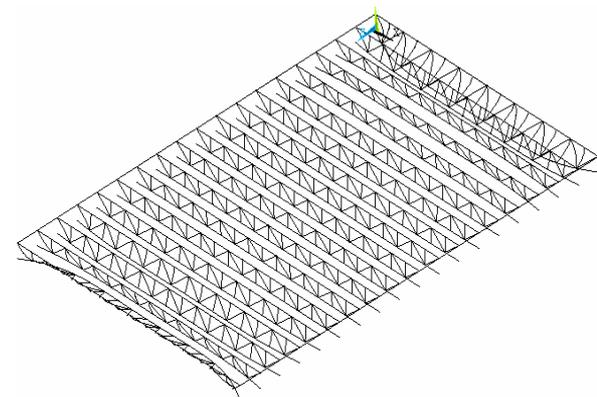
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 5,80\text{Hz}$



b) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 4,59\text{ Hz.}$

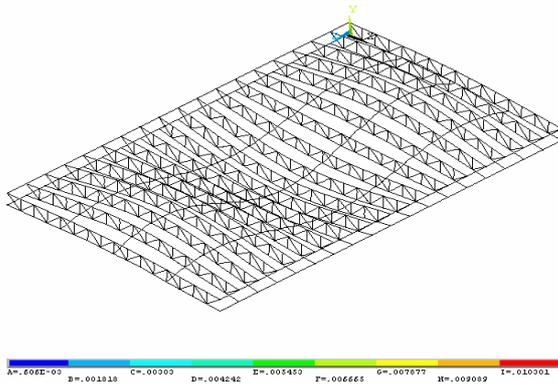


c) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 5,91\text{Hz.}$

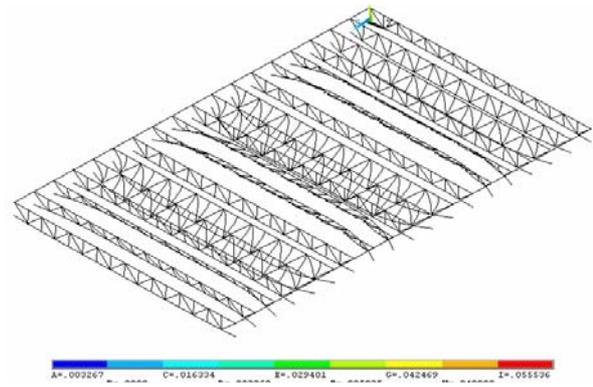


d) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 4,59\text{ Hz.}$

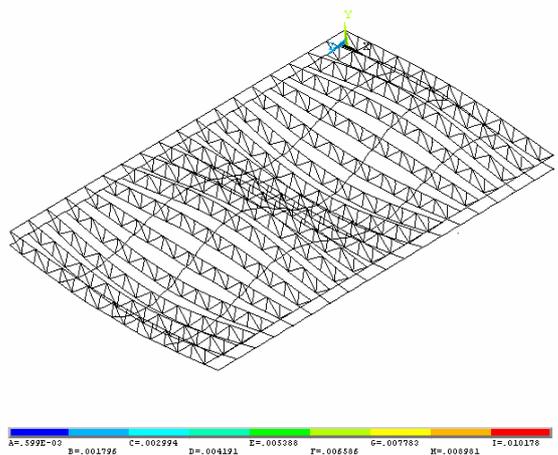
Figura 5.1 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo inicial e Modelo 1 para primeiro e segundo modo [42]



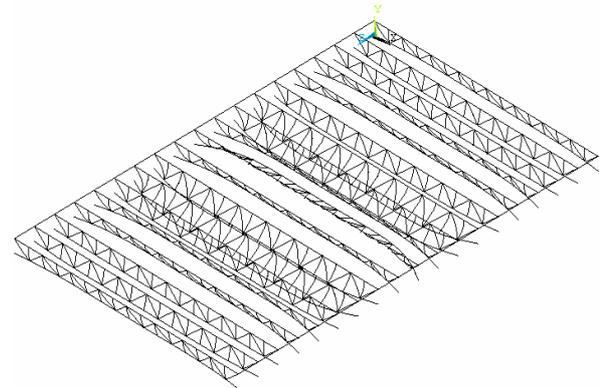
e) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03}=6,13$ Hz



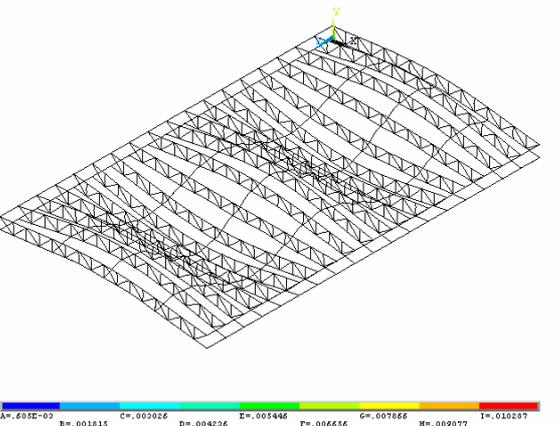
f) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03}=4,61$ Hz.



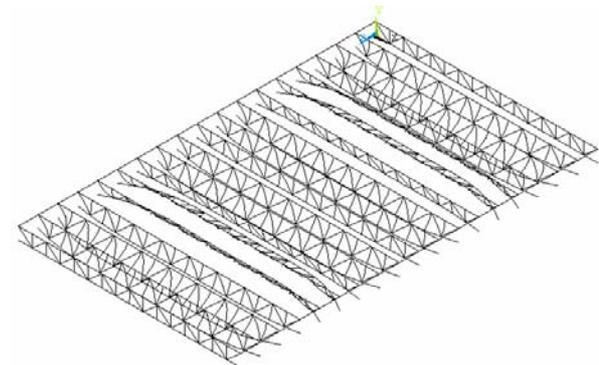
g) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04}=6,42$ Hz



h) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04}=4,61$ Hz.

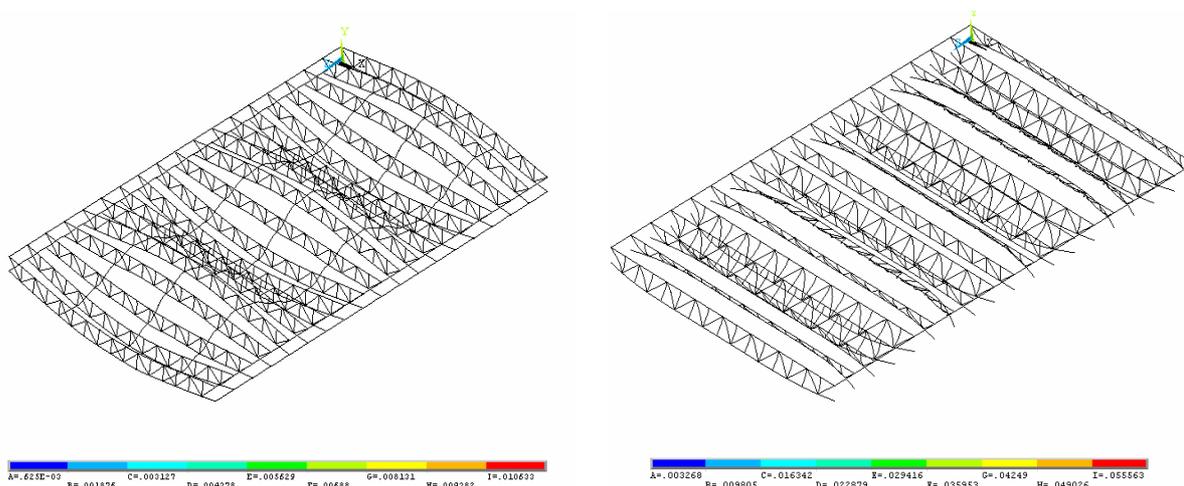


i) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05}=6,56$ Hz.



j) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05}=4,61$ Hz.

Figura 5.2 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo inicial e Modelo 1 para o terceiro, quarto e quinto modo.



k) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06}=7,89$

l) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06}= 4,61$ Hz.

Figura 5.3 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo inicial e Modelo 1 para o sexto modo.

Tendo em vista o comportamento modal do modelo inicial, a partir daqui serão analisados somente o comportamento dos modelos 1 a modelo 9.

A Figura 5.4 e a Figura 5.5 mostram a influência da rigidez do modelo na amplitude modal.

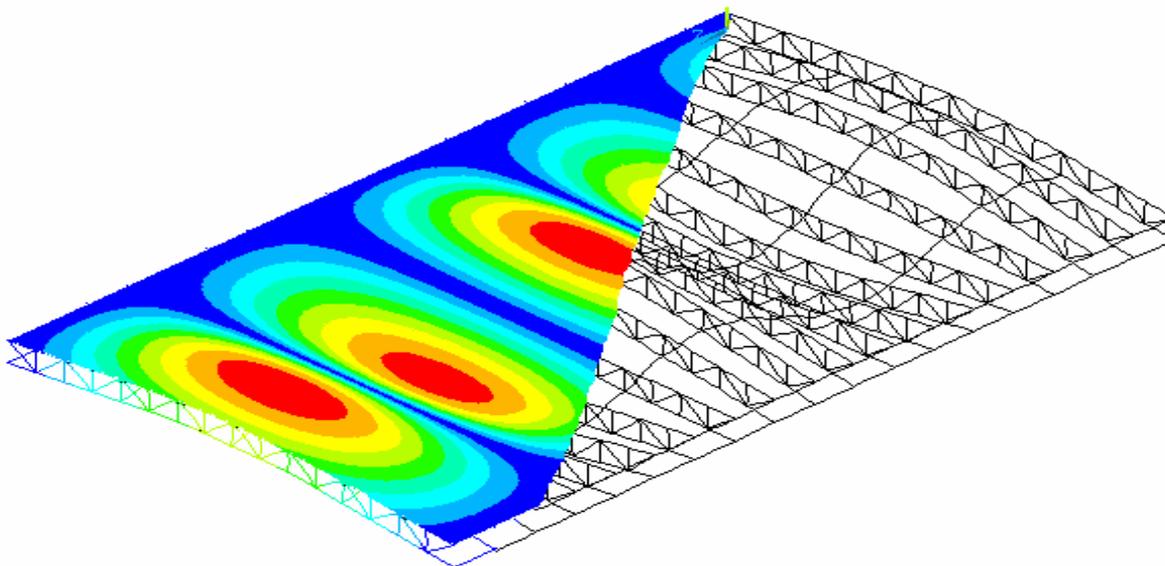


Figura 5.4 - 5º Modo de vibração do modelo 1, adaptação [42]

A Figura 5.4 apresenta amplitudes mais expressivas, em contraste com o apresentado na Figura 5.5, que apresenta amplitudes menores, Figura 5.4. Nas figuras podem ser identificados também os alinhamentos das barras de travamento lateral e diagonal, unindo os banzos inferiores das vigas treliçadas (joists).

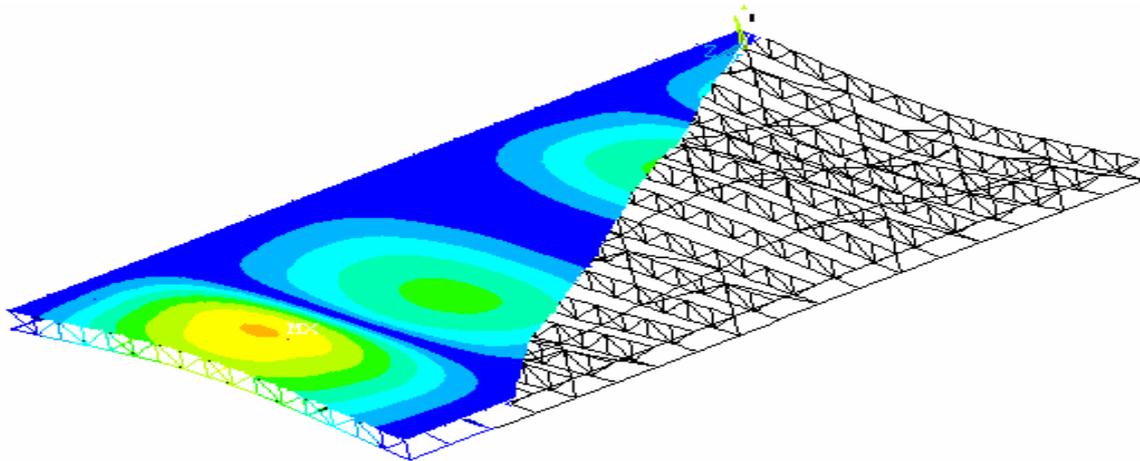


Figura 5.5 - 4º Modo de vibração do modelo 4, adaptação [42]

A seguir, da Figura 5.6 a Figura 5.13 são apresentadas as formas modais dos modelos propostos, em ordem de modelo. As formas modais exibidas apresentam características bem regulares, mas que são importantes para o conhecimento do comportamento dos modelos e útil para validar teoricamente os resultados que serão apresentados nos capítulos posteriores, quando estas estruturas estarão sujeitas ao carregamento dinâmico.

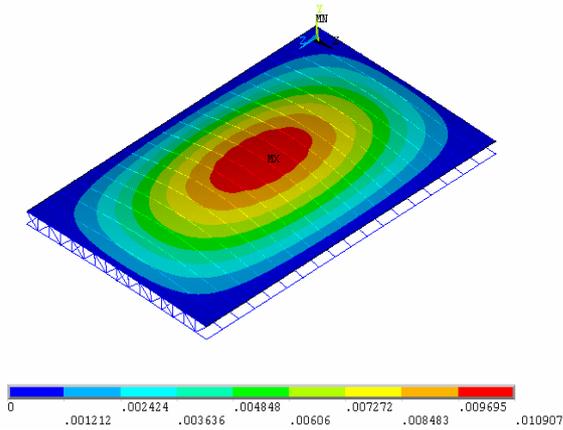
A partir da análise destas figuras não foi possível a identificação de outros modos senão o de flexão. A aparente identidade mostrada na forma destes modos é justificada pela natureza estática do modelo, que se comporta como um elemento de placa bi-apoiado.

Nas seis primeiras formas modais de cada um dos modelos foram encontradas pequenas alterações que dizem respeito ao sentido de vibrar e da amplitude modal. Em alguns modelos as seqüências das amplitudes aparecem deslocando-se no sentido inverso ao outro, por exemplo, no terceiro modo do modelo 1, Figura 5.6-c, a amplitude central desloca-se para baixo, para o mesmo modo no modelo 3, Figura 5.7-c, mantendo no entanto, a mesma característica.

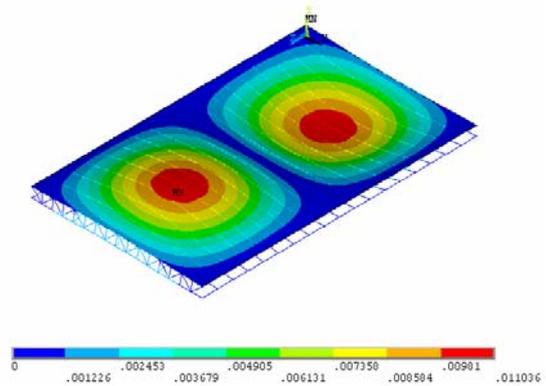
Na representação gráfica dos modelos as tonalidades mais claras apresentam as menores amplitudes e as tonalidades mais escuras as maiores amplitudes.

O primeiro modo tem amplitude mais elevada nas coordenadas centrais do modelo Figura 5.6-a. No segundo modo, Figura 5.6-b, a disposição da forma é tal como se o piso fosse repartido em duas partes, apresentando em cada uma destas partes, a mesma forma do primeiro modo. A mesma situação repete-se para os demais modos, tendo o piso subdividido de acordo com o modo e estas subdivisões apresentando um comportamento isolado da forma do modo fundamental como um novo piso.

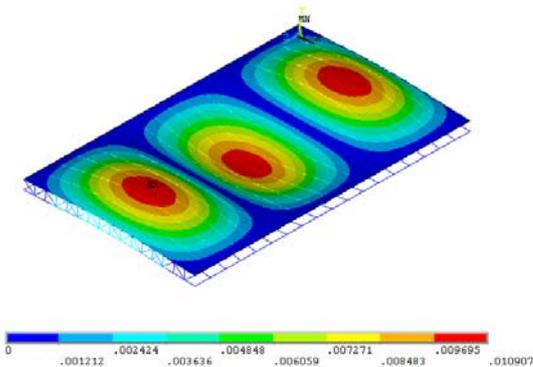
Nos modos ímpares, Figura 5.6-e, percebe-se a formação de regiões com amplitudes simétricas a partir do centro, à medida que as divisões aproximam-se das extremidades do piso, estas amplitudes aparecem parcialmente. Tal característica denota o poder das bordas influenciando o modelo, uma vez que nestas localidades a amplitude modal é menor



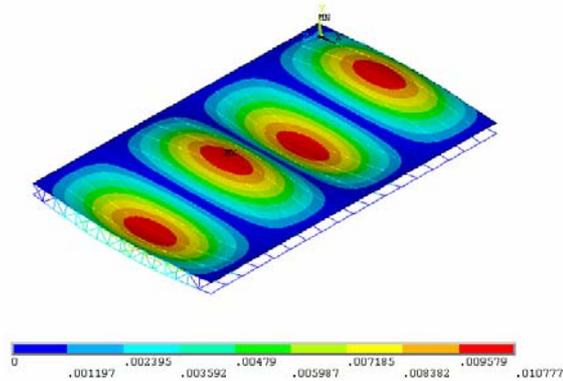
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 5,80$ Hz.



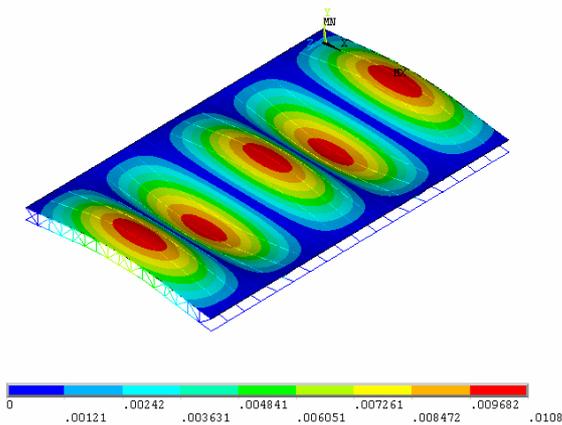
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 5,91$ Hz.



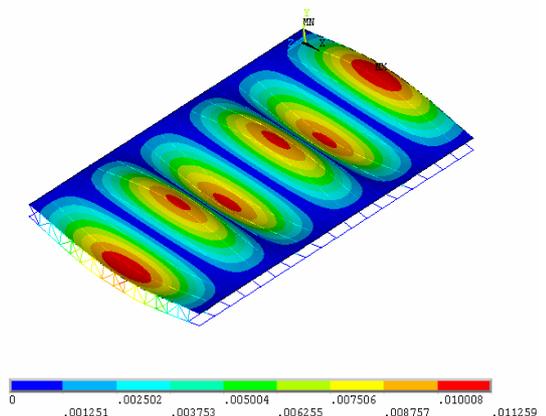
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 6,13$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 6,42$ Hz.

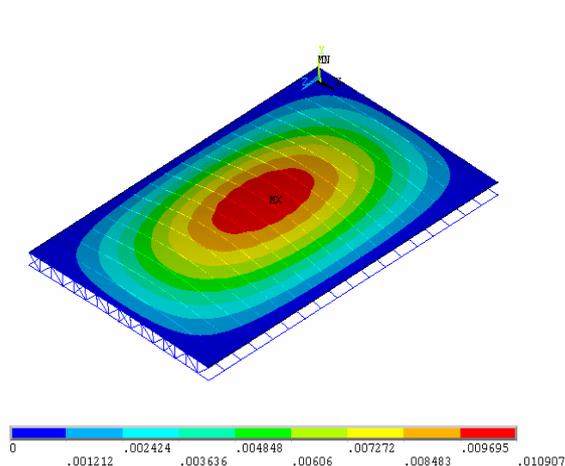


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 6,56$ Hz.

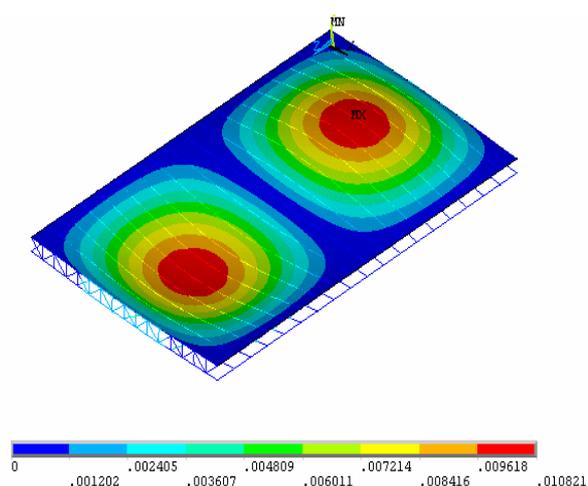


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 7,89$ Hz.

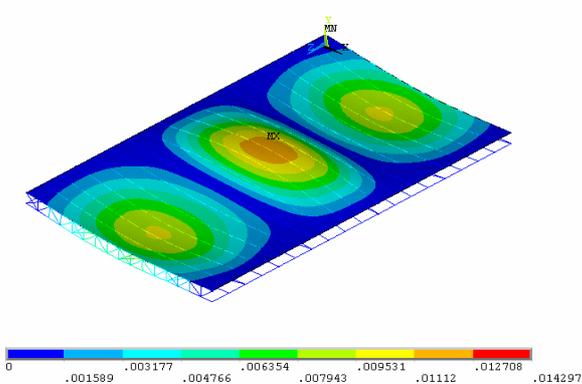
Figura 5.6 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 1 [42]



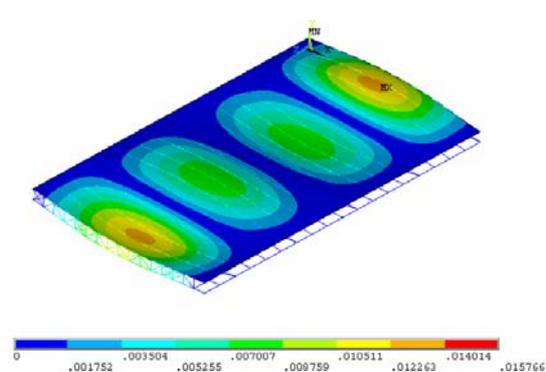
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 5,62$ Hz.



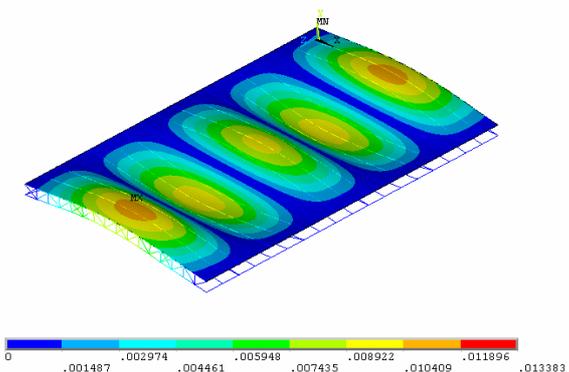
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 5,72$ Hz.



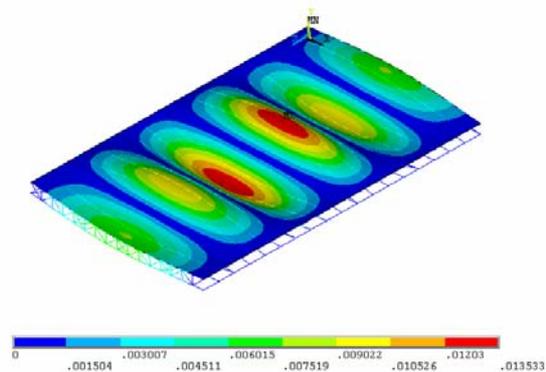
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 5,89$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 6,14$ Hz.

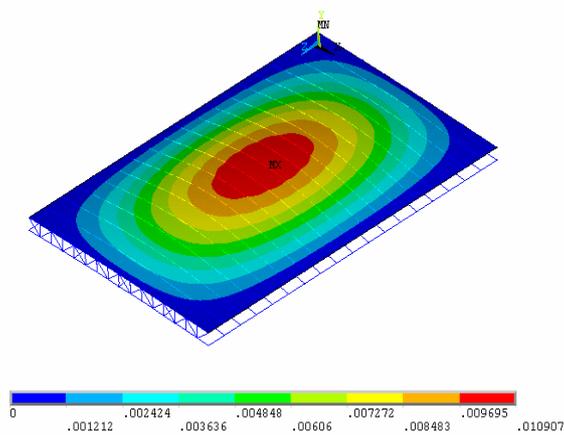


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 6,29$ Hz.

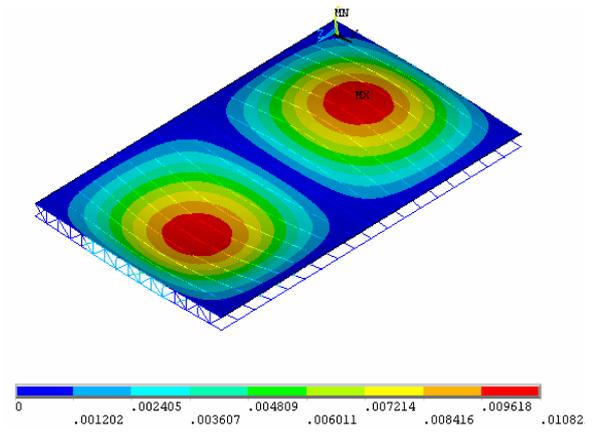


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 7,21$ Hz.

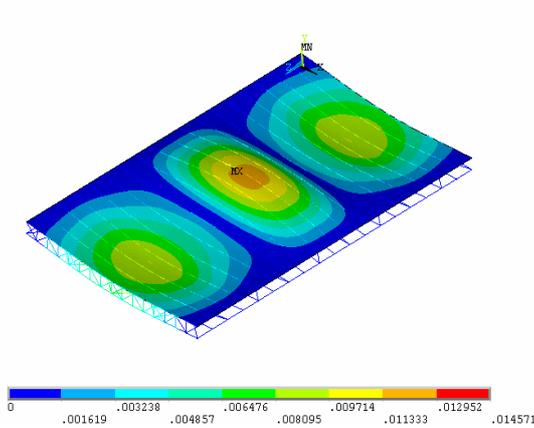
Figura 5.7 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 2 [42]



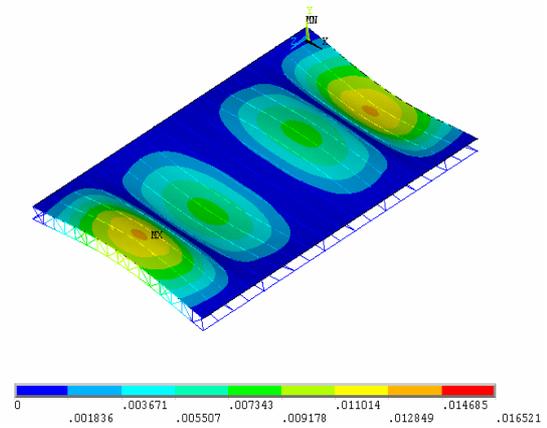
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 5,52$ Hz



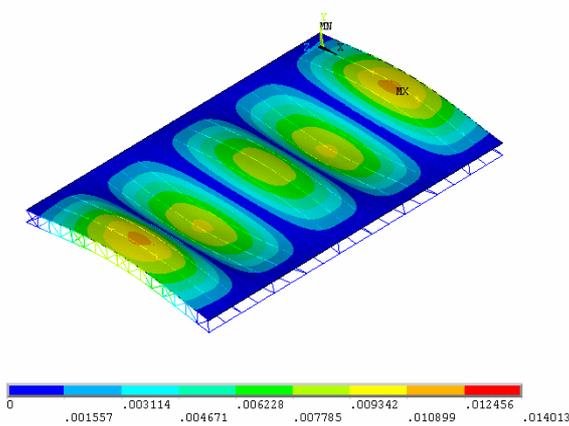
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 5,55$ Hz.



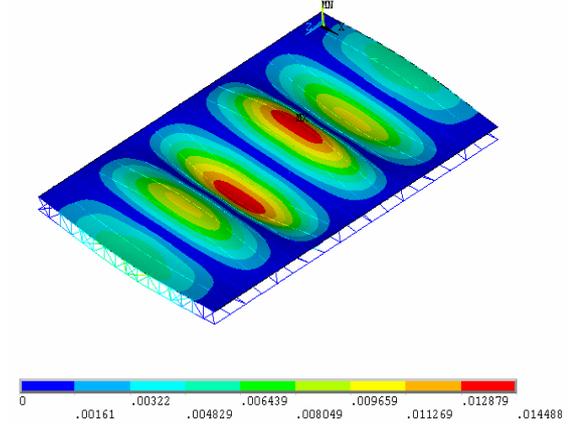
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 5,62$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 5,75$ Hz.

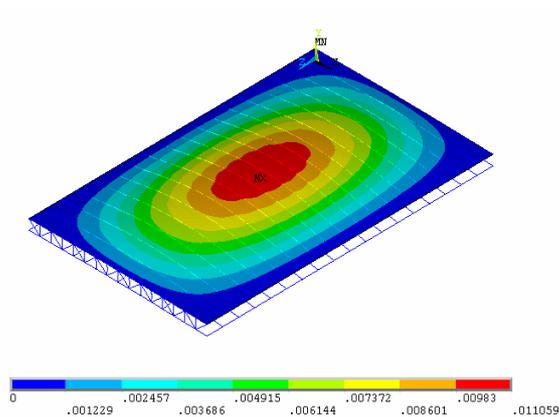


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 5,99$ Hz

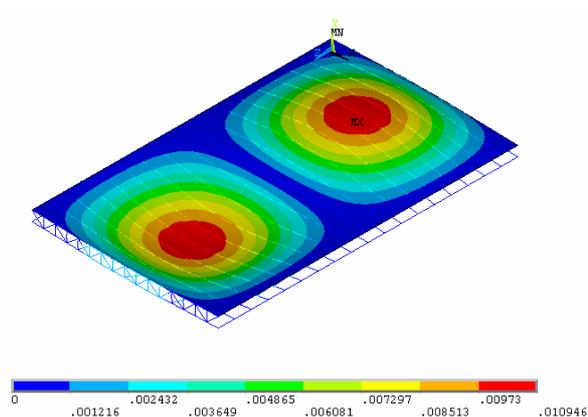


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 6,35$ Hz

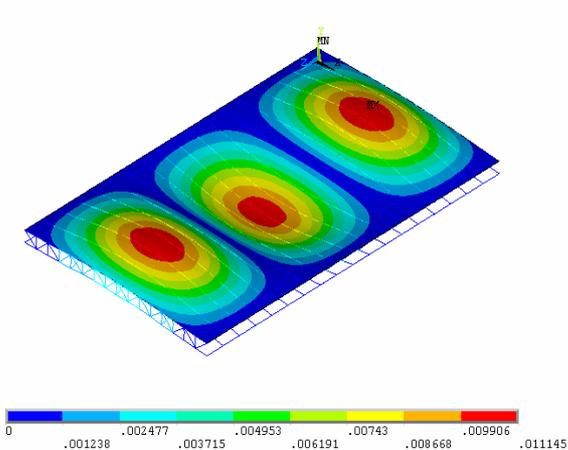
Figura 5.8 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 3 [42]



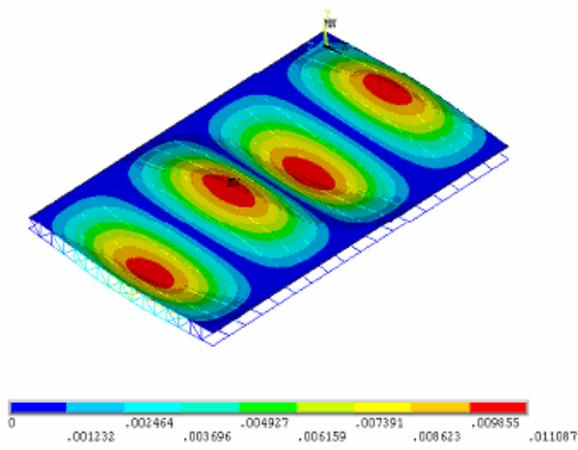
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 6,65$ Hz



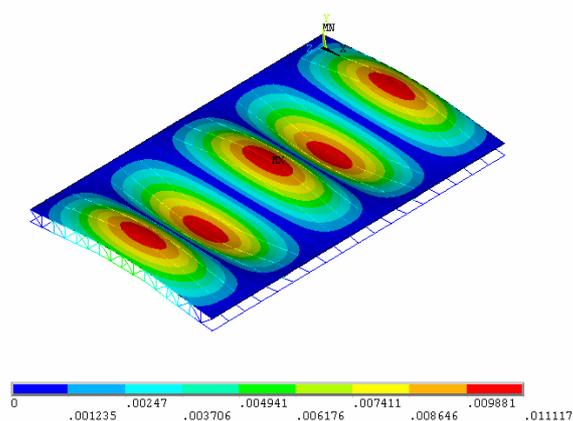
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 6,67$ Hz.



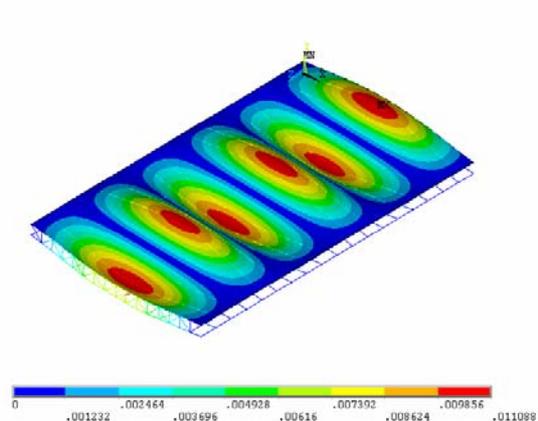
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 6,74$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 6,86$ Hz.

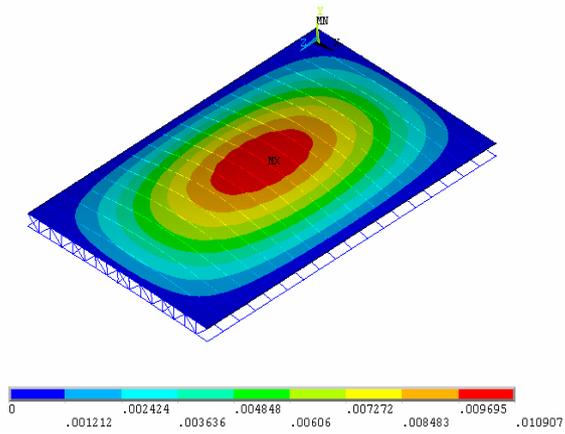


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 7,08$ Hz.

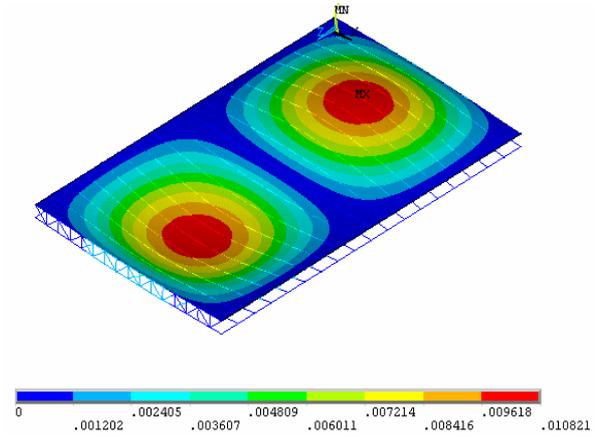


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 7,41$ Hz.

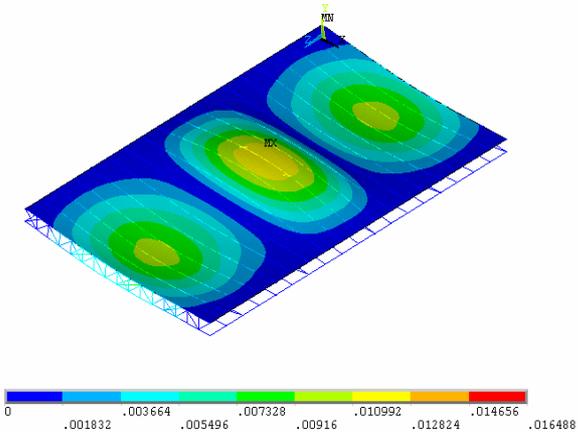
Figura 5.9 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 4, [42]



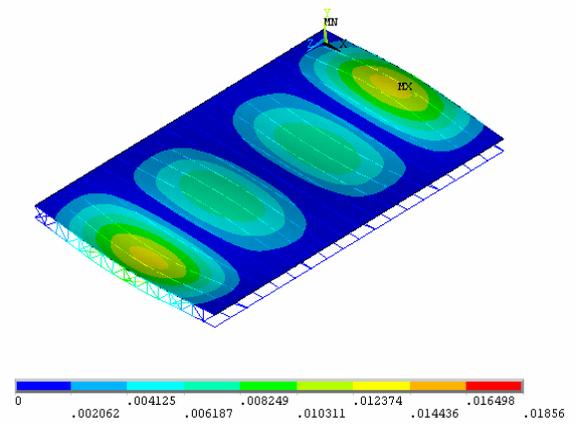
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 6,82$ Hz.



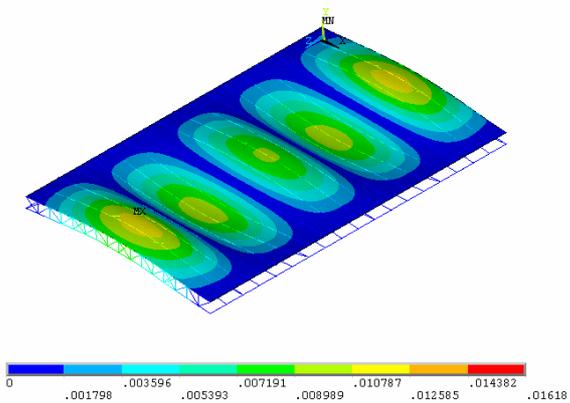
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 6,93$ Hz.



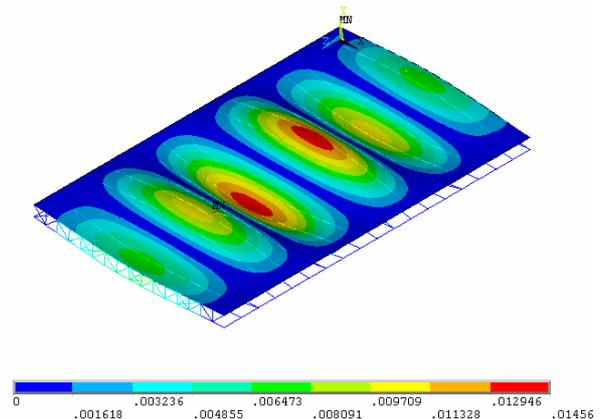
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 7,12$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 7,40$ Hz.

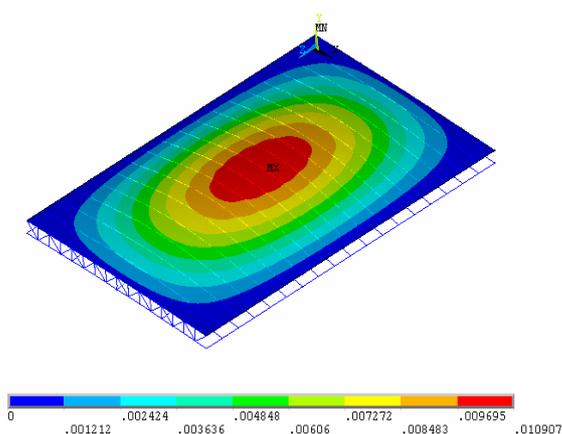


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 7,51$ Hz.

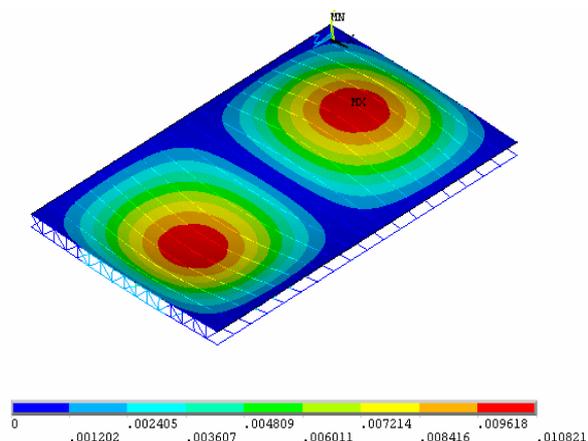


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 8,78$ Hz.

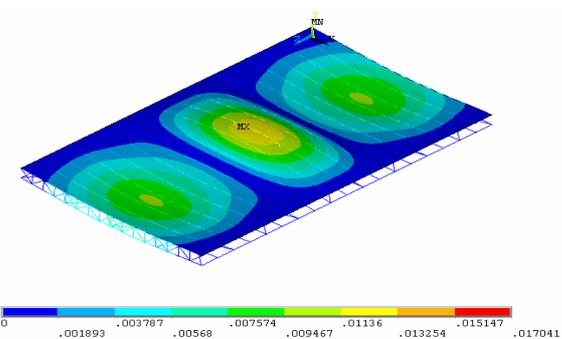
Figura 5.10 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 5, [42]



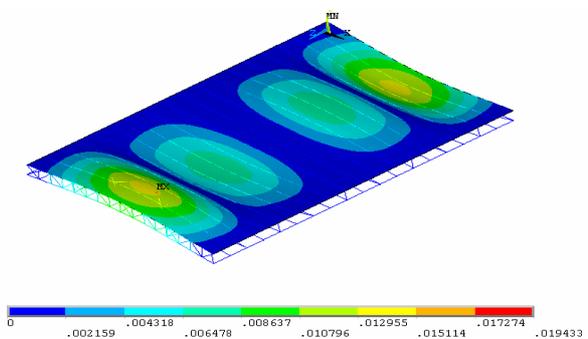
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 6,71$ Hz.



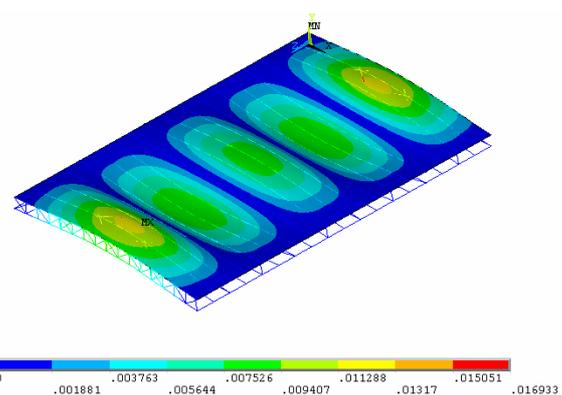
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 6,80$ Hz.



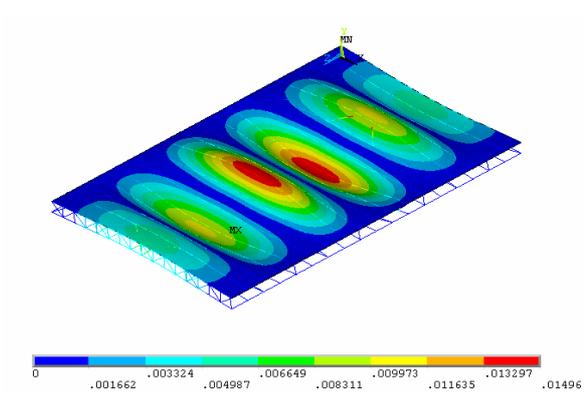
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 6,96$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 7,20$ Hz.

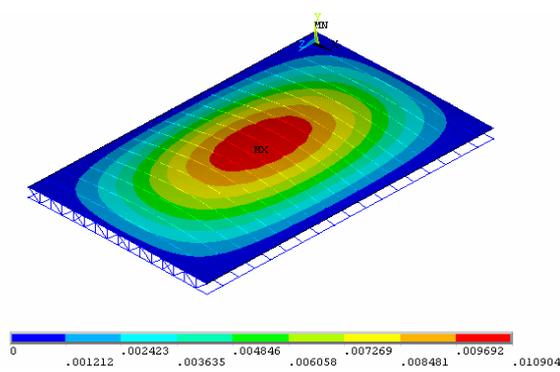


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 7,32$ Hz.

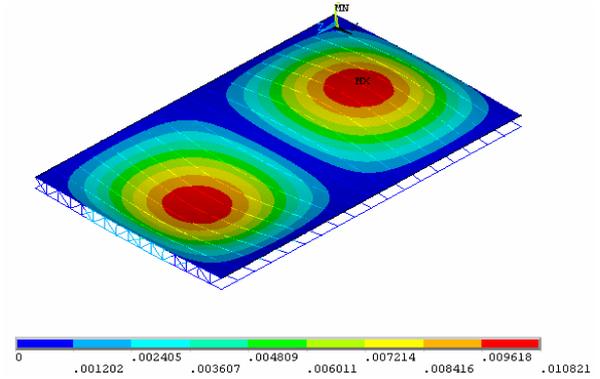


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 8,19$ Hz.

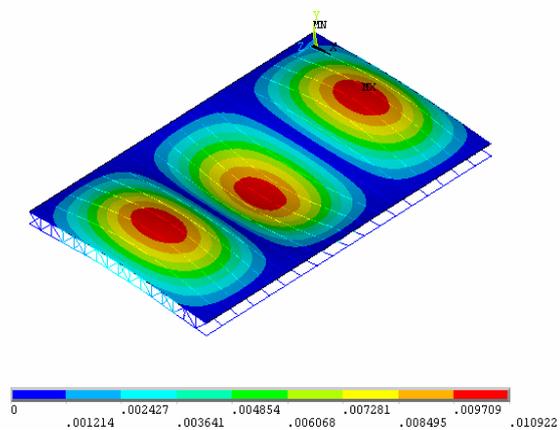
Figura 5.11 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 6 [42]



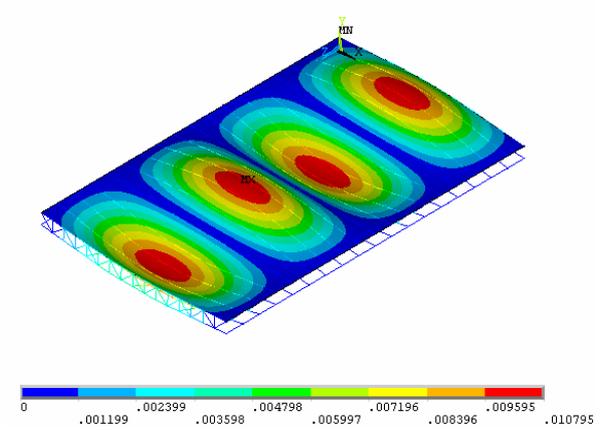
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01}= 5,80$ Hz.



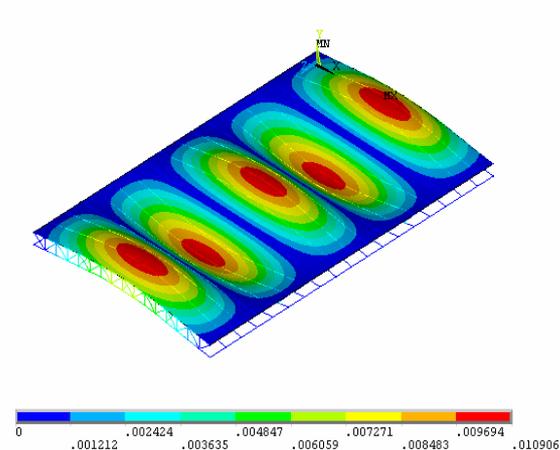
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02}= 5,91$ Hz.



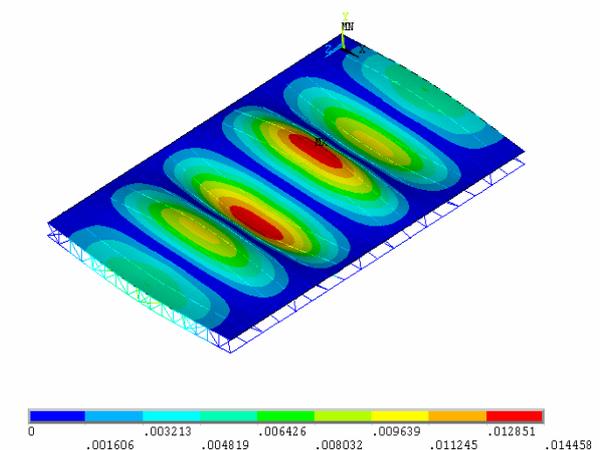
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03}= 6,13$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04}= 6,42$ Hz.

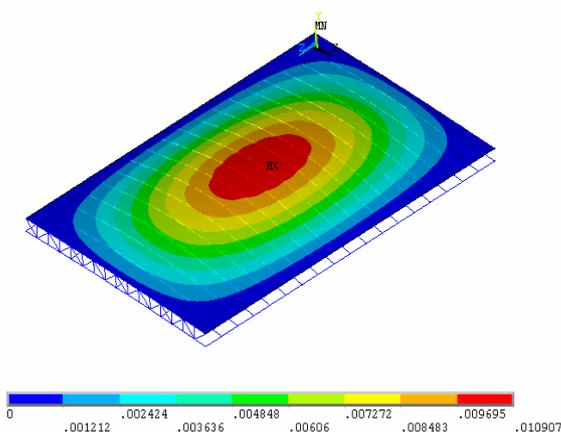


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05}= 6,56$ Hz.

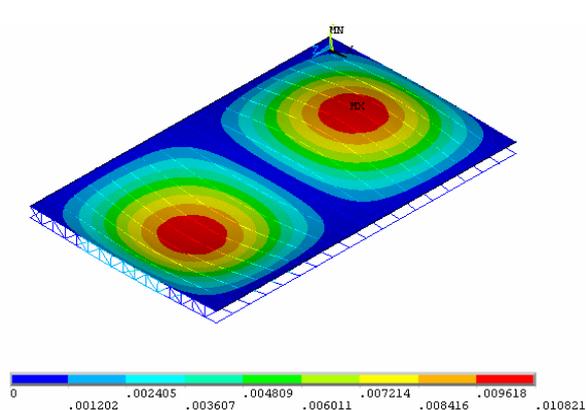


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06}= 7,91$ Hz.

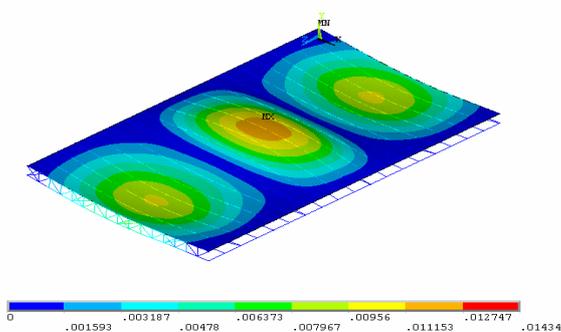
Figura 5.12 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 7 [42]



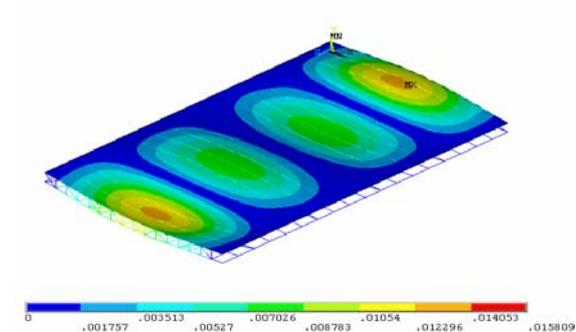
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01}= 5,61$ Hz.



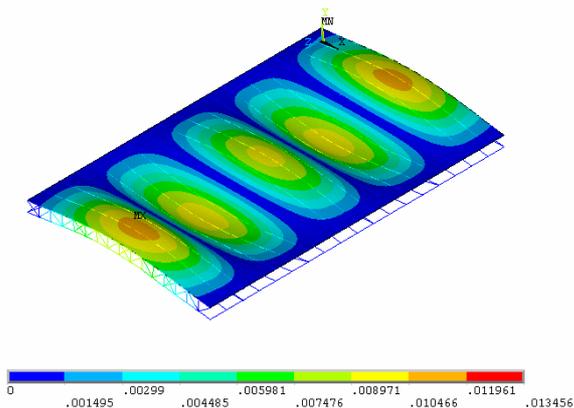
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02}= 5,72$ Hz.



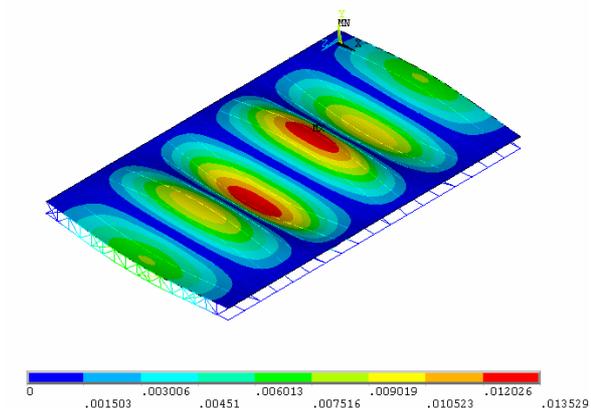
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03}= 5,89$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04}= 6,14$ Hz.

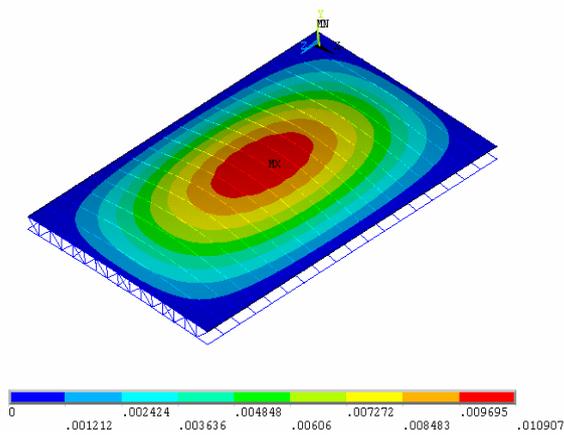


e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05}= 6,29$ Hz.

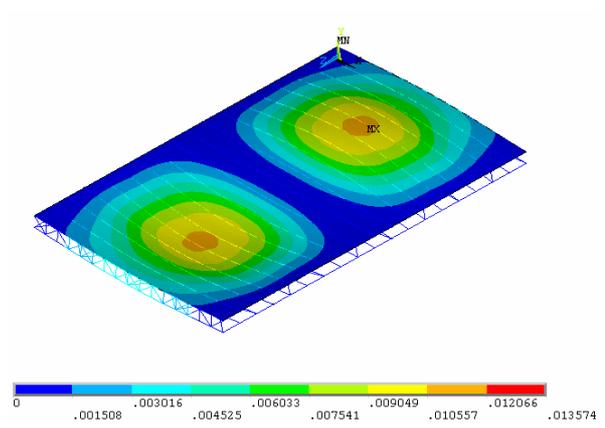


f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06}= 7,21$ Hz.

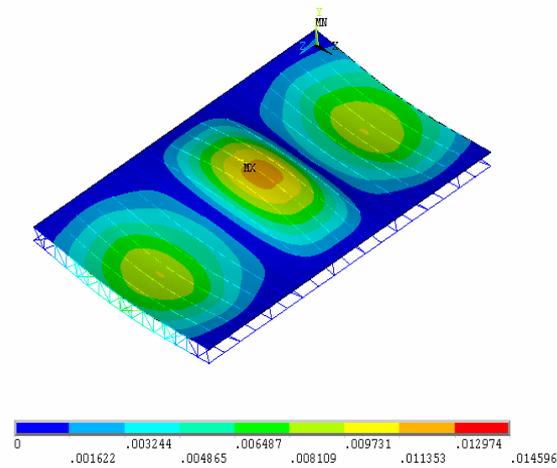
Figura 5.13 - Modos de vibração do sistema de piso - Modelo 8 [42]



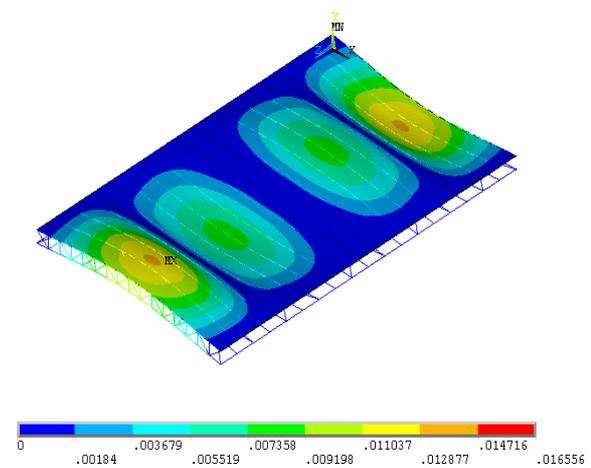
a) Modo de vibração referente à primeira frequência natural: $f_{01} = 5,52$ Hz.



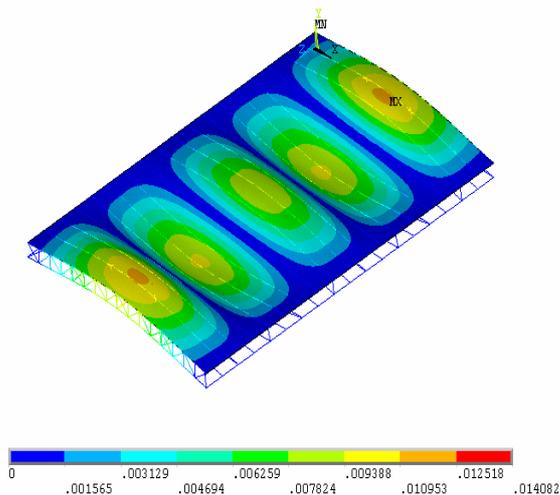
b) Modo de vibração referente à segunda frequência natural: $f_{02} = 5,55$ Hz.



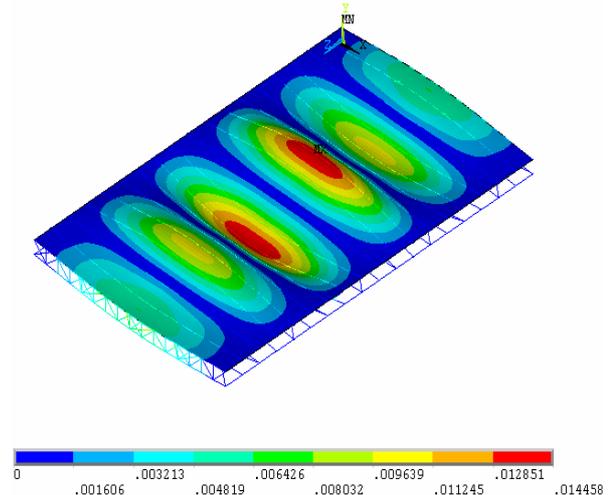
c) Modo de vibração referente à terceira frequência natural: $f_{03} = 5,62$ Hz.



d) Modo de vibração referente à quarta frequência natural: $f_{04} = 5,75$ Hz.



e) Modo de vibração referente à quinta frequência natural: $f_{05} = 5,99$ Hz.



f) Modo de vibração referente à sexta frequência natural: $f_{06} = 6,35$ Hz.

Figura 5.14 - Modos de vibração do sistema de laje - Modelo 9 [42]

5.4. Comparação entre os modelos

Avaliando-se separadamente os modelos com mesmo tipo de barras de travamento, ou seja, os modelos (3, 6 e 9), com a barra de travamento horizontal, percebe-se que para o modelo 7 não houve alteração significativa quando foi substituída a cantoneira do montante por uma barra redonda, ou seja, os valores de frequência natural são praticamente os mesmos até a sexta frequência, evidenciada também nos modelos (2, 5 e 8) com travamento diagonal simples e nos os Modelos (1, 4 e 7) com travamento duplo.

Mantendo-se constante a configuração da estrutura (perfis), por exemplo, modelos (1, 2 e 3) onde todas as barras utilizadas são cantoneiras, verificou-se um acréscimo na frequência natural devido ao tipo de travamento utilizado, que ocorre também no grupo dos modelos (4, 5 e 6) e (7,8 e 9).

Os modos de todos os modelos têm o mesmo comportamento. Os modelos 1, 4 e 7 apresentam a forma do modo mais centralizada no meio painel, possivelmente devido à ausência de elementos que os enrijeçam nas regiões próximas às bordas, como pode ser visto nas Figuras 5.3-c, Figuras 5.6-c e Figura 5.9-c, para o terceiro modo.

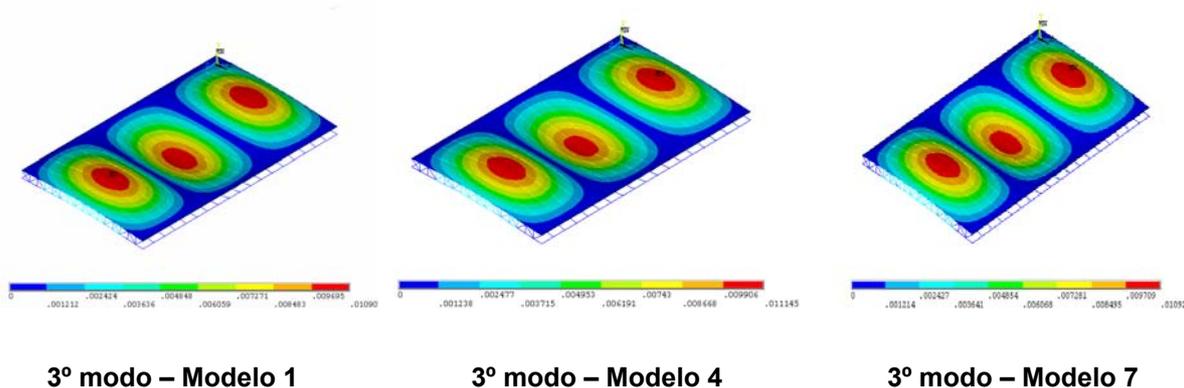


Figura 5.15 - 3º modo de vibração do sistema de laje, modelos 1, 4 e 7 [42]

Nos demais modelos, as bordas dos modos aparecem “decepidas”, em virtude da menor flexibilidade do modelo, por exemplo, as Figura 5.5-c, Figura 5.8-c e na Figura 5.11-c para os modelos 3, 6 e 9.

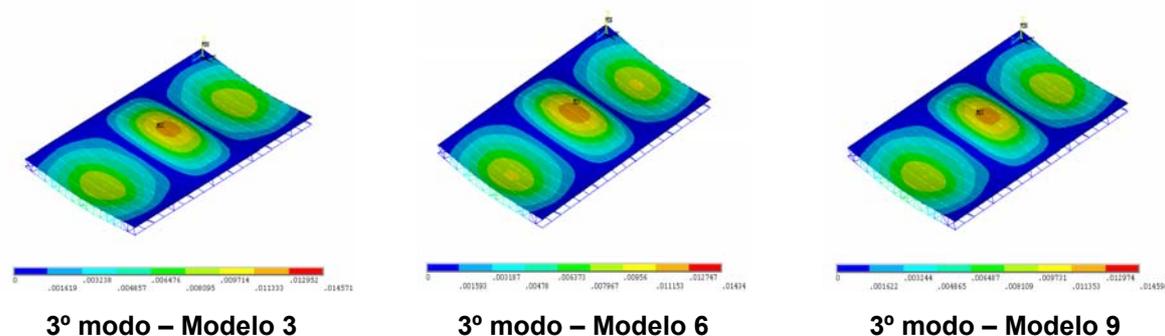


Figura 5.16 - 3º modo de vibração do sistema de laje, modelos 3, 6 e 9 [42]

6. Análise Dinâmica dos Modelos

6.1. Introdução

As análises realizadas neste capítulo complementam as análises de autovalores e autovetores realizadas no capítulo anterior, onde foram determinados as frequências naturais e modos de vibração da estrutura. São analisadas as respostas da estrutura devido ao carregamento dinâmico provocado pela ação dinâmica de seres humanos em atividades rítmicas e realizadas considerações a respeito do conforto humano em edificações.

A análise dos carregamentos dinâmicos atuantes em uma estrutura depende do conhecimento prévio das cargas, conseqüentemente, do tipo de atividade a qual se destina a edificação. No caso deste trabalho, pretende-se avaliar as respostas dinâmicas devido à atuação de pessoas ou grupos de pessoas em atividades rítmicas sobre um piso. Este piso é utilizado como restaurante e anexo, uma área reservada para a prática de atividades rítmicas (aeróbica e dança de salão).

A ação dinâmica de seres humanos sobre a estrutura introduz uma variação de força que tem componentes nas direções vertical e horizontal, excitando esta estrutura em determinadas faixas de frequências naturais que podem ser conhecidas através de testes e ensaios experimentais. Ao longo deste capítulo foram simulados carregamentos devido à ação dinâmica de pessoas ou grupo de pessoas praticando uma atividade rítmica e o carregamento dinâmico gerado por pessoas em atividades de dança, como a dança de salão.

Os modelos de carregamento utilizados nesta análise foram obtidos através de resultados experimentais propostos na literatura [8],[11],[13],[29],[32],[34], interpretados e aplicados de modo a reproduzir as ações dinâmicas das pessoas sobre a estrutura.

As excitações provocadas não sendo previstas antecipadamente podem gerar danos estruturais irreversíveis, além de colocar em risco os usuários da edificação. Por exemplo, as cargas devido às atividades aeróbicas normalmente acompanham a música e tem movimentos e ações ritmadas. Enquanto o carregamento devido às atividades relacionada a dança têm a frequência semelhante a da música, ou seja, periódico.

A análise harmônica foi utilizada para estudar a resposta da estrutura, uma vez que esta permite analisar, por exemplo, a máxima resposta produzida pela dança, ou pela ginástica aeróbica. Nestas atividades sempre estão presentes a ação de saltar sendo motivo de preocupação no âmbito dos projetos estruturais [6], [8].

6.2. Carregamentos Dinâmicos Rítmicos

6.2.1. Generalidades

As ações dinâmicas produzidas pelas pessoas quando em contato com uma estrutura têm sido estudadas por diversos autores, [8],[11],[35]. A preocupação principal existente em cada uma das pesquisas é de representar estas ações de forma numérica, de modo que estas ações possam ser repetidas através de simulações numéricas ou programas.

Os resultados teóricos ou experimentais obtidos são de grande valia na previsão de carregamentos e comportamento estrutural, levando à economia estrutural e o conforto humano. Este trabalho utiliza destas informações para estudar as características dos carregamentos relativos às atividades rítmicas aeróbicas e as atividades classificadas como dança, especificamente a dança de salão.

O grande número de variáveis envolvidas nestes estudos são fatores motivadores de pesquisa, seja em relação às características do usuário tais como idade, peso ou habilidade física, sejam em relação ao tempo de exposição ao carregamento, onde a principal variante é o tipo de atividade física associada. Além disso, o desenvolvimento da tecnologia de materiais, já seria por si um fator suficiente para justificar a diversidade de pesquisa nesta área.

6.2.2. Caracterização das Ações Dinâmicas

As ações dinâmicas são caracterizadas pela frequência da atividade, pelo tempo de contato do agente com a estrutura, pela carga dinâmica gerada e pelo amortecimento produzido durante a atividade executada. Neste trabalho são estudadas as atividades de rítmicas nas modalidades de dança de salão e a ginástica aeróbica, como mostra a Figura 6.1.



Figura 6.1 - Modalidades de carregamento estudadas neste trabalho

De acordo com Alves [22], as cargas devido à dança de salão e à ginástica aeróbica pertencem a categorias distintas ao serem analisados os critérios contato com a estrutura, ou o tempo de duração deste contato. Para a atividade dança de salão, por exemplo, onde o tempo de contato com a estrutura é mais prolongado, a atividade é denominada como sendo uma atividade sem perda de contato com a estrutura, enquanto a ginástica aeróbica seja de baixo ou alto impacto apresenta um período onde há a perda de contato com a estrutura.

Para exemplificar, pode-se verificar na Figura 6.2, que no ato de saltar, ao perder o contato com a estrutura, a força aplicada sobre o modelo vale zero. À medida que o indivíduo retoma o contato com o solo, o valor da força é incrementado até atingir um valor máximo. Este valor máximo representa o instante em que o indivíduo começa a impulsionar preparando-se para o próximo salto.

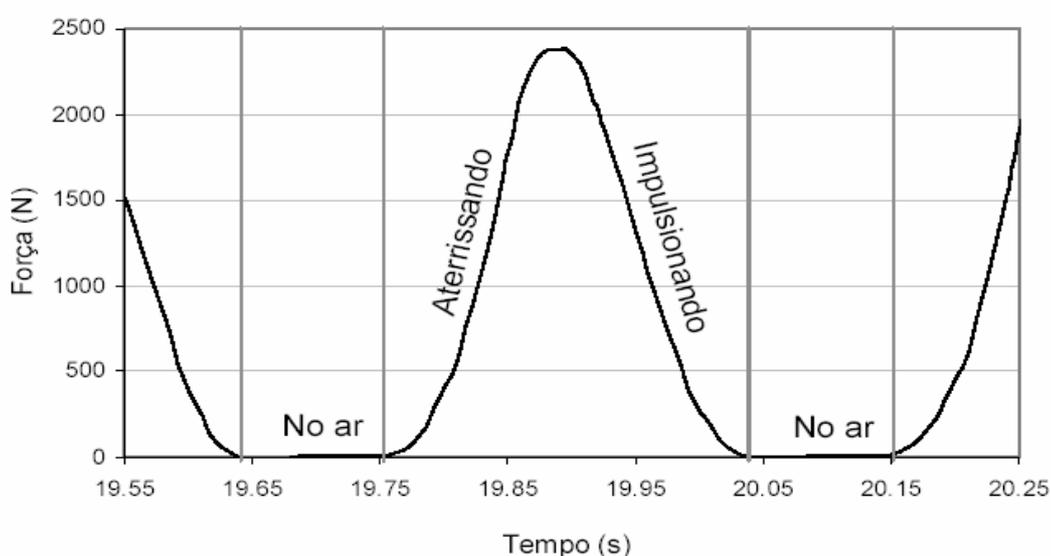


Figura 6.2 - Força aplicada sob uma estrutura no momento de um salto [13]

Os gráficos relativos à ação de dançar e outras atividades aeróbicas possuem informações muito diferentes das apresentadas na Figura 6.2. Tais diferenças podem ser também analisadas quando são estudadas as características modais das estruturas, normalmente obtidas em testes experimentais [13], [32]. Nestes ensaios foram feitas variações do carregamento, tomados de forma individual ou grupos, bem como o tipo de atividade exercida. A Tabela 6.1 apresenta alguns valores obtidos por diversos autores, apresentando a faixa da frequência fundamental medida.

Estes valores são sugeridos para o dimensionamento de projetos sujeitos ao carregamento dinâmico [8],[11],[47]. Nota-se que a faixa de frequência que caracteriza um grupo de oito pessoas dançando tem seus valores idênticos aos valores propostos pelo CEB [47], para uma pessoa. Da mesma forma, os valores observados para a atividade de aeróbica, apresentada separadamente, de acordo com a descrição dada pelos autores, seja

simplesmente ginástica aeróbica, aeróbica de alto ou baixo impacto. Para esta atividade, a frequência natural fundamental varia nos limites de 1,89 a 3,03 Hz.

Tabela 6.1 - Faixas de frequências fundamentais para os carregamentos humanos

Atividade	f(Hz)	Nº de Pessoas	Referência Bibliográfica
Pessoa Caminhando	1,60 - 2,20	1	AISC [8]
Saltar	1,80 - 3,40	1	CEB [47]
	1,69 - 2,85	Até 100	Faísca [13]
Grupo Dançando	1,50 - 3,0	8	AISC [8]]
	1,50 - 3,0	1	CEB [47]
Ginástica Aeróbica	1,89 - 2,65	Até 100	Faísca [13]
	2,0 - 2,75	8	AISC [8]
Aeróbica de Alto Impacto	2,25 - 3,03	10 - 18	Allen [11]
Aeróbica de Baixo Impacto	2,54 - 2,72	14 - 25	Allen [11]
Show/ Torcida	2,57	10 - 14	Allen [11]
	2,50 - 2,94	Até 100	Faísca [13]

Na Tabela 6.1, destaque pode ser dado aos valores encontrados por Faísca [13] para a faixa de frequências fundamentais características para as atividades de ginástica aeróbica e de saltar. Os resultados obtidos foram em média, inferiores aos valores encontrados pelos demais autores, sendo esta ocorrência justificada pelo efeito do amortecimento devido à participação de um número maior de pessoas.

6.2.3. Modelo de Carregamento Empregado na Análise

A discussão central deste trabalho avalia os modelos de pisos propostos nesta dissertação, utilizando os resultados alcançados por Faísca [13], que com a técnica de tratamento de sinais experimentais, desenvolveu um programa que processa os dados obtidos em plataformas de ensaio. Os resultados foram obtidos no domínio do tempo e da frequência, permitindo desta forma estimar a frequência natural e a taxa de amortecimento associadas ao modo fundamental.

A aplicação dos resultados e análises dos carregamentos apresentados por Faísca [13] são interpretados e aplicados nos nove modelos de pisos sugeridos nesta dissertação. As funções de carregamento propostas por Faísca [13] abrangem projetos destinados desde pequenos grupos até multidão. Para tal caracterização, estas funções são afetadas por

coeficientes de impacto (K_p) e de defasagem (CD) variáveis de acordo com o número de pessoas, pois dependem entre outros fatores, do sincronismo dos participantes ou grupo.

A função numérica que melhor pudesse representar os dados experimentais foi observada por Faísca [13] após terem sido comparados o sinal da força, obtido experimentalmente, com sinal característico de outras funções. Na ocasião, verificou-se que as funções conhecidas como janela Hanning [23] e função seno são as que mais se aproximaram da função de carga. A comparação destas funções é mostrada na Figura 6.3.

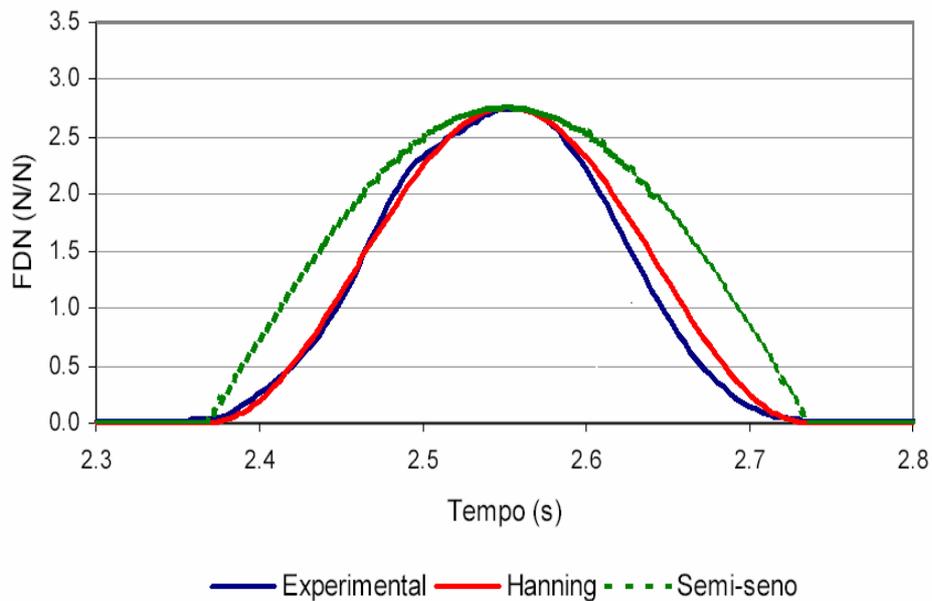


Figura 6.3 - Trecho de sinais experimentais representados pela função Hanning e função semi-seno [23]

Na Figura 6.3, pode ser verificado que a função Hanning é a que melhor se adapta aos resultados experimentais. Os valores dos parâmetros utilizados para a análise correspondem aos valores propostos por Faísca [13], tendo sido estes parâmetros ajustados após estudos de sensibilidade, Equação 6.1:

$$F(t) = 0,5 - 0,5\cos(\omega t) \quad (6.1)$$

Onde $\omega = \frac{\pi}{T_c}$, sendo T_c o tempo de contato.

Após selecionar a função que mais se aproximou dos resultados experimentais, o carregamento pode então ser escrito pela equação:

$$F(t) = 0, \text{ para } T_c < t \leq T \quad (6.2)$$

Onde $F(t)$: é a representação matemática do carregamento no tempo em (N);

CD: coeficiente de defasagem;

K_p : coeficiente de impacto;

T: período da atividade (s);

T_c : período de contato da atividade (s);

T: tempo em (s).

O coeficiente K_p deve ser obtido calculando-se o pico máximo de cada salto. Este pico máximo é estimado calculando-se a variação na inclinação de duas tangentes consecutivas, conforme mostrado na Figura 6.4, sendo o valor máximo aquele em que sua ocorrência caracteriza a eminência de inversão de sinal da tangente do ponto de máximo.

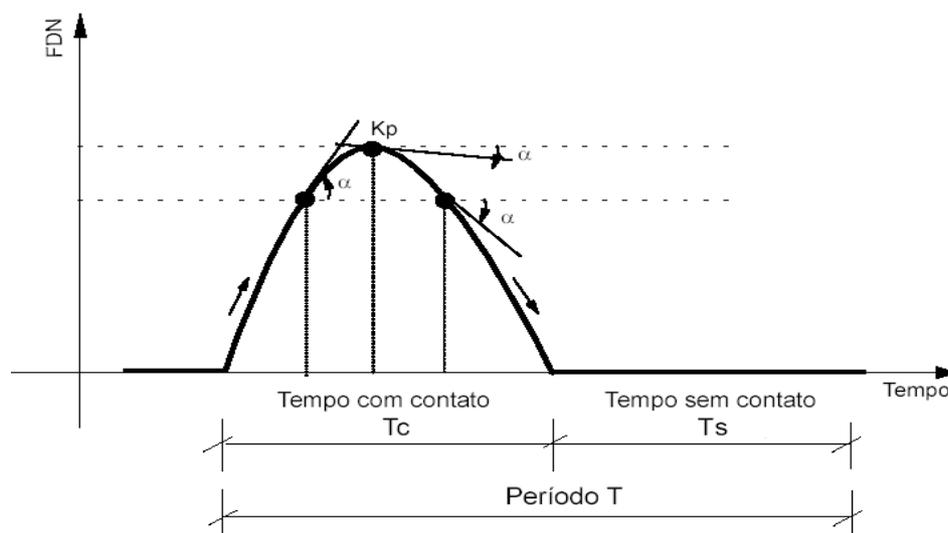


Figura 6.4 - Cálculo do coeficiente K_p [13]

A Tabela 6.2 apresenta os valores do período T, T_c e os valores de K_p utilizados :

Tabela 6.2 - Parâmetros propostos para projetos estruturais [13]

Atividade	T (s)	T_c (s)	K_p
Ginástica Aeróbica	$0,44 \pm 0,09$	$0,34 \pm 0,09$	$2,56 \pm 0,55$
Dança de Salão	0,053	0,45	2,78
Valor utilizado	0,35	0,25	2,78

O coeficiente CD é calculado pela Equação 6.3, definido como sendo a razão entre o valor máximo da soma da força dinâmica de várias pessoas e a soma de cada um dos máximos de cada sinal.

$$CD = \frac{\text{Pico do sinal da soma}}{\sum_{i=1}^n Kp_i} \quad (6.3)$$

Para as análises realizadas neste trabalho, os valores de CD adotados são apresentados na Tabela 6.3, retirados do gráfico com coeficientes propostos apresentado detalhadamente na Figura 6.5, de acordo com a atividade rítmica executada.

Tabela 6.3 - Valores de CD [13]

Número de Pessoas	Valores de CD	
	Ginástica aeróbica	Dança de Salão
1	1	1
3	1	1
6	0,97	0,97
9	0,96	0,96
12	0,95	0,95

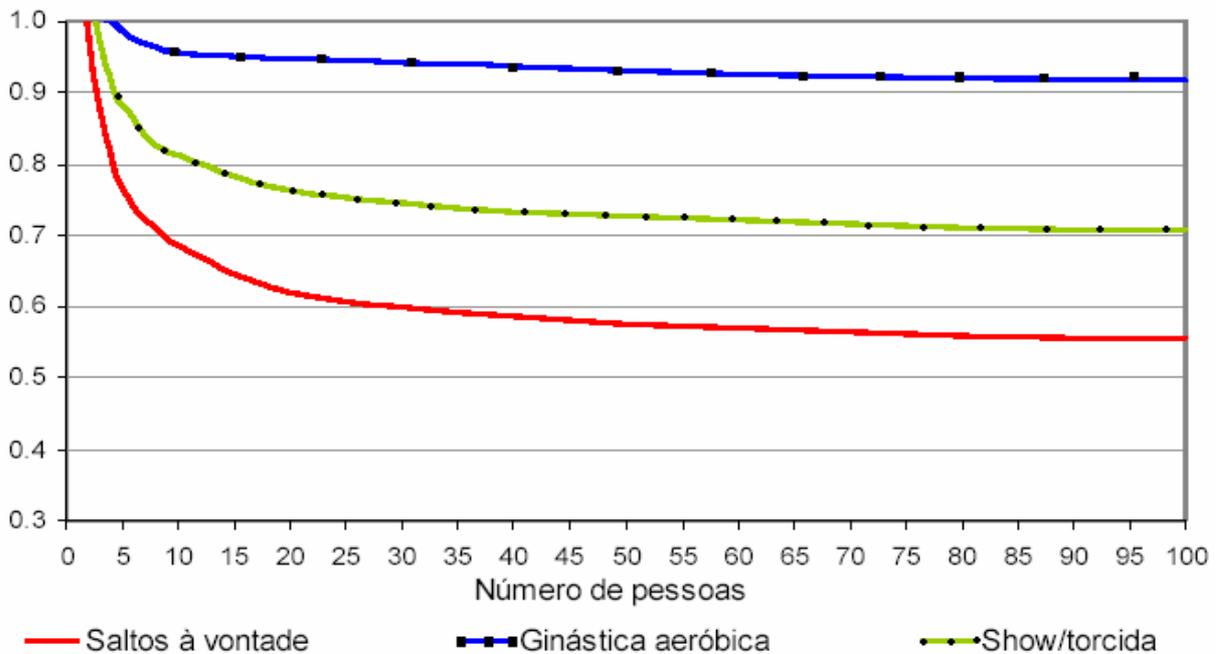
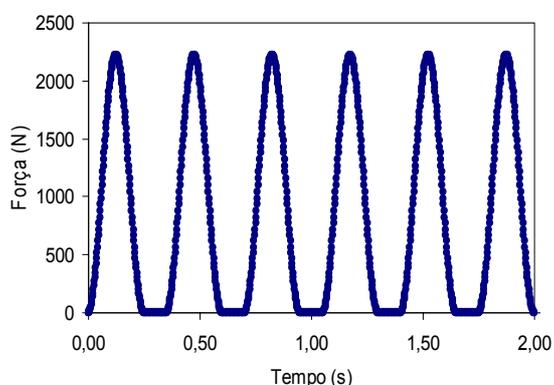


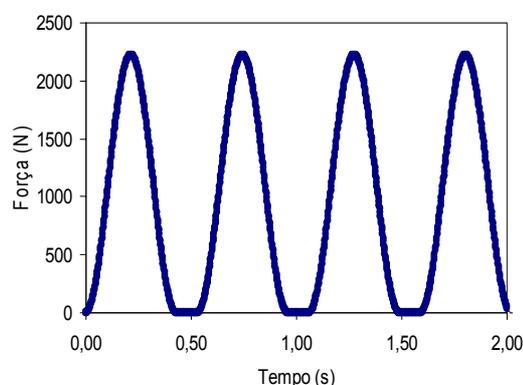
Figura 6.5 - Coeficiente de defasagem para as atividades propostas [13]

Os resultados, em termos de acelerações, são comparados com os valores limites fornecidos pelo AISC [8], no que diz respeito ao conforto humano, sendo estes valores normalmente expressos em termos da aceleração da gravidade ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), ou seja, em porcentagem de g (% g).

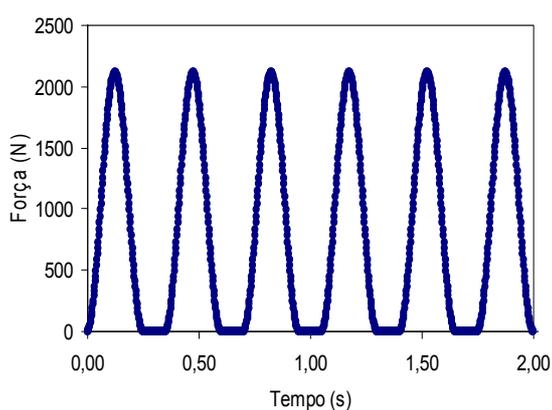
Para ilustrar a modelagem deste tipo de carregamento dinâmico e utilizando-se os dados experimentais propostos por Faísca [13], na Figura 6.6 são apresentados alguns exemplos de sinais da força no tempo correspondente. Na Figura 6.6-a e na Figura 6.6-b são apresentados os carregamentos correspondentes a uma pessoa praticando ginástica aeróbica, com tempo de contato de 0,25 segundos e 0,43 segundos, respectivamente. Já na Figura 6.6-c e na Figura 6.6-d são apresentados resultados correspondentes a um grupo de doze pessoas tendo aulas de ginástica aeróbica, para um tempo de contato de 0,25 e 0,43 segundos, respectivamente.



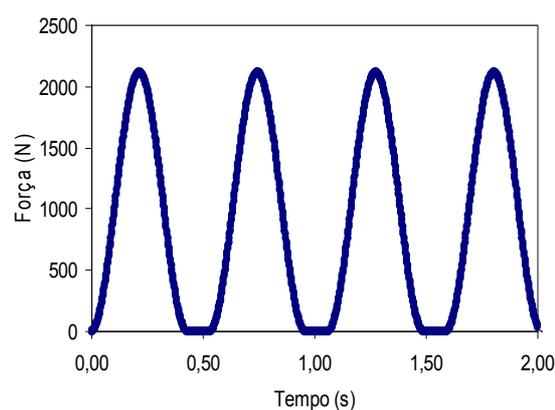
a) $T = 0,35 \text{ s}$, $T_c = 0,25 \text{ s}$, $K_p = 2,78$; $CD = 1$
(uma pessoa)



b) $T = 0,53 \text{ s}$, $T_c = 0,43 \text{ s}$, $K_p = 2,78$; $CD = 1$
(uma pessoa)



c) $T = 0,35 \text{ s}$, $T_c = 0,25 \text{ s}$, $K_p = 2,78$ $CD = 0,95$
(doze pessoas)



d) $T = 0,53 \text{ s}$, $T_c = 0,43 \text{ s}$, $K_p = 2,78$ e $CD = 0,95$
(doze pessoas)

Figura 6.6 - Sinais de saída de força no tempo para as atividades estudadas neste trabalho

A Figura 6.7 apresenta alguns sinais no tempo da força correspondente a atividade de saltar. Para esta atividade a função de carregamento é a mesma, sendo alterados apenas alguns parâmetros, T_s , T_c e K_p .

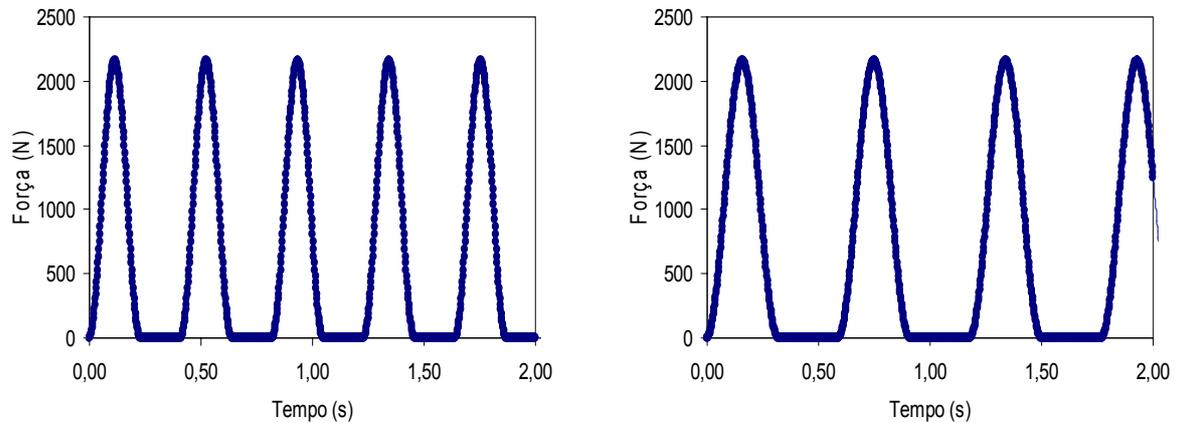


Figura 6.7 – Sinais de força no tempo para a atividade de saltos à vontade

6.2.4. Esquema da Aplicação das Cargas

As cargas são aplicadas sobre os modelos 1 a 9 conforme apresentado na Figura 6.8 até a Figura 6.11. Nestas são apresentados os esquemas com as posições das cargas referentes a 1, 3, 6, 9 e 12 pessoas, distribuídas espacialmente. Os pontos A, B e C são pontos de referência onde serão tomadas leituras dos deslocamentos e acelerações.

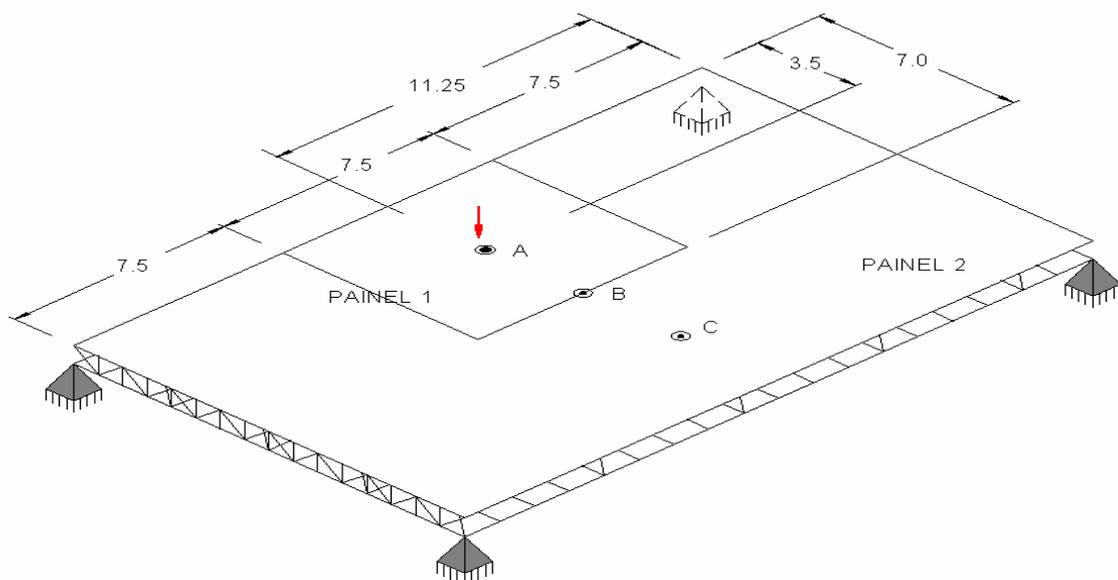


Figura 6.8 - Carregamento dinâmico devido a cargas aplicadas por 1 pessoa

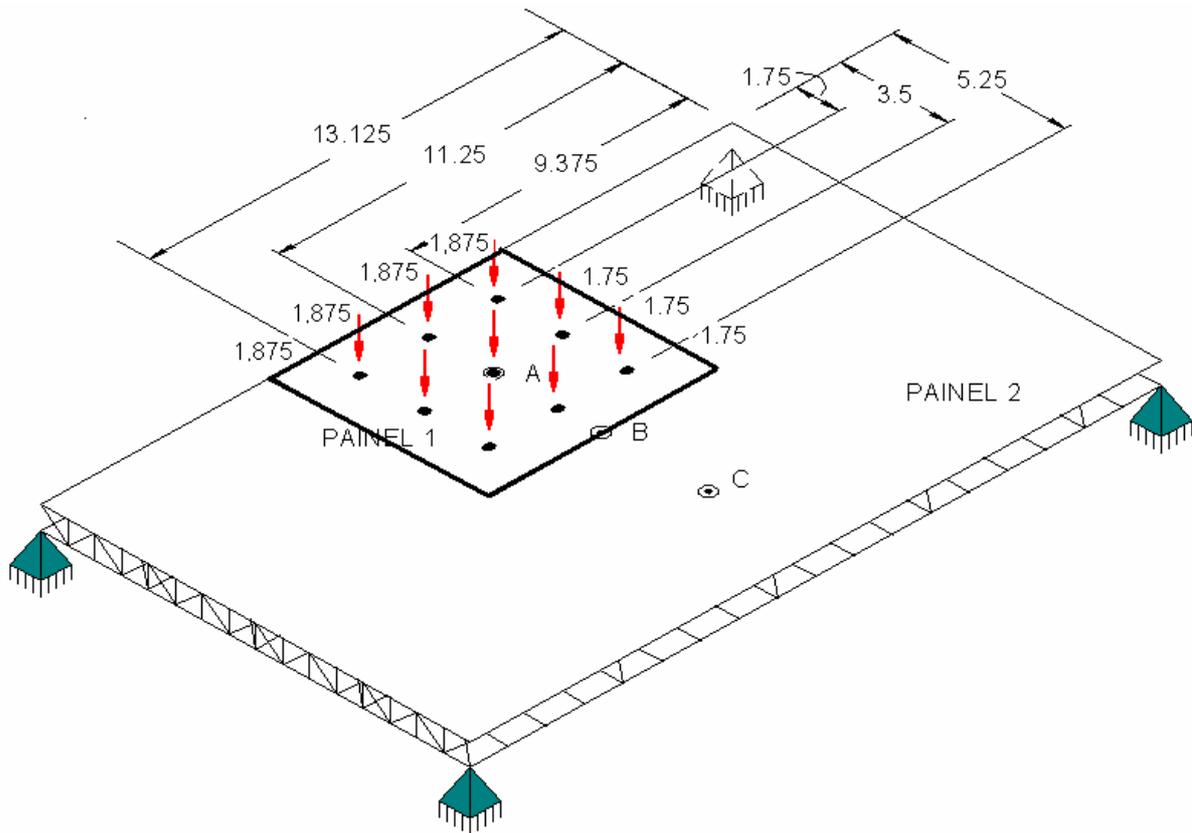


Figura 6.11 - Carregamento dinâmico devido a cargas aplicadas por 9 pessoas

6.3. Modelagem do Amortecimento

O modelo apresentado no AISC [8] relata que o piso foi projetado para danças de salão, sendo esta atividade simulada nas análises realizadas por Faísca [13] como atividades aeróbicas de baixo e alto impacto. Nestas análises, verifica-se que na medida em que se aumenta o número de pessoas sobre a estrutura, nas situações mais flexíveis, é gerada uma diminuição da frequência natural e aumento da taxa de amortecimento.

Os carregamentos propostos para este trabalho referem-se a 1, 3, 6, 9 e 12 pessoas. Assim, ainda que os valores de amortecimento obtidos experimentalmente sejam maiores que os obtidos numericamente, a opção para esta análise foi de considerar a taxa de amortecimento estrutural como sendo igual a 3% ($\xi = 3\%$).

A matriz de amortecimento, C , é geralmente expressa em termos de taxas de amortecimento obtidas experimentalmente, através de ensaios dos sistemas estruturais ou de suas componentes constituídos do mesmo material, devido à dificuldade de se avaliar fisicamente essa matriz. É usual utiliza-se a matriz de amortecimento do tipo proporcional ou de Rayleigh [61], cuja matriz C é proporcional a matriz de rigidez e de massa a saber:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (6.4)$$

Na expressão (6.4), β é a taxa de contribuição da matriz de rigidez e α é a taxa de contribuição da matriz de massa. A Equação (6.4), escrita em termos de taxa de amortecimento e da frequência natural circular (rad/s) fica:

$$\xi_i = \frac{\alpha}{2\omega_{oi}} + \frac{\beta\omega_{oi}}{2} \quad (6.5)$$

Onde:

ξ_i : taxa de amortecimento do modo i;

ω_{oi} : frequência natural circular do modo $i = 2 \cdot i \cdot f_{ni}$.

Isolando α e β da equação para duas frequências naturais importantes, tem-se que:

$$\alpha = 2\xi_1 \cdot \omega_{o1} - \beta\omega_{o1}\omega_{o1} \quad (6.6)$$

$$\beta = \frac{2(\xi_2\omega_{o2} - \xi_1\omega_{o1})}{\omega_{o2}\omega_{o2} - \omega_{o1}\omega_{o1}} + \frac{\beta\omega_{o1}}{2} \quad (6.7)$$

Sendo as taxas de amortecimento experimental maiores que as obtidas por simulações numéricas, estas contribuirão para a segurança da estrutura. No momento em que um dos indivíduos estiver sem contato com a estrutura, o outro ainda permanecerá em contato contribuindo para reduzir os níveis de vibração.

Utilizando os valores da frequência natural do primeiros e segundo modos e as Equações(6.3)e(6.4), têm-se os valores de α e de β apresentados na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Parâmetros usados no cálculo do amortecimento para a análise de vibração forçada, segundo a variação do modelo estrutural

Modelos	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f_1 (Hz)	5,52	5,61	5,80	5,58	6,71	6,82	5,52	5,62	5,80
f_2 (Hz)	5,55	5,72	5,91	6,65	6,80	6,93	5,55	5,72	5,91
α	1,04	1,08	1,109	1,14	1,27	1,30	1,04	1,07	1,109
β	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0009	0,0008	0,0008

6.4. Estudo do Conforto Humano

6.4.1. Aspectos Gerais

Este item do trabalho apresenta uma análise crítica acerca dos valores das acelerações de pico dos sistemas estruturais investigados nesta dissertação, submetidos às atividades rítmicas (ginástica aeróbica e dança de salão), sob o ponto de vista de conforto humano. Para tal, inicialmente, efetua-se a uma análise harmônica dos modelos em estudo, objetivando identificar quais os modos de vibração apresentam participação mais significativa na resposta dinâmica dos modelos. Em seguida, são apresentados os gráficos dos deslocamentos e acelerações dos pisos analisados, ao longo do tempo, de forma a estabelecer um padrão para o comportamento geral desses modelos. Finalmente, uma análise paramétrica é desenvolvida, de forma a quantificar as acelerações de pico, provenientes da atuação das pessoas exercendo atividades rítmicas (ginástica aeróbica e dança de salão) sobre esses pisos, e, bem como, avaliar os modelos estruturais de acordo com critérios correntes de conforto humano.

6.4.2. Análise Harmônica

A análise harmônica é realizada para avaliar a resposta da estrutura devido à ação de cargas harmônicas variáveis no tempo. Através desta análise podem ser verificados os modos de vibração que mais influenciam no comportamento da estrutura. Foi aplicada uma força senoidal no centro do painel 1, ponto A, identificado na Figura 6.12.

A força aplicada é correspondente ao peso de uma pessoa de 800N [10] e o valor da frequência foi variado de 0 a 100 Hz, de acordo com recomendações do AISC [8]. A taxa de amortecimento considerada foi de 3% (0,03), correspondente à existência de elementos não estruturais instalados sobre o piso, como divisórias, por exemplo. A ação de cargas que variam harmonicamente com o tempo foi considerada conforme a Equação (6.8).

$$F(t) = P \sin(\omega t + \phi) \quad (6.8)$$

onde ω é a frequência de excitação em termos de ciclos por tempo; ϕ é o ângulo de fase e P é o peso de uma pessoa igual a 800 N [10], [24].

As análises harmônicas seguintes são realizadas em nove modelos, cujas variantes são o tipo de travamento estrutural e a geometria das barras que compõem as vigas treliçadas (joists), (principal elemento estrutural) dos pisos, estes modelos encontram-se representados da Figura 6.13 até a Figura 6.15.

Nestas figuras são apresentados os fatores de amplificação dinâmica, FAD , versus β . Para todos os modelos estudados neste trabalho. O parâmetro β é a relação entre a frequência

de excitação e a frequência natural do piso, obtido na expressão (6.4), ou seja, f/f_{01} . O valor do FAD é definido pela razão entre o deslocamento máximo dinâmico obtido na análise harmônica - V_D (ANSYS) [4] e o deslocamento estático - V_E , $FAD = V_D/V_E$.

O deslocamento estático máximo calculado pode ser visto na Figura 6.12, obtida para o modelo 1 quando uma pessoa está posicionada no nó A. Demais valores são apresentados na Tabela 6.5.

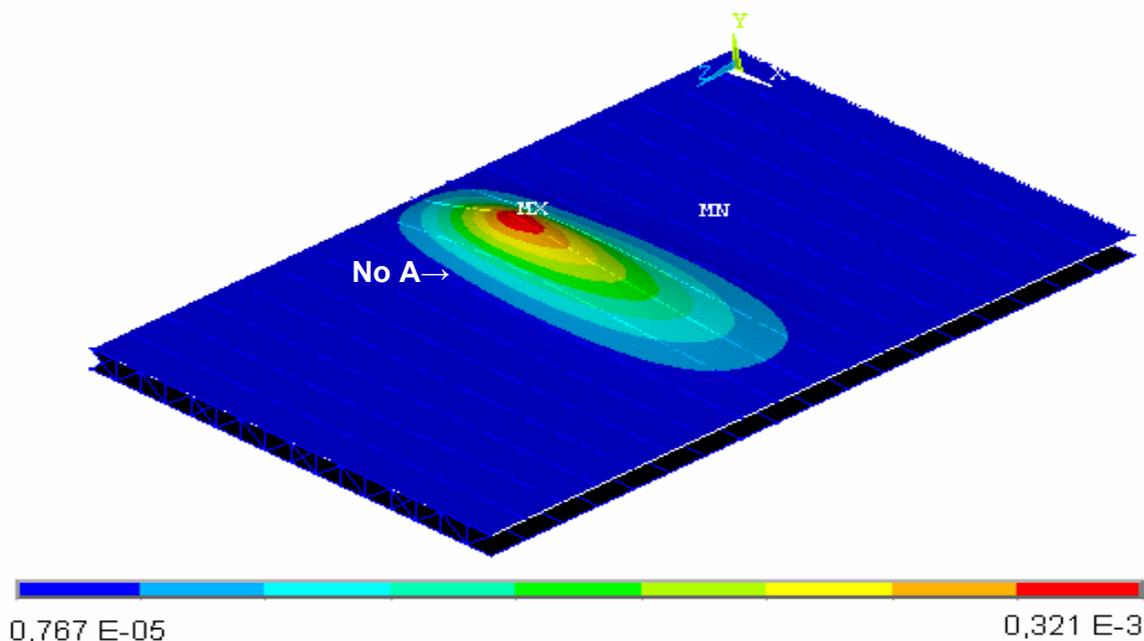
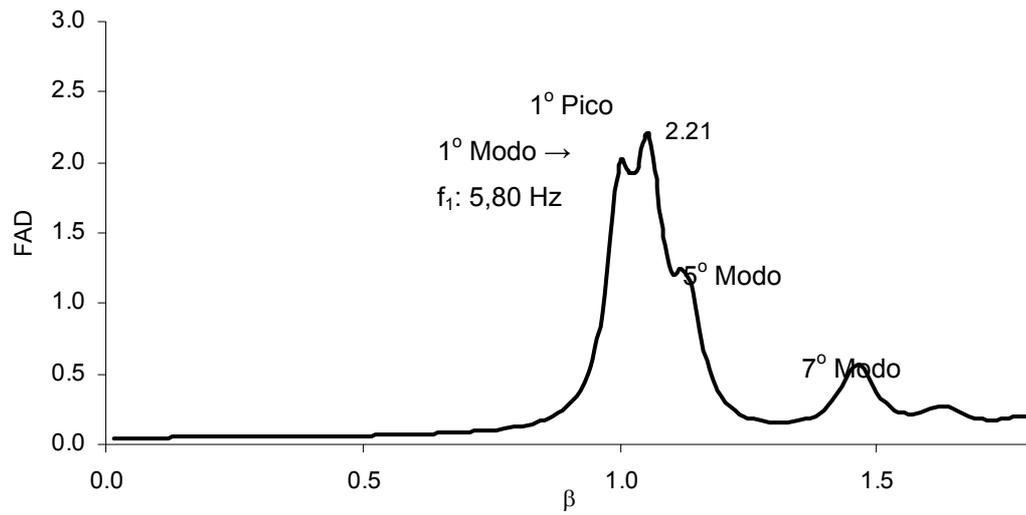


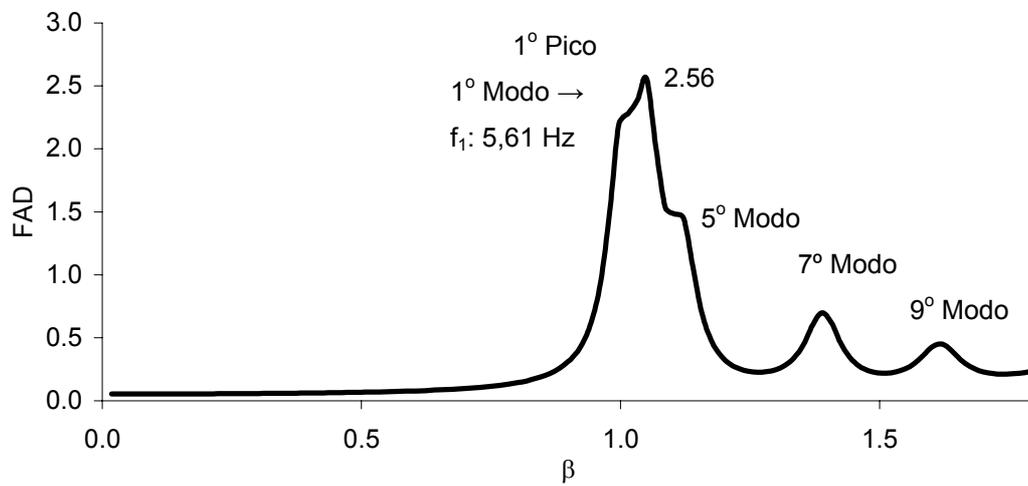
Figura 6.12 - Deslocamento estático obtido para o piso do modelo 1 (m), adaptação [42]

Tabela 6.5 - Valores do FAD para o primeiro pico ($\beta=1$)

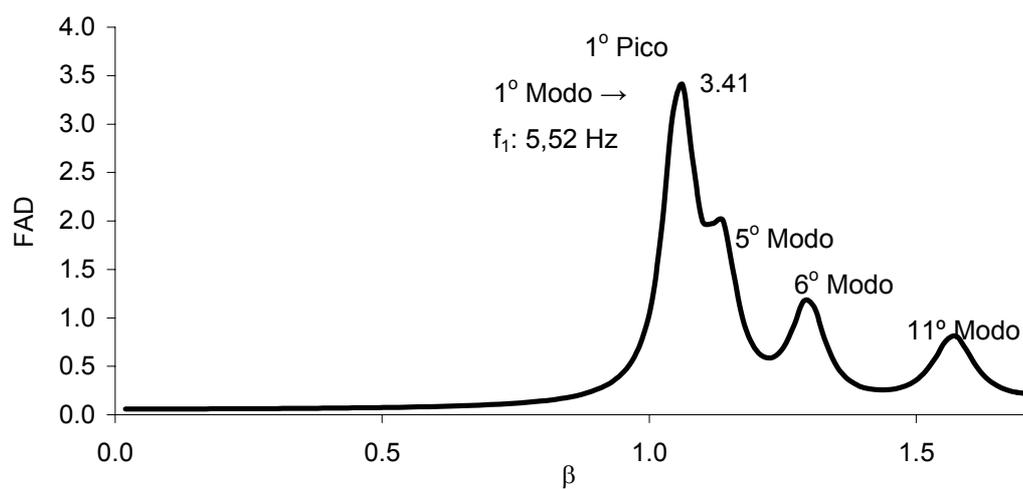
Modelos	Deslocamento dinâmico V_D (cm)	Deslocamento estático V_E (cm)	FAD V_D/V_E
Modelo 1	7,09	3,21	2,21
Modelo 2	8,73	3,21	2,56
Modelo 3	10,95	3,21	3,41
Modelo 4	5,78	3,21	1,80
Modelo 5	6,48	3,21	2,02
Modelo 6	7,83	3,21	2,44
Modelo 7	7,13	3,21	2,22
Modelo 8	8,25	3,21	2,55
Modelo 9	10,88	3,21	3,39



a) Modelo 1

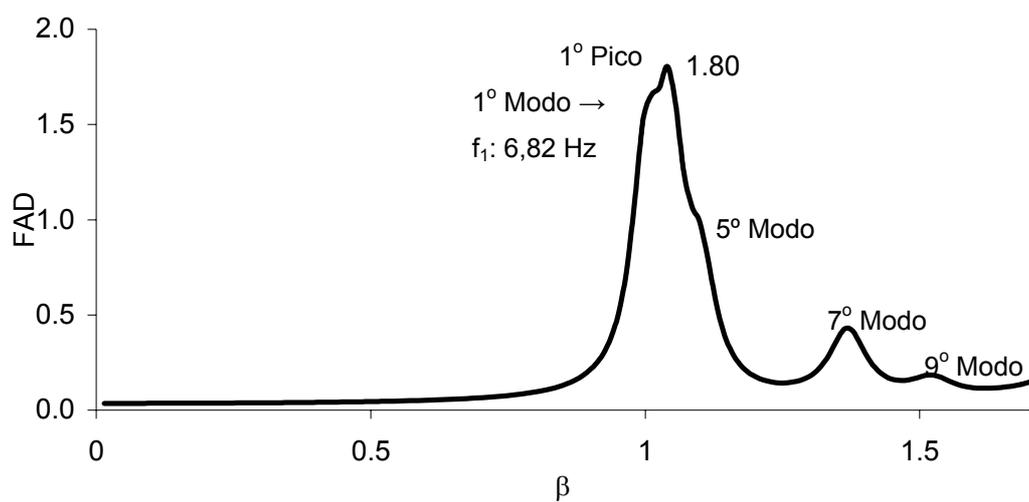


b) Modelo 2

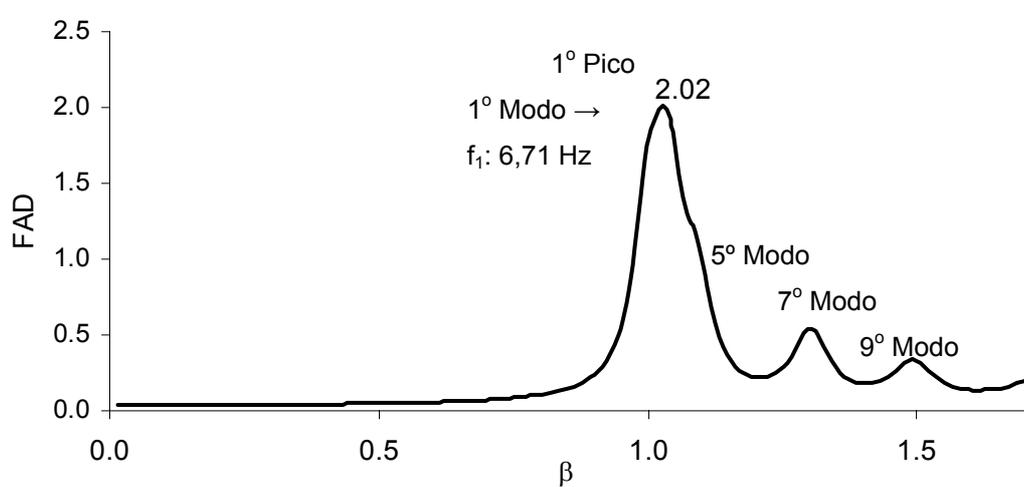


c) Modelo 3

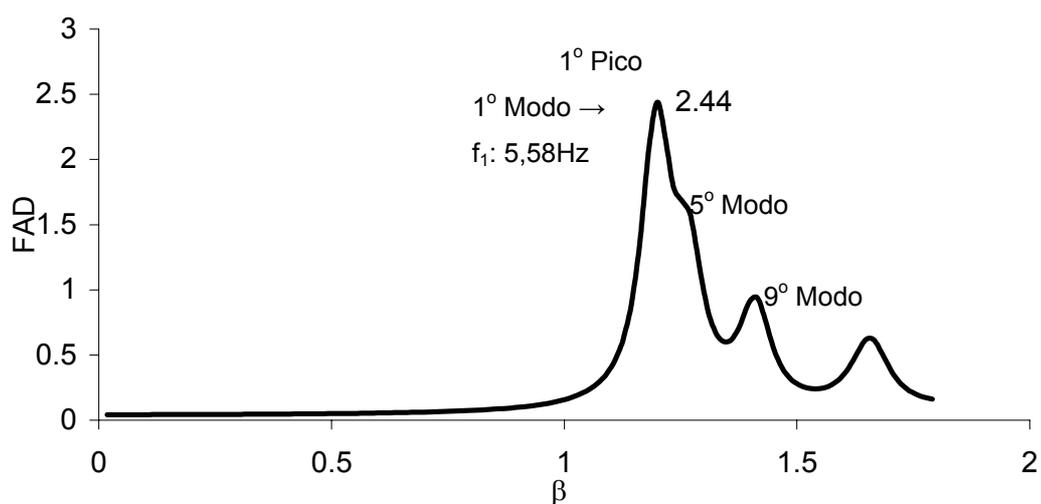
Figura 6.13 - Gráficos do FAD em função de β para os modelos 1 a 3



a) Modelo 4

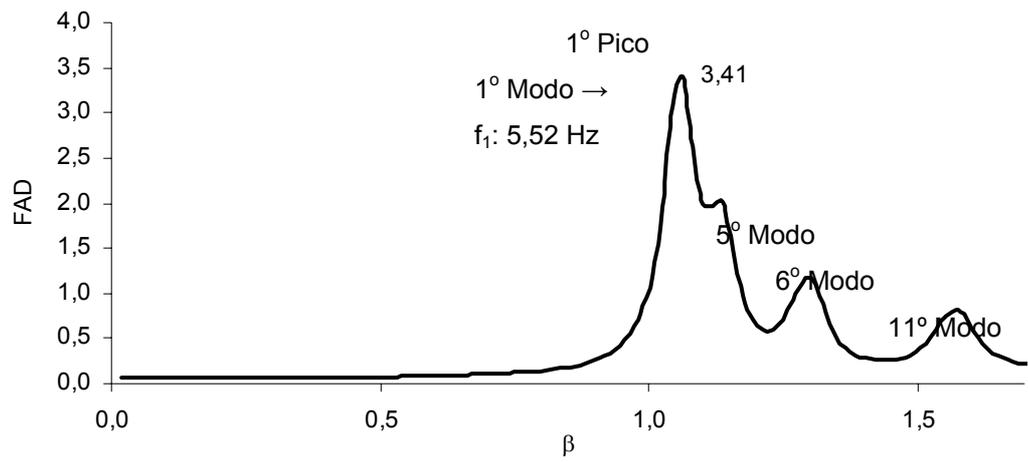


b) Modelo 5

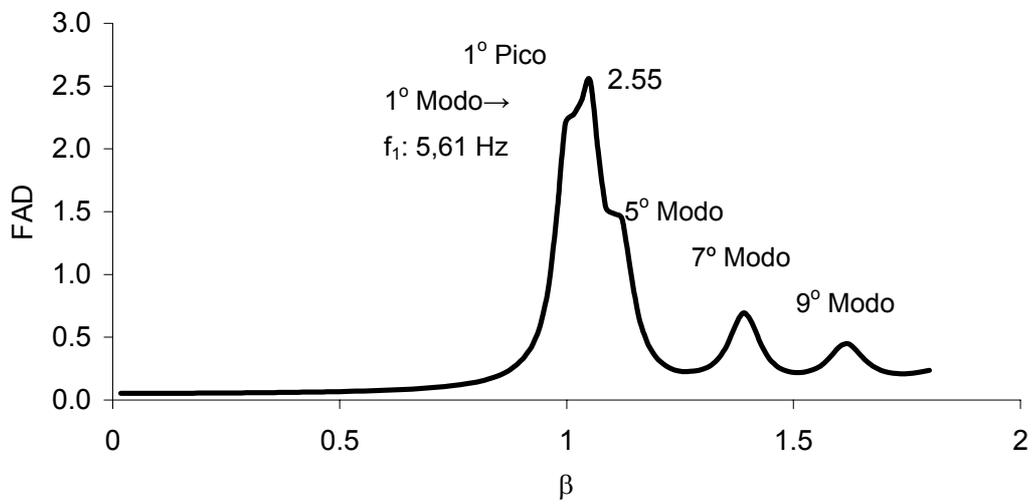


c) Modelo 6

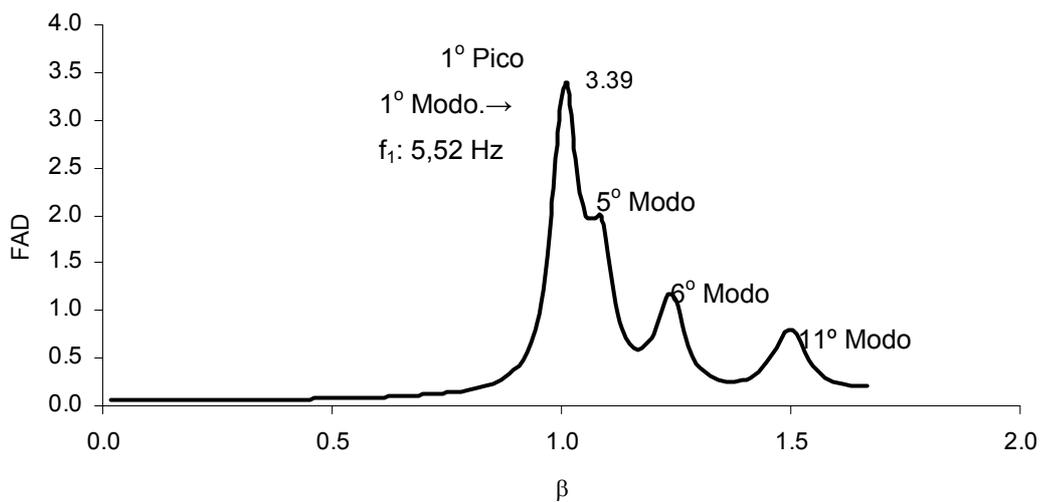
Figura 6.14 - Gráficos do FAD em função de β para os modelos 4 a 6



a) Modelo 7



b) Modelo 8



c) Modelo 9

Figura 6.15 - Gráficos do FAD em função de β para os modelos 7 a 9

Verifica-se através dos gráficos apresentados das Figuras 6.14 a 6.16 (modelos estruturais 1 a 9), que devido à normalização em relação à frequência fundamental, os valores iguais à unidade (valores de $\beta=1$), indicam a amplificação dinâmica máxima que ocorre no ponto A.

De maneira geral, observa-se nas Figuras 6.14 a 6.16 que em todos os modelos de pisos analisados, a amplificação máxima da resposta ocorre quando a frequência de excitação, ω , é igual à frequência fundamental da estrutura, ω_0 , ou seja, quando $\beta = 1$, fato que caracteriza o fenômeno físico da ressonância.

É importante ressaltar que na frequência de ressonância ou em valores próximos a esta, as deflexões da estrutura ficam muito grandes e, portanto intoleráveis. Nas Figuras 6.14 a 6.16 pode-se observar também que em todos os espectros de respostas dos modelos analisados apareceram picos menores, caracterizando a influência de outros modos de vibração mais elevados.

Ressalta-se que, de forma geral, o primeiro pico dos gráficos, correspondente ao primeiro modo de vibração dos pisos (modo fundamental de vibração), com predominância dos efeitos de flexão, é preponderante em relação aos demais modos, Figuras 6.14 a 6.16, sendo o responsável pelas maiores amplificações dinâmicas existentes nos modelos.

Observa-se também, que todos os modelos são influenciados pelo 5º modo de vibração dos modelos que, aparece na maioria dos casos, acoplado ao modo fundamental de vibração (primeiro pico nos gráficos), Figuras 6.14 a 6.16. Outros modos de vibração mais elevados também influenciam nos modelos estruturais, Figuras 6.14 a 6.16. Todavia, os valores do FAD referentes a esses picos são pouco expressivos, em todos os espectros, evidenciando que tais estruturas são fortemente dominadas pela primeira frequência natural dos pisos.

6.4.3. Comportamento Geral dos Modelos

Ressalta-se que a metodologia geral de carregamento dinâmico adotada para avaliar o comportamento geral dos modelos estruturais investigados utiliza a função Hanning, conforme descrito nas seções anteriores desta dissertação e utiliza os parâmetros experimentais propostos por Faísca [13].

Inicialmente, busca-se avaliar o comportamento dinâmico global dos nove modelos de pisos, quando submetidos ao carregamento dinâmico, correspondente a ginástica aeróbica exercida por uma pessoa. Os parâmetros utilizados na presente análise foram os seguintes: $T_c = 0,25$ s, $T_s = 0,10$ s, $K_p = 2,78$ e $CD = 1$.

Na seqüência do estudo, a análise foi ampliada, também, para o estudo dos casos de carregamento associados a 3, 6, 9 e 12 pessoas praticando ginástica aeróbica sobre os modelos, considerando-se os mesmos parâmetros experimentais e, bem como, uma variação

conveniente do coeficiente de defasagem, CD, de acordo com o número de pessoas sobre o piso.

Desta forma, foram obtidos os deslocamentos e acelerações, ao longo do tempo, referentes a três pontos de interesse na geometria dos sistemas estruturais, a saber: pontos A onde ocorrem as atividades de maior impacto e está localizado no centro da área reservada para as atividades humanas rítmicas (atividades aeróbicas); ponto B que se encontra na fronteira entre a área de dança e a área utilizada como restaurante e, ainda, o ponto C localizado em ponto estratégico na área de uso do restaurante, no mesmo alinhamento dos pontos A e B, de acordo com a Figura 6.17.

A Figura 6.17 apresenta um esquema genérico dos modelos estruturais estudados ao longo desta dissertação. Destaca-se a área da estrutura reservada para o uso do piso com atividades de dança e de ginástica aeróbica (painel 1), e, bem como, a região utilizada como restaurante (painel 2). No ponto A foi simulada a aplicação de uma excitação dinâmica, correspondente a uma pessoa praticando ginástica aeróbica.

Em seguida, são apresentados 27 gráficos associados à resposta dinâmica dos nove modelos de pisos em estudo (deslocamentos e acelerações), ao longo do tempo. As Figuras 6.18 a 6.26, apresentam os deslocamentos e acelerações correspondentes ao nó A dos modelos. Na seqüência do texto, as Figuras 6.27 a 6.35, ilustram essas grandezas da resposta, associadas ao nó B do sistema e, finalmente, as Figuras 6.36 a Figura 6.44, mostram a referida resposta associada ao nó C desses pisos.

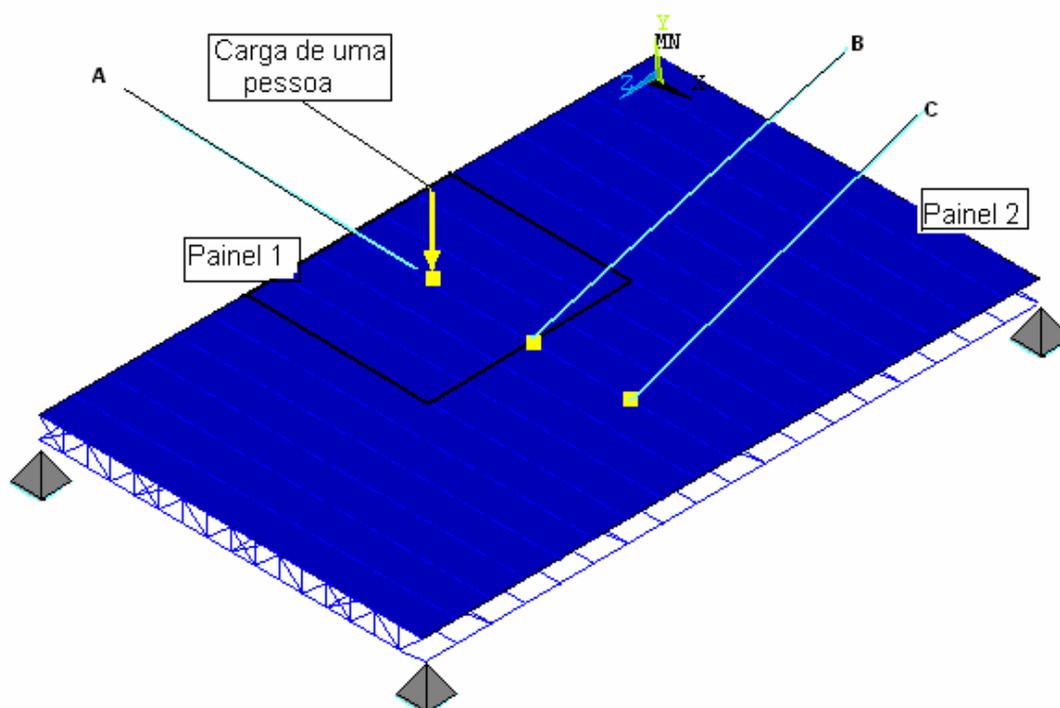


Figura 6.16 - Posicionamento dos nós A, B e C onde são obtidos os deslocamentos translacionais verticais e as acelerações de pico dos modelos estruturais, adaptação [42]

De forma geral, os gráficos correspondentes as Figuras 6.18 a 6.44 apresentam as funções de tempo, deslocamentos e acelerações, representativas da resposta dinâmica dos pisos. Estas funções de tempo apresentam um trecho inicial correspondente à fase transiente da resposta onde alguns picos se apresentam um pouco mais elevados. Contudo, percebe-se, claramente, em todos os gráficos, Figuras 6.18 a 6.44, que esses picos mais elevados são amortecidos e a fase permanente é rapidamente alcançada.

Convém chamar a atenção do leitor para o fato de que os valores da resposta dinâmica considerados, ao longo deste estudo, correspondem aos picos obtidos na fase permanente da resposta. Nota-se ainda que nos gráficos apresentados os valores dos deslocamentos situam-se numa faixa entre 0,2mm a 0,5mm e as acelerações de pico variam da ordem de $0,10 \text{ m/s}^2$ a $0,75 \text{ m/s}^2$, Figuras 6.18 a 6.44.

Percebe-se, também, que os modelos mais flexíveis (modelos 1, 2, 3, 6, 7, 8 e 9) apresentam, ao longo do tempo, mais oscilações quando são comparados com os modelos mais rígidos (modelos 4, 5 e 6), Figuras 6.17 a 6.43.

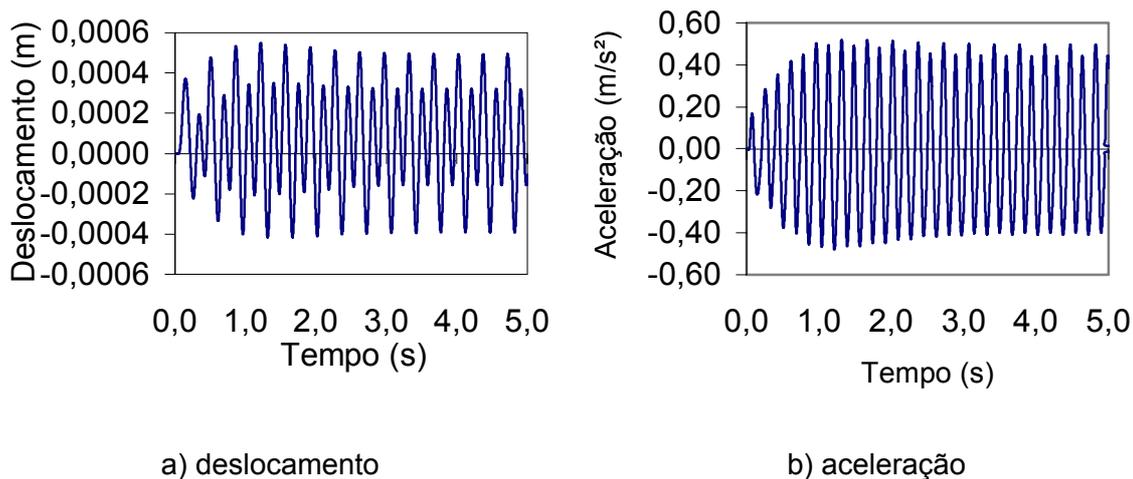


Figura 6.17 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 1 no nó A [42]

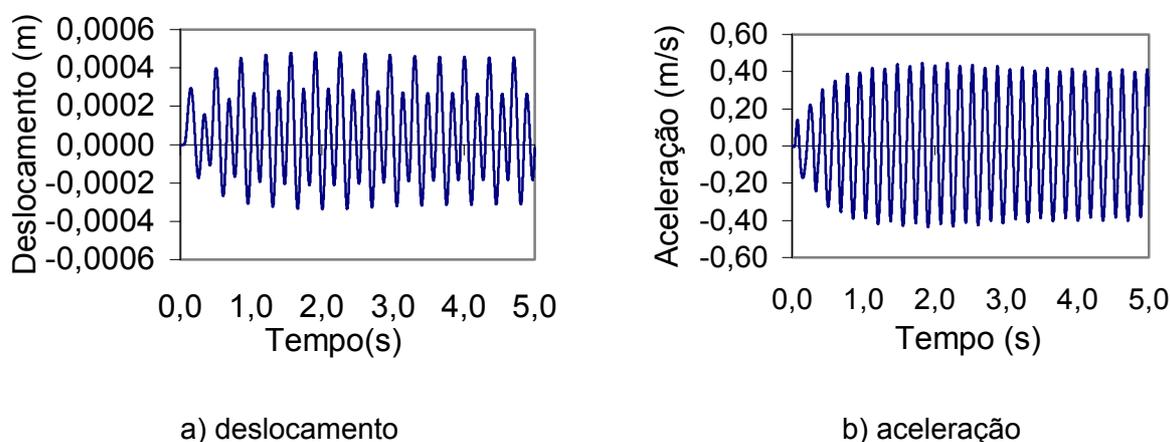


Figura 6.18 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 2 no nó A

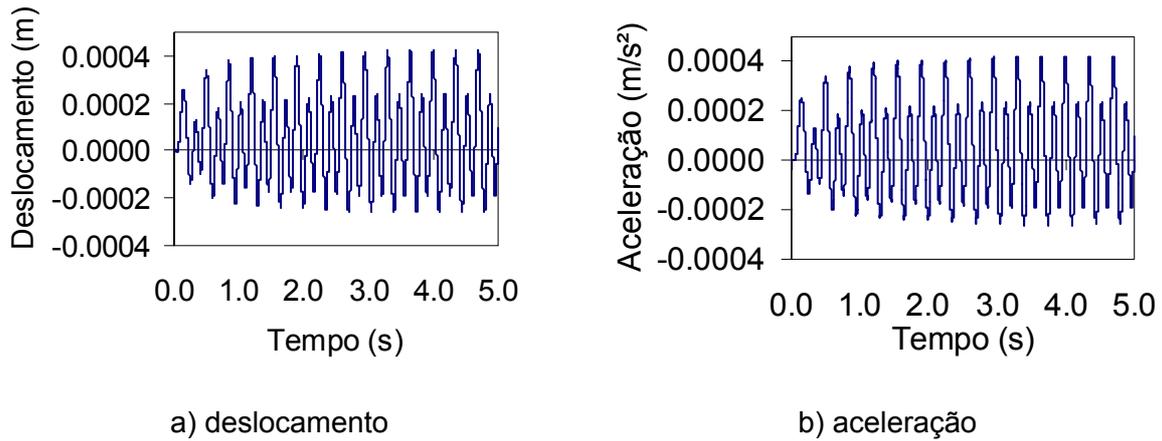


Figura 6.19 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 3 no nó A

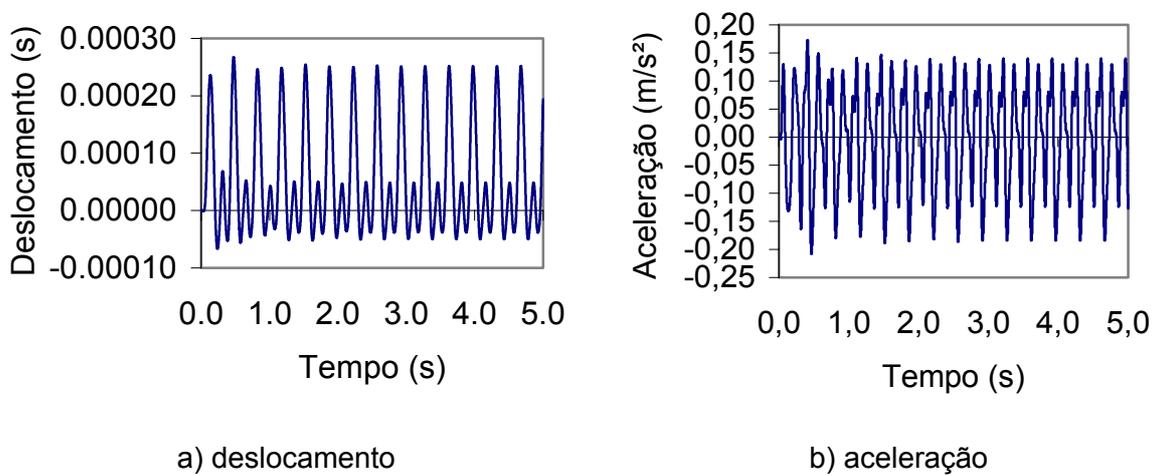


Figura 6.20 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 4 no nó A

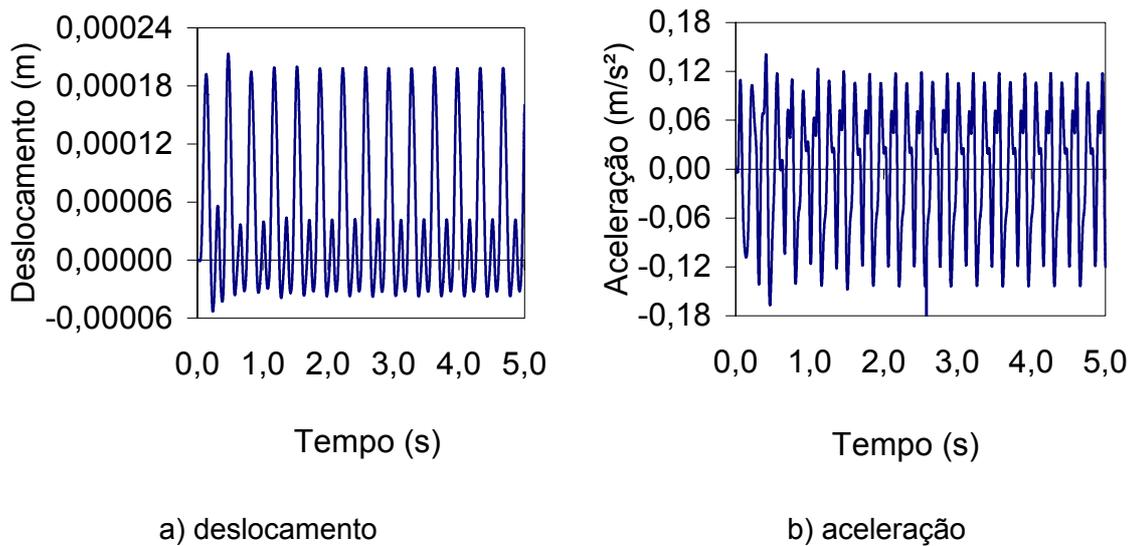
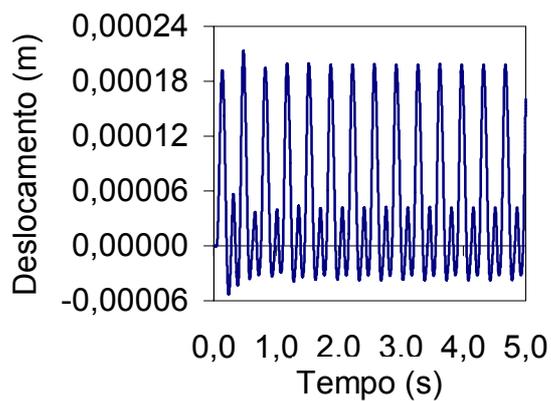
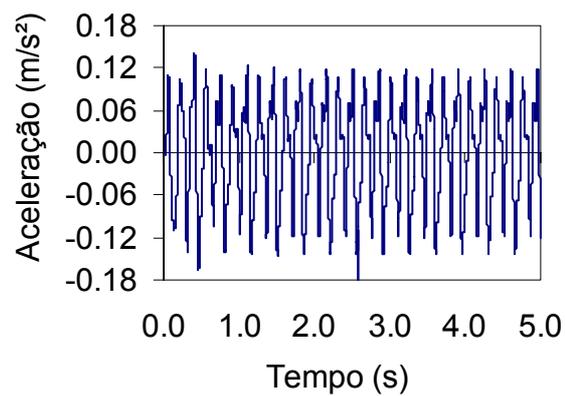


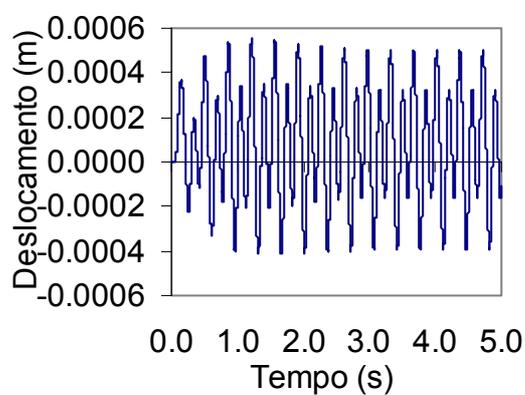
Figura 6.21- Deslocamento e aceleração do piso, modelo 5 no nó A



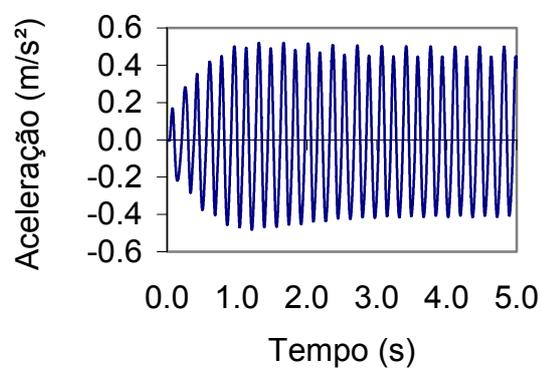
a) deslocamento



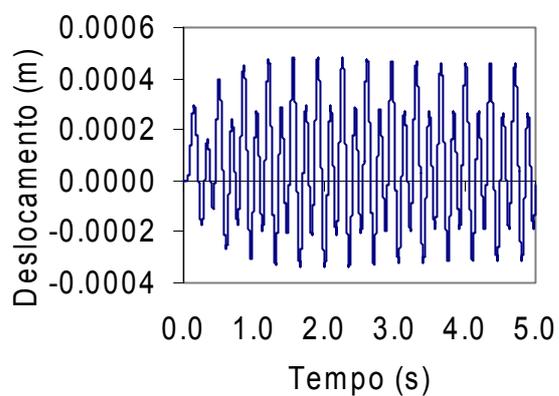
b) aceleração

Figura 6.22 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 6 no nó A

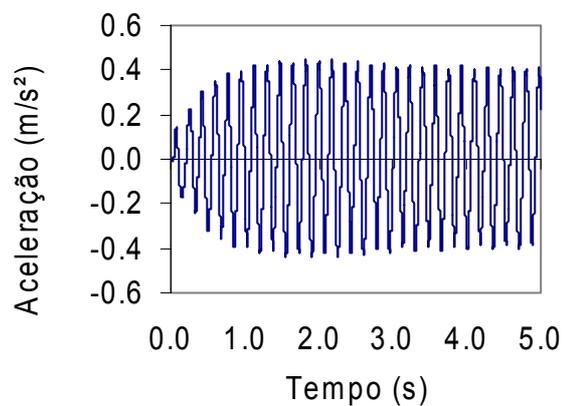
a) deslocamento



b) aceleração

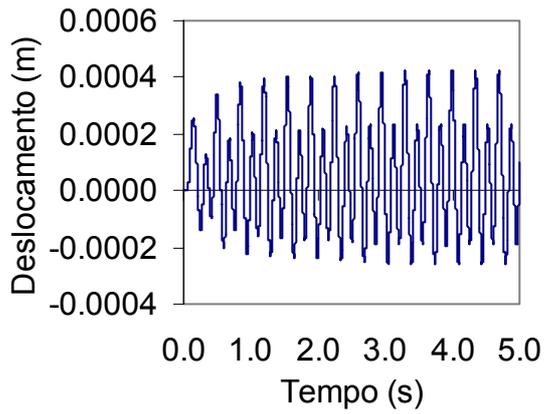
Figura 6.23 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 7 no nó A

a) deslocamento

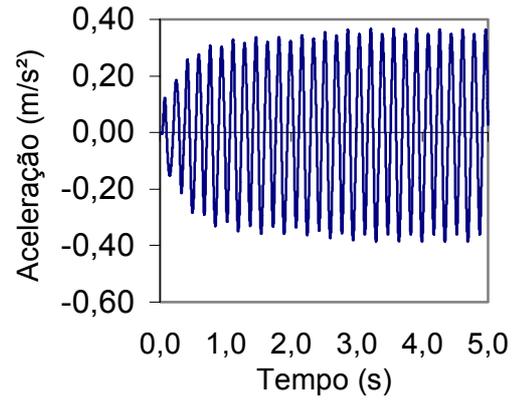


b) aceleração

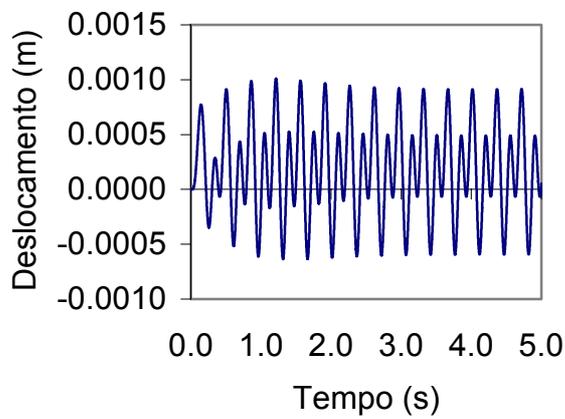
Figura 6.24 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 8 no nó A



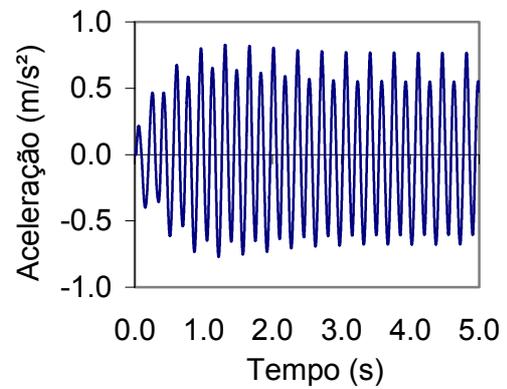
a) deslocamento



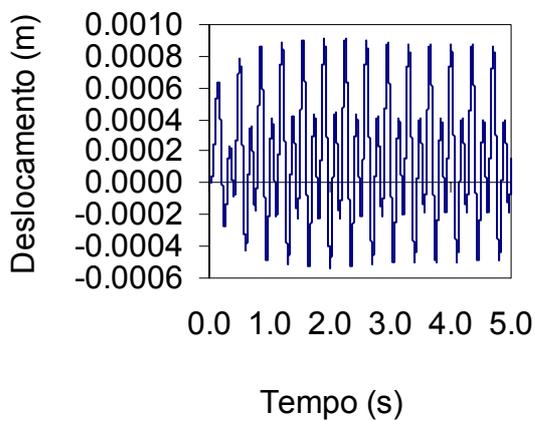
b) aceleração

Figura 6.25 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 9 no nó A

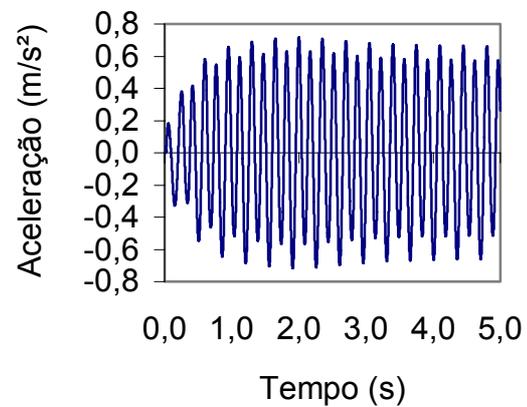
a) deslocamento



b) aceleração

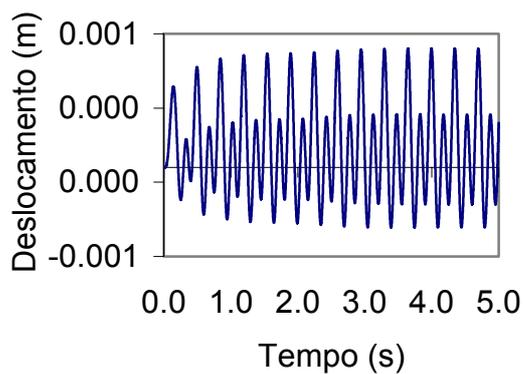
Figura 6.26 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 1 no nó B

a) deslocamento

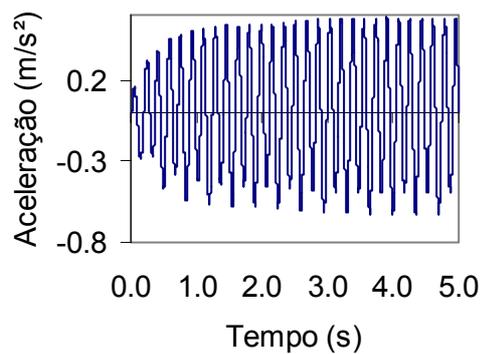


b) aceleração

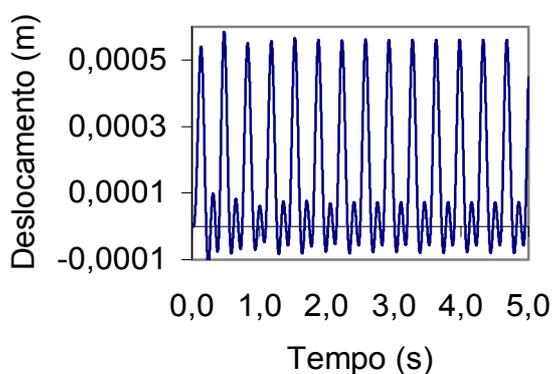
Figura 6.27 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 2 no nó B



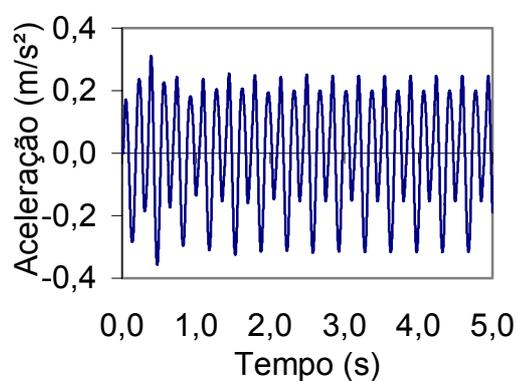
a) deslocamento



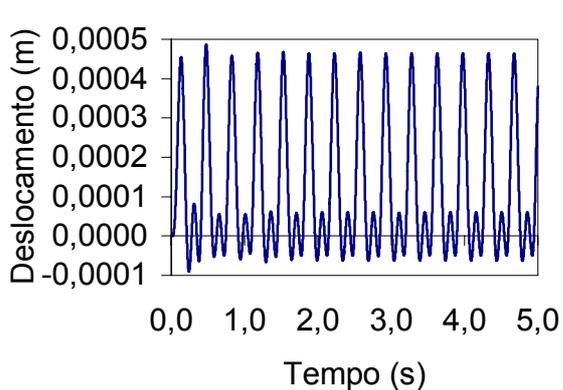
b) aceleração

Figura 6.28 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 3 no nó B

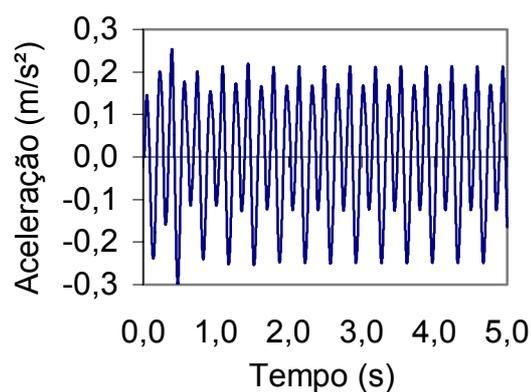
a) deslocamento



b) aceleração

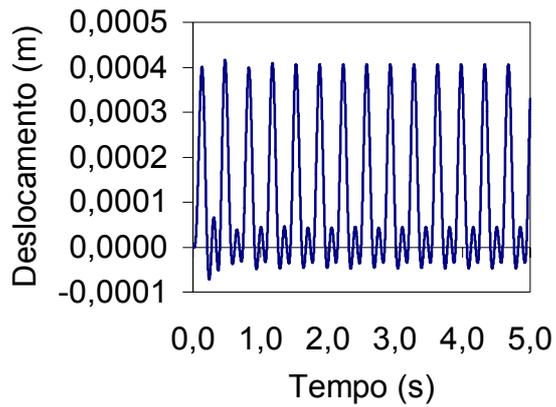
Figura 6.29 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 4 no nó B

a) deslocamento

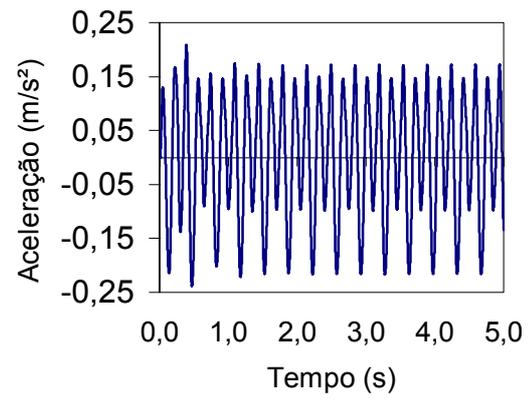


b) aceleração

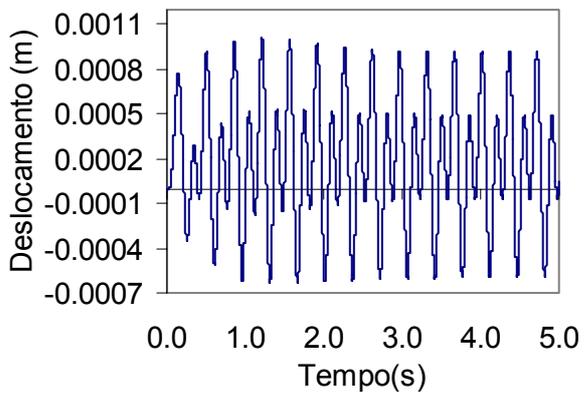
Figura 6.30 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 5 no nó B



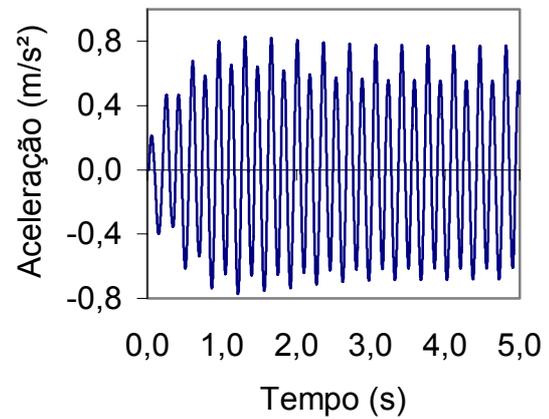
a) deslocamento



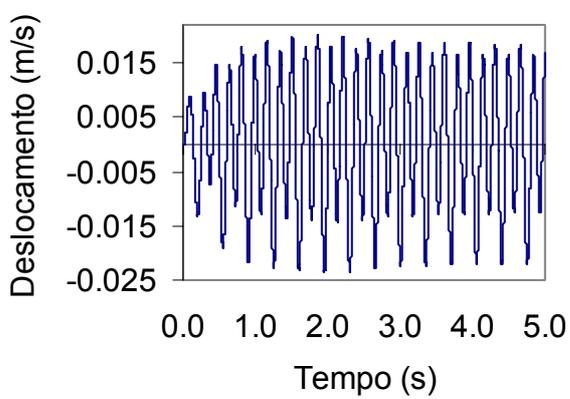
b) aceleração

Figura 6.31 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 6 no nó B

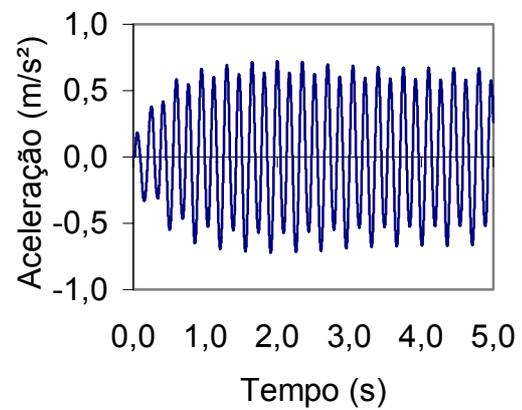
a) deslocamento



b) aceleração

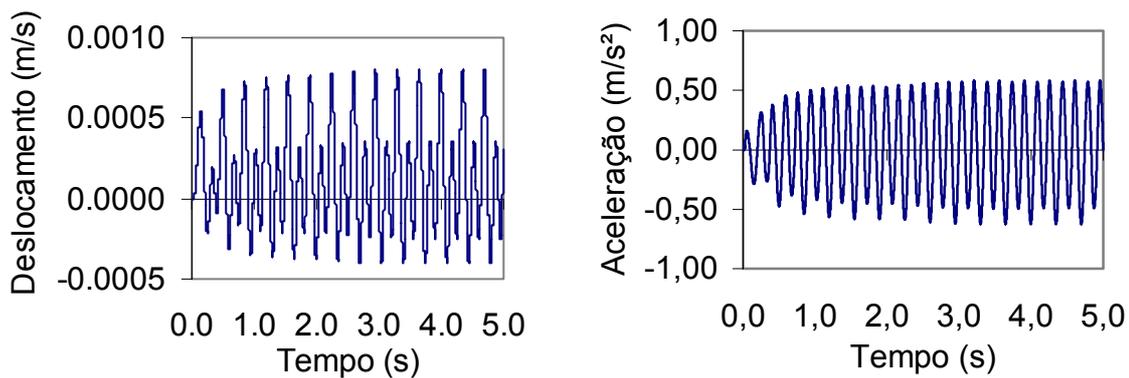
Figura 6.32 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 7 no nó B

a) deslocamento



b) aceleração

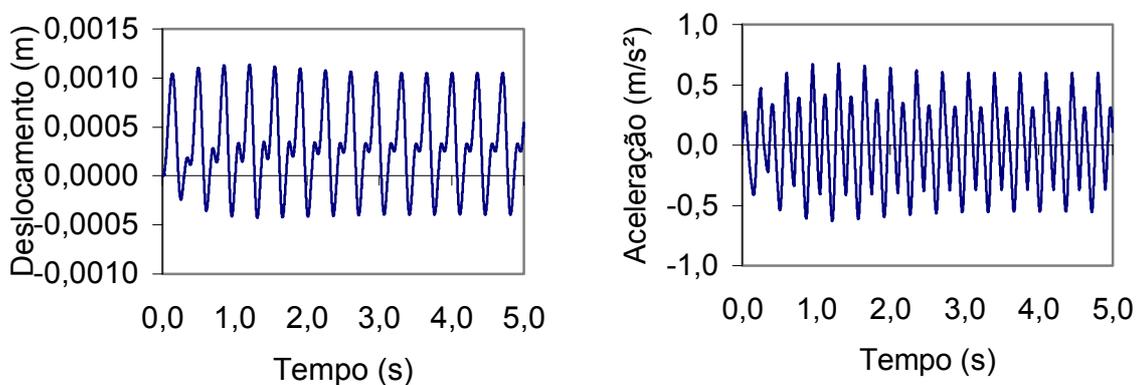
Figura 6.33 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 8 no nó B



a) deslocamento

b) aceleração

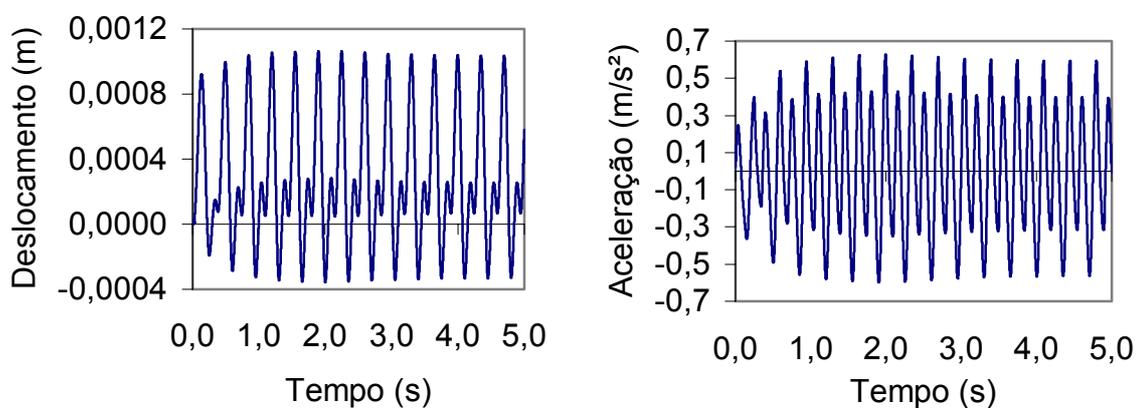
Figura 6.34 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 9 no nó B



a) deslocamento

b) aceleração

Figura 6.35 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 1 no nó C



a) deslocamento

b) aceleração

Figura 6.36 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 2 no nó C

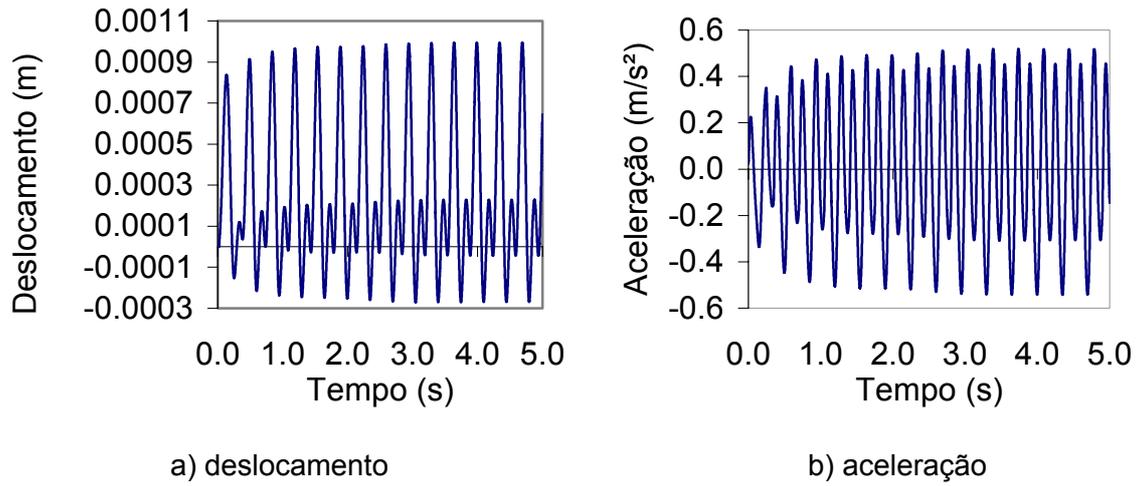


Figura 6.37 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 3 no nó C

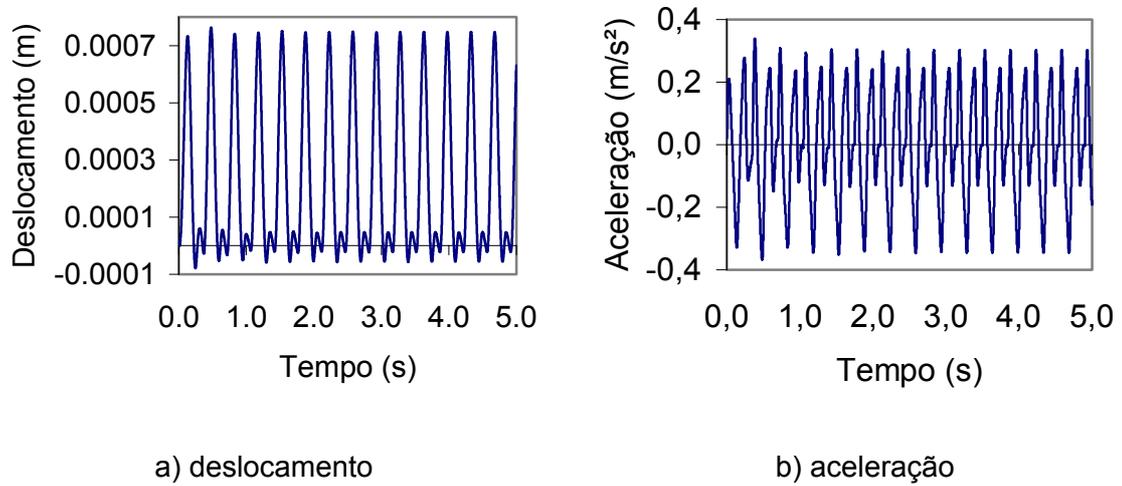


Figura 6.38 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 4 no nó C

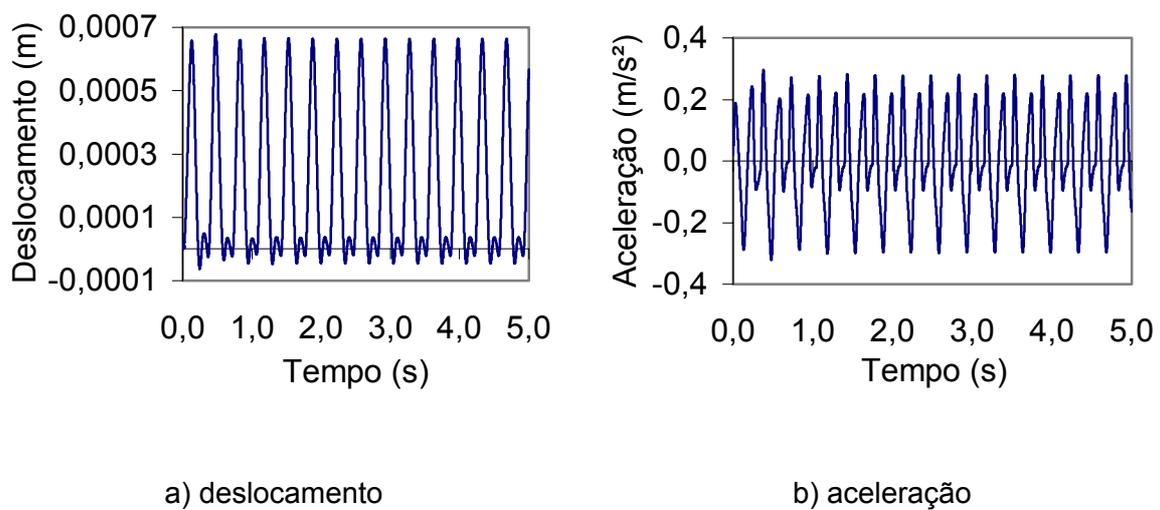
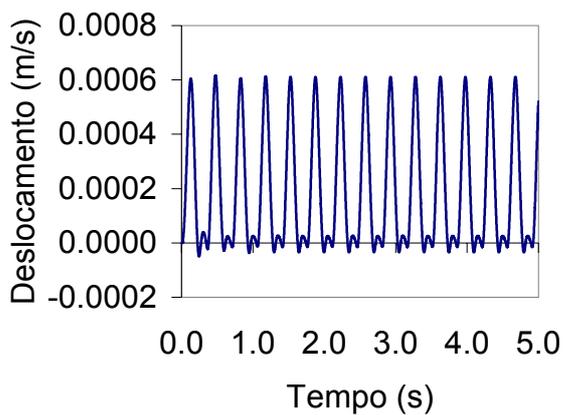
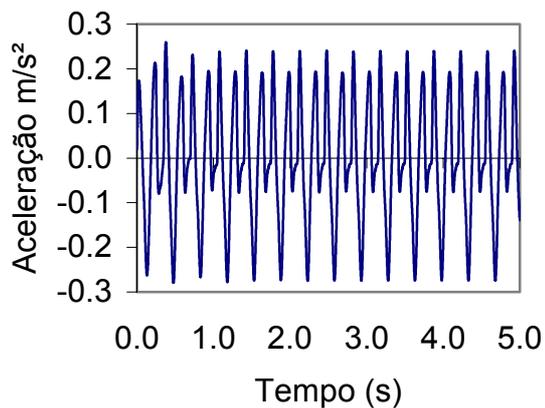


Figura 6.39 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 5 no nó C

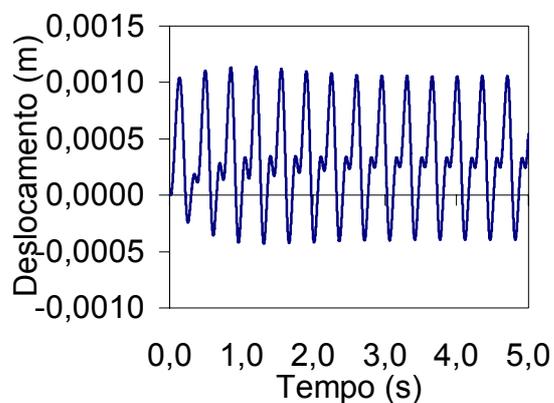


a) deslocamento

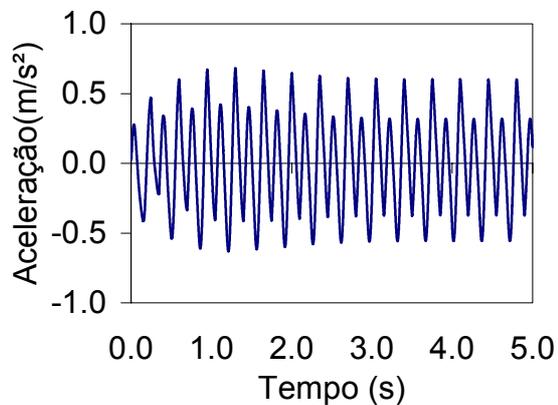


b) aceleração

Figura 6.40 - Deslocamento e aceleração do piso, no modelo 6 no nó C

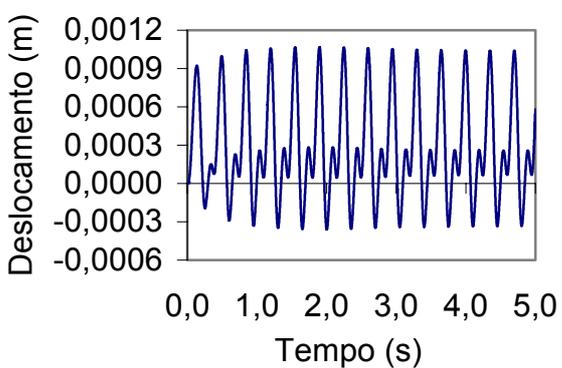


a) deslocamento

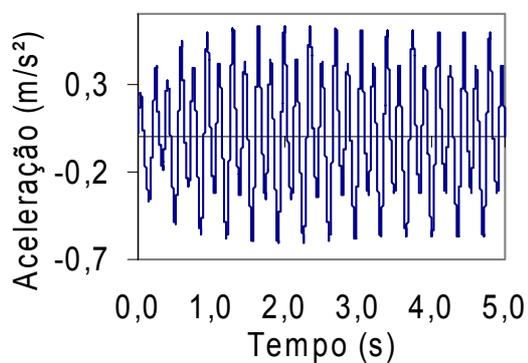


b) aceleração

Figura 6.41 - Deslocamento e aceleração do piso, no modelo 7 no nó C



a) deslocamento



b) aceleração

Figura 6.42 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 8 no nó C

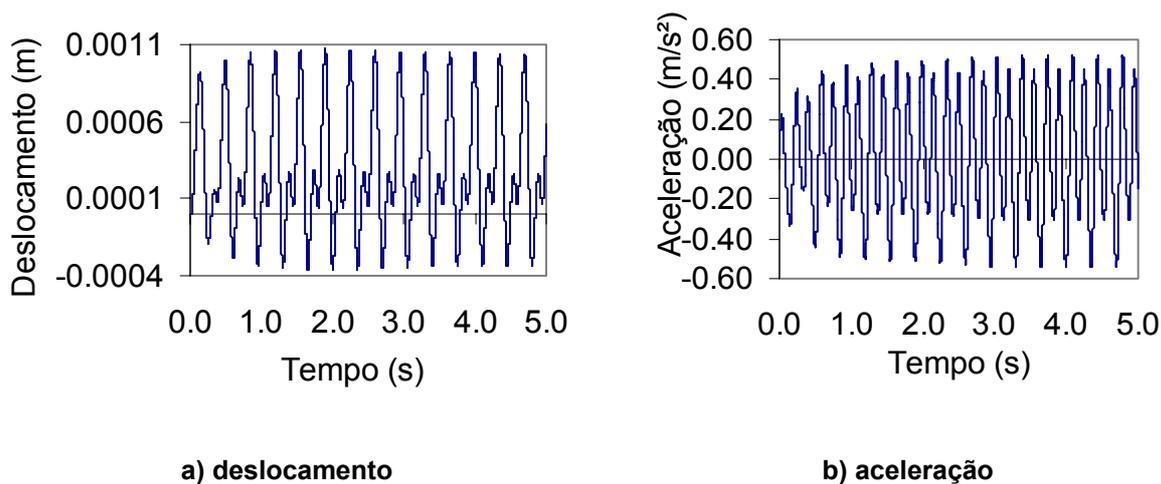


Figura 6.43 - Deslocamento e aceleração do piso, modelo 9 no nó C

6.4.4. Estudo Paramétrico

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos pisos para diferentes tipos de utilização, foram realizadas medições em três nós posicionados nos modelos estruturais 1 a 9. O primeiro nó (A) está posicionado no centro da laje em que são desenvolvidas as atividades de ginástica e dança. O nó B está posicionado no limite dos dois ambientes (salão de dança e restaurante) e o nó C está posicionado na mesma direção dos demais nós no centro da área utilizada como salão de jantar (restaurante) conforme mostra a Figura 6.17.

As atividades estudadas são a ginástica aeróbica e a dança de salão (com uma pessoa e em dupla), ambas as atividades estão intrinsecamente relacionadas com o período de contato (T_c). Para a atividade de dança de salão, ainda que os dados disponíveis sejam resultados experimentais [13], nota-se que tanto no AISC [8], como nas considerações realizadas por Faísca [13], foram apresentados valores médios do tempo de contato (T_c) na mesma faixa de grandeza.

Desta forma, para esta atividade foram adotados os valores médios, adicionados ou subtraídos do desvio padrão, uma vez que a atividade de dança tem como valor médio o limite superior (média mais desvio padrão) da atividade aeróbica [13].

Para estudar o comportamento dos pisos em relação às duas atividades mencionadas anteriormente (ginástica aeróbica e a dança de salão), foi variado o tempo de contato, sendo mantidos constantes os demais parâmetros, $K_p = 2,78$, o valor do período sem contato ($T_s = 0,10$ s), enquanto o valor de CD (coeficiente de defasagem), varia em função do carregamento, número de pessoas aplicadas, de acordo com a Figura 6.5.

6.4.4.1. Ginástica Aeróbica

As tabelas apresentadas a seguir, Tabela 6.6 a Tabela 6.8 mostram os resultados das acelerações de pico (a_p), obtidas na fase permanente da resposta dos modelos, referentes aos nós A, B e C, respectivamente, para os diferentes carregamentos (1, 3, 6, 9 e 12 pessoas) considerando-se um tempo de contato ($T_c = 0,25s$), caracterizando a atividade de ginástica aeróbica.

Estes resultados são apresentados para todos os pisos estudados variando do Modelo 1 ao Modelo 9. Também é apresentado o valor limite recomendado pela ISO 2631/2 [1536], para as áreas sujeitas aos carregamentos devido às atividades humanas rítmicas.

Posteriormente, estes valores foram analisados em termos de acelerações, verificando os resultados apresentados para cada um dos pontos em que foram tomadas as medições. Além disso, foram analisadas as características estruturais dos modelos utilizados, tanto em relação ao tipo de travamento utilizado nos modelos quanto em relação ao tipo de perfil utilizado nas vigas treliçadas (joists).

Tabela 6.6 - Aceleração A, para os modelos de 1 a 9 - Ginástica Aeróbica

Modelo	$T_c = 0,25s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,53	1,21	2,21	3,00	4,00	0,5
2	0,58	1,24	2,29	3,38	4,42	0,5
3	0,54	0,53	2,43	3,61	4,74	0,5
4	0,27	0,32	0,84	1,06	1,42	0,5
5	0,12	0,52	0,86	1,31	1,72	0,5
6	0,34	0,54	0,94	1,42	1,79	0,5
7	0,53	1,22	2,25	2,99	4,05	0,5
8	0,59	1,23	2,29	3,38	4,34	0,5
9	0,59	1,25	2,39	2,16	2,14	0,5

Tabela 6.7 - Acelerações de pico no nó B, para os modelos de 1 a 9 - Ginástica Aeróbica

Modelo	$T_c = 0,25s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [88] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,62	1,64	3,15	4,42	5,66	0,5
2	0,66	1,66	3,21	4,79	6,27	0,5
3	0,60	0,60	3,61	5,36	7,05	0,5
4	0,17	0,28	0,94	1,33	1,42	0,5
5	0,14	0,54	1,04	1,53	2,03	0,5
6	0,31	0,60	1,17	1,74	2,25	0,5
7	0,61	1,65	3,19	4,44	5,73	0,5
8	0,65	1,65	3,20	4,69	6,09	0,5
9	0,75	1,90	3,58	3,29	3,25	0,5

Tabela 6.8 - Acelerações de pico no nó C, para os modelos de 1 a 9 - Ginástica Aeróbica

Modelo	$T_c = 0,25s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,37	1,03	1,99	2,76	3,58	0,5
2	0,41	1,04	1,99	2,95	3,83	0,5
3	0,40	0,40	2,42	3,59	4,75	0,5
4	0,11	0,18	0,55	0,75	0,90	0,5
5	0,10	0,34	0,65	0,96	1,72	0,5
6	0,18	0,40	0,76	1,13	1,47	0,5
7	0,37	1,03	1,99	2,76	3,58	0,5
8	0,40	1,02	1,98	2,93	3,90	0,5
9	0,49	1,26	2,42	2,21	2,20	0,5

Os maiores valores referentes à resposta dinâmica (deslocamentos e acelerações) dos modelos estruturais 1 a 9 foram observados sobre o nó B, conforme pode ser verificado da Tabela 6.9 a Tabela 6.11 e Figura 6.45, respectivamente. A Figura 6.45 apresenta, como exemplo, a aceleração de pico do modelo 1, quando submetido ao carregamento de apenas uma pessoa, em conjunto com a forma do modo fundamental de vibração deste modelo. Esta figura pode ser tomada como referência para todos os modelos investigados, para os quais a forma do modo fundamental é absolutamente similar.

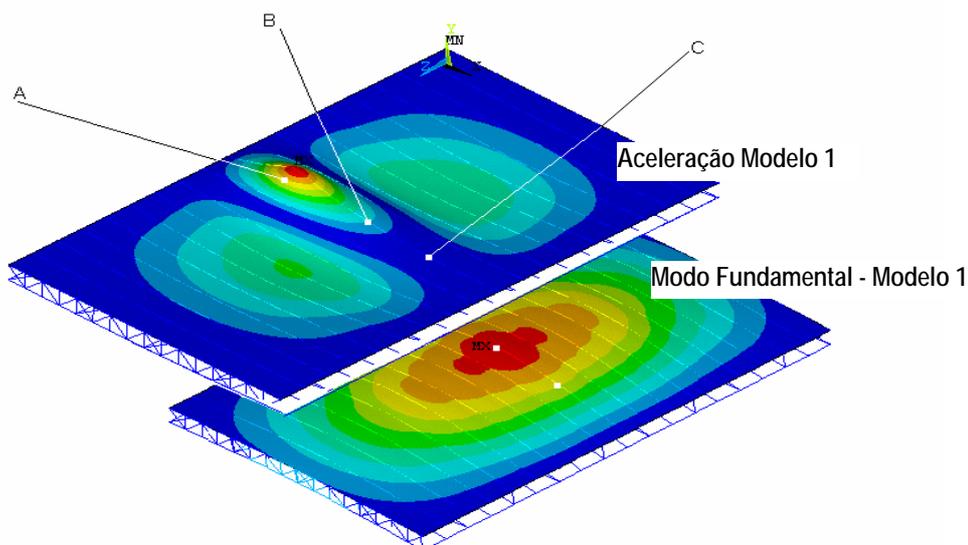


Figura 6.44 - Deslocamento e forma do modo fundamental para os pisos - exemplo modelo 1 com carregamento de uma pessoa

Na Figura 6.45 pode-se perceber que no nó A, ponto onde são aplicadas as cargas dinâmicas oriundas das pessoas, embora o deslocamento estático seja mais expressivo, a forma do modo fundamental de vibração apresenta menor amplitude. Por outro lado, o ponto B, ponto intermediário dos painéis 1 e 2, ilustrado nas Figuras 6.17 e 6.45, apresenta um valor de deslocamento estático menos expressivo, do que o nó A, no entanto apresenta maior amplitude modal, por estar localizado no centro do vão. O ponto C apresenta valores aproximados àqueles encontrados no ponto A, sendo estes valores intermediários aos valores encontrados em relação aos nós A e B. Pelas razões descritas acima, o nó B dos modelos, Figuras 6.17 e 6.45, será o ponto central para a análise das acelerações de pico.

Considerando-se, inicialmente, os aspectos quantitativos da resposta dinâmica dos modelos, referenciando-se especificamente para o nó B, observa-se que para um carregamento dinâmico de apenas uma pessoa, sobre os modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, foram verificados os seguintes valores de pico para as acelerações, respectivamente: $0,62 \text{ m/s}^2$, $0,66 \text{ m/s}^2$, $0,60 \text{ m/s}^2$, $0,61 \text{ m/s}^2$, $0,65 \text{ m/s}^2$ e $0,75 \text{ m/s}^2$, como ilustrado nas Tabelas 6.6 a 6.8. Esses valores já violam os critérios de conforto humano [6],[8].

Quando o nível da solicitação dinâmica torna-se mais elevado e doze pessoas são colocadas atuando sobre os modelos estruturais, este quadro piora bastante, pois as acelerações de pico nos modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, associadas ao nó B, são, respectivamente, iguais a $5,66 \text{ m/s}^2$, $6,27 \text{ m/s}^2$, $7,05 \text{ m/s}^2$, $5,73 \text{ m/s}^2$, $6,09 \text{ m/s}^2$ e $3,25 \text{ m/s}^2$, como mostrado nas Tabelas 6.6 a 6.8. Percebe-se, ainda, com base nos resultados alcançados, que estes pisos não devem ser utilizados para a prática de ginástica aeróbica, pois ultrapassam bastante os valores limites das normas e recomendações vigentes [6],[8], [14].

Como era de se esperar, observa-se que, em quase todos os casos analisados nesta dissertação, os valores das acelerações máximas (acelerações de pico) aumentam à medida que se aumenta o número de pessoas atuando sobre a estrutura, independente do nó analisado. Verificando-se os resultados obtidos na presente análise, sobretudo observando-se as acelerações de pico no nó B dos modelos referentes às Figuras 6.17 e 6.45, conclui-se que o conhecimento prévio das acelerações para uma edificação existente pode ser um fator decisório no estudo do tipo atividade ocupacional.

Os modelos 4, 5 e 6 são aqueles que apresentam os menores valores de acelerações de pico em todos os pontos onde foram feitas leituras nos modelos numéricos e em todas as condições de carregamento, de acordo com as Tabelas 6.6 a 6.8. Tal fato está relacionado, principalmente, com a rigidez das vigas treliçadas (joists) utilizados nestes modelos, pois os montantes e as diagonais foram confeccionados com barras circulares, propiciando um nível de rigidez bem superior aos demais modelos estruturais.

Cabe ressaltar, ainda, que os tipos de travamentos utilizados ao longo desta investigação são distintos dentre os sistemas estruturais, de acordo com o exposto no item 3.4 desta dissertação. O fato de existirem sistemas de travamentos diferenciados entre as vigas treliçadas (joists) dos modelos estruturais 4, 5 e 6 não resulta em uma influência significativa na resposta dinâmica desses três modelos. Considerando-se os valores das acelerações de pico, Tabelas 6.6 a 6.8, percebe-se, também, que o travamento do modelo 4 é mais eficiente do que aqueles empregados nos modelos 5 e 6.

As maiores acelerações de pico são percebidas nos modelos estruturais 1, 2, 3, 7, 8 e 9, conforme mostrado nas Tabelas 6.6 a 6.8, pois nestes o travamento existe somente no plano inferior das vigas treliçadas (joists) paralelo à laje de concreto, não existindo travamento em outro plano, de acordo com o descrito no item 3.4 deste trabalho. Aprofundando-se a análise nesta mesma perspectiva, conclui-se que quanto mais restrições aos deslocamentos são dadas aos modelos, via sistemas de travamento, utilizando-se para tais barras de travamento transversal ou oblíquo, menor serão as acelerações desses modelos, quando são comparados os sistemas estruturais 1, 2, 3, 7, 8 e 9 com os modelos 4, 5 e 6, como apresentado nas Tabelas 6.6 a 6.8.

Tomando-se como base os modelos mais rígidos, desenvolvidos na investigação (modelos 4, 5 e 6), verifica-se que para uma excitação dinâmica, correspondente apenas a uma pessoa atuando sobre esses pisos, as acelerações de pico, referidas ao nó B, são, respectivamente, iguais a $0,17 \text{ m/s}^2$, $0,14 \text{ m/s}^2$ e $0,31 \text{ m/s}^2$, Tabelas 6.6 a 6.8, e os critérios de conforto humano [6],[8], [14].são atendidos. Contudo, à medida que o número de pessoas atuando sobre os pisos é aumentado, por exemplo, para três pessoas, o referido critério já é violado.

Assim sendo, com base nos resultados alcançados, apresentados nas Tabelas 6.6 a 6.8, sob o aspecto ocupacional, pode-se concluir que a atividade do tipo ginástica aeróbica

não deve ser exercida sobre os pisos estudados nesta dissertação, até mesmo porque estas atividades se dão em grupos de pessoas. As atividades recomendadas para este tipo de piso devem ser atividades com maior período de contato, fazendo com que sejam diminuídos os níveis das acelerações observadas.

6.4.4.2. Dança de Salão (Individual)

As tabelas apresentadas a seguir, Tabelas 6.9 a 6.11, mostram os resultados das acelerações de pico (a_p), obtidas na fase permanente da resposta dos modelos, referentes aos nós A, B e C, respectivamente, para os diferentes carregamentos (1, 3, 6, 9 e 12 pessoas) considerando-se um tempo de contato ($T_c = 0,43s$), caracterizando a atividade de dança de salão. Inicialmente são consideradas simulações numéricas referentes a pessoas dançando individualmente.

Estes resultados são apresentados para todos os pisos estudados, variando do Modelo 1 ao Modelo 9. Também é apresentado o valor limite recomendado pela ISO 2631/2 [6], para as áreas sujeitas a carregamentos devido às atividades rítmicas. O tempo sem contato ($T_s = 0,10 s$), $K_p = 2,78$ e de CD são função do carregamento (número de pessoas sobre o piso).

Observando-se os valores das acelerações de pico apresentadas nos modelos 1 a 9, Tabela 6.9 a 6.11, para atividade de dança de salão, percebe-se que esses valores crescem à medida que o número de pessoas dançando sobre os pisos também cresce. Seguindo-se nesta linha de pensamento, certamente pode-se concluir que um conhecimento prévio das acelerações máximas (acelerações de pico) pode vir a ser um fator decisório para o estudo do tipo de atividade ocupacional.

Considerando-se, inicialmente, os aspectos quantitativos da resposta dinâmica dos modelos, referenciando-se especificamente para o nó B, pelo motivo já explicado no item 6.4.4.2. desta dissertação, observa-se que para um carregamento dinâmico de apenas uma pessoa, sobre os modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, foram verificados os seguintes valores de pico para as acelerações, respectivamente, iguais a $0,11 m/s^2$, $0,13 m/s^2$, $0,08 m/s^2$, $0,11 m/s^2$, $0,07 m/s^2$ e $0,16 m/s^2$, como ilustrado nas Tabelas 6.9 a 6.11. Esses valores são bastante aceitáveis e não violam os critérios de conforto humano [6], [8]. Portanto, pode-se concluir que à medida que o tempo de contato, T_c , cresce os valores das acelerações de pico tendem a ser suavizados ($T_c = 0,43s$ - dança de salão *versus* $T_c = 0,25s$ - ginástica aeróbica).

Quando o nível da carga dinâmica torna-se mais elevado doze pessoas são colocadas dançando sobre os modelos estruturais, este quadro piora bastante, pois as acelerações de pico nos modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, associadas ao nó B, são, respectivamente, iguais a $0,88 m/s^2$, $1,16 m/s^2$, $1,41 m/s^2$, $0,88 m/s^2$, $0,38 m/s^2$ e $0,66 m/s^2$,

como mostrado nas Tabelas 6.9 a 6.11. Percebe-se, ainda, com base nos resultados alcançados, que vários destes pisos não devem ser utilizados para a prática de dança de salão, pois ultrapassam os valores limites das normas e recomendações vigentes [6], [8], [14], principalmente quando são solicitados por diversas pessoas dançando ao mesmo tempo.

Os modelos 4, 5 e 6 são aqueles que apresentam, de modo geral, os menores valores de acelerações de pico em todos os pontos onde foram feitas leituras nos modelos numéricos e em todas os pontos onde foram feitas leituras nos modelos numéricos e em todas as condições de carregamento, de acordo com as Tabelas 6.19 a 6.11.

Tal fato já foi explicado no item no item 6.4.4.2. desta dissertação e encontra-se associado, principalmente, com a rigidez das vigas treliçadas (joists) utilizadas nestes modelos, pois os montantes e as diagonais foram confeccionados com barras circulares, propiciando um nível de rigidez bem superior aos demais modelos estruturais.

Tabela 6.9 - Acelerações de pico no nó A, para os modelos de 1 a 9 - Dança Individual

Modelo	$T_g = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,12	0,24	0,41	0,42	0,69	0,5
2	0,09	0,22	0,41	0,59	0,77	0,5
3	0,09	0,13	0,58	0,86	1,08	0,5
4	0,07	0,16	0,20	0,25	0,31	0,5
5	0,03	0,12	0,20	0,30	0,37	0,5
6	0,09	0,13	0,21	0,32	0,39	0,5
7	0,12	0,23	0,41	0,54	0,70	0,5
8	0,10	0,21	0,44	0,57	0,77	0,5
9	0,16	0,33	0,58	0,52	0,52	0,5

Tabela 6.10 - Acelerações de pico no nó B, para os modelos de 1 a 9 - Dança Individual

Modelo	$T_c = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,11	0,28	0,52	0,72	0,88	0,5
2	0,13	0,33	0,61	0,90	1,16	0,5
3	0,08	0,13	0,74	1,10	1,41	0,5
4	0,06	0,16	0,26	0,34	0,38	0,5
5	0,03	0,13	0,25	0,37	0,47	0,5
6	0,08	0,13	0,25	0,37	0,46	0,5
7	0,11	0,28	0,52	0,72	0,88	0,5
8	0,07	0,15	0,37	0,34	0,38	0,5
9	0,16	0,39	0,73	0,66	0,66	0,5

Tabela 6.11 - Acelerações de pico no nó C, para os modelos de 1 a 9 - Dança Individual

Modelo	$T_c = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,07	0,17	0,31	0,42	0,54	0,5
2	0,09	0,22	0,41	0,59	0,77	0,5
3	0,05	0,10	0,49	0,72	0,93	0,5
4	0,04	0,14	0,18	0,23	0,30	0,5
5	0,03	0,10	0,18	0,27	0,35	0,5
6	0,05	0,10	0,18	0,26	0,33	0,5
7	0,07	0,17	0,32	0,42	0,55	0,5
8	0,10	0,23	0,42	0,57	0,77	0,5
9	0,11	0,26	0,50	0,44	0,44	0,5

6.4.4.3. Dança de Salão (Duplas)

As tabelas apresentadas a seguir, Tabelas 6.12 a 6.14, ilustram os resultados das acelerações de pico (a_p), obtidas na fase permanente da resposta dos modelos, referentes aos nós A, B e C, respectivamente, para os diferentes carregamentos (2, 6, 12, 18 e 24 pessoas) considerando-se um tempo de contato ($T_c = 0,43s$), caracterizando a atividade de dança de salão. Ressalta-se que são consideradas simulações numéricas referentes a pessoas dançando em duplas.

Estes resultados são apresentados para todos os pisos estudados, variando do Modelo 1 ao Modelo 9. Também é apresentado o valor limite recomendado pela ISO 2631/2 [6], para as áreas sujeitas a carregamentos devido às atividades rítmicas. O tempo sem contato ($T_s = 0,10 s$), o valor de $K_p = 2,78$ e o valor de CD é função do carregamento (número de pessoas sobre a estrutura).

Destaca-se que na presente análise a carga dinâmica aplicada, referente a cada casal dançando sobre a estrutura, é duplicada com o objetivo de simular duas pessoas numa atividade de dança, carregando ao mesmo tempo um determinado ponto de contato ou sua periferia mais próxima.

Observando-se os valores das acelerações de pico apresentadas nos modelos 1 a 9, Tabela 6.12 a 6.14, para atividade de dança de salão (duplas), percebe-se que esses valores crescem à medida que o número de duplas dançando sobre os pisos também cresce. Observa-se, novamente, a mesma ótica associada aos casos analisados anteriormente, o que reforça a idéia de que um conhecimento prévio das acelerações máximas (acelerações de pico) pode vir a ser um fator decisório para o estudo do tipo da atividade ocupacional.

Considerando-se, agora, os aspectos quantitativos da resposta dinâmica dos modelos, referenciando-se especificamente para o nó B, pelo motivo já explicado no item 6.4.4.2. desta dissertação, observa-se que para um carregamento dinâmico de apenas uma dupla de pessoas, dançando sobre os modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, foram verificados os seguintes valores de pico para as acelerações, respectivamente, iguais a $0,23 m/s^2$, $0,26 m/s^2$, $0,30 m/s^2$, $0,23 m/s^2$, $0,26 m/s^2$ e $0,32 m/s^2$, como ilustrado nas Tabelas 6.12 a 6.14. Esses valores de aceleração crescem em relação ao caso anterior (pessoas dançando individualmente), mas ainda são aceitáveis e não violam os critérios de conforto humano [6], [8]. Portanto, pode-se concluir, novamente, que à medida que o tempo de contato, T_c , cresce os valores das acelerações de pico tendem a serem suavizados ($T_c = 0,43s$ - dança de salão *versus* $T_c = 0,25s$ - ginástica aeróbica).

Quando o nível de carregamento dinâmico torna-se mais elevado e vinte e quatro pessoas (12 duplas) são colocadas dançando sobre os modelos estruturais, este quadro piora sensivelmente, pois as acelerações de pico nos modelos 1, 2, 3, 7, 8 e 9, associadas

ao nó B, são, respectivamente, iguais a 1,76 m/s², 2,34 m/s², 2,76 m/s², 1,75 m/s², 2,29 m/s² e 1,31 m/s², como mostrado nas Tabelas 6.9 a 6.11. Evidentemente, pode-se verificar que os pisos investigados não devem ser utilizados para a prática de dança de salão, pois ultrapassam os valores limites das normas e recomendações vigentes [6], [8], principalmente quando são solicitados por diversas duplas dançando simultaneamente.

Mesmo nos modelos estruturais 4, 5 e 6, os quais apresentam um nível de rigidez bem superior aos demais modelos estruturais, o quadro anterior repete-se, pois as acelerações de pico nesses modelos, associadas ao nó B, quando submetidos a atividades de dança de salão por 12 duplas simultaneamente, são, respectivamente, iguais a 0,76 m/s², 0,94 m/s² e 0,92 m/s², como mostrado nas Tabelas 6.12 a 6.14. Esses valores de aceleração não são aceitáveis, pois violam os critérios de conforto humano [6], [8].

Tabela 6.12 - Acelerações de pico no nó A, para os modelos de 1 a 9 -- Dança em Dupla

Modelo	$T_c = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,23	0,47	0,83	1,05	1,36	0,5
2	0,26	0,52	0,91	1,34	1,72	0,5
3	0,33	0,26	1,15	1,71	2,18	0,5
4	0,15	0,16	1,07	0,51	0,62	0,5
5	0,05	0,25	0,41	0,60	0,75	0,5
6	0,19	0,26	0,43	0,64	0,79	0,5
7	0,24	0,47	0,82	1,07	1,39	0,5
8	0,26	0,53	0,93	1,35	1,76	0,5
9	0,33	0,66	1,30	1,04	1,04	0,5

Tabela 6.13 - Acelerações de pico no nó B, para os modelos de 1 a 9 – Dança em Dupla

Modelo	$T_c = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,23	0,55	1,04	1,45	1,76	0,5
2	0,26	0,64	1,21	1,80	2,34	0,5
3	0,30	0,26	1,37	2,17	2,76	0,5
4	0,13	0,16	0,92	0,67	0,76	0,5
5	0,07	0,27	0,50	0,74	0,94	0,5
6	0,16	0,26	0,50	0,73	0,92	0,5
7	0,23	0,56	1,02	1,44	1,75	0,5
8	0,26	0,65	1,20	1,76	2,29	0,5
9	0,32	0,72	1,45	1,32	1,31	0,5

Tabela 6.14 - Acelerações de pico no nó C, para os modelos de 1 a 9 – Dança em Dupla

Modelo	$T_c = 0,43s$ Acelerações a_p (m/s ²)					Limite Recomendado ISO [6] AISC [8] (m/s ²)
	1 pessoa	3 pessoas	6 pessoas	9 pessoas	12 pessoas	
1	0,13	0,34	0,62	0,83	1,09	0,5
2	0,17	0,44	0,80	1,18	1,52	0,5
3	0,22	0,20	0,98	1,44	1,86	0,5
4	0,09	0,14	0,77	0,45	0,60	0,5
5	0,06	0,20	0,37	0,45	0,69	0,5
6	0,10	0,20	0,36	0,53	0,66	0,5
7	0,14	0,34	0,63	0,84	1,09	0,5
8	0,17	0,44	0,81	1,18	1,53	0,5
9	0,22	0,53	0,98	0,88	0,86	0,5

6.4.4.4. Comparação entre os Modelos

Os resultados obtidos para as acelerações de pico para as distintas atividades rítmicas com diferentes períodos de contato ($T_c = 0,43s$ - dança de salão *versus* $T_c = 0,25s$ - ginástica aeróbica) apresentam para todos os modelos acelerações máximas no nó B, Figura 6.45. Tal ocorrência é explicada através da análise da característica modal dos modelos cujo modo fundamental apresenta amplitude mais elevada no centro do vão estudado, posição esta que coincide com a localização do nó B. Assim, mesmo nos casos onde a aplicação da carga se dá no mesmo nó onde é feita a leitura, nó A, por exemplo, para os carregamentos com uma, três, seis e nove pessoas.

As acelerações de pico encontradas nesta investigação foram mais elevadas para a atividade referente à ginástica aeróbica ($T_c = 0,25s$), atingindo um valor máximo de $7,05 \text{ m/s}^2$, Tabela 6.7 (12 pessoas - modelo 3) em comparação com um valor de $2,76 \text{ m/s}^2$ encontrado para a dança de salão (duplas) ($T_c = 0,43s$), Tabela 6.13 (12 duplas - modelo 3).

Considerando-se que o período de contato (T_c) é inversamente proporcional a frequência da atividade humana, uma vez diminuindo-se o tempo de contato ($T_c = 0,43s$ para $0,25s$), aumenta-se a frequência da atividade. Por outro lado, um aumento na frequência da atividade humana, no caso da presente investigação, aproxima a frequência da excitação da frequência fundamental dos pisos mistos (aço-concreto) analisados, conduzindo assim a valores mais elevados para as acelerações de pico.

Os valores máximos das acelerações obtidas para a atividade de dança de salão são aproximadamente três vezes menores do que os valores máximos obtidos para as acelerações de pico da atividade de ginástica aeróbica. A diferença entre os tempos de contato referente à ginástica aeróbica ($T_c = 0,43s$) e a dança de salão ($T_c = 0,25s$) é igual a $0,18s$.

Sob o aspecto do conforto humano pode-se concluir que as perturbações causadas pelas cargas rítmicas em pisos mistos com vigas treliçadas (joists) apresentam resultados preocupantes. Apenas três dos nove modelos analisados puderam abrigar atividades rítmicas, ainda assim limitados à modalidade dança de salão e a grupos de até 12 pessoas (dançando individualmente), uma vez que os valores obtidos para os modelos estruturais 4, 5 e 6 margeiam o limite de conforto humano admissível [6],[8]. Um fator muito importante é a extensão da zona de influência do carregamento, que nos casos analisados apresentaram valores acima do admissível até no nó C, ponto mais distante da aplicação do carregamento dinâmico.

7. Considerações Finais

7.1. Introdução

Esta dissertação apresentou como objetivo principal o estudo do comportamento dinâmico de pisos mistos (aço-concreto) quando submetidos à ação de excitações dinâmicas rítmicas provocadas por seres humanos. Basicamente, o sistema estrutural investigado é composto por treliças de aço do tipo “vigas treliçadas (joists)” que suportam a laje de concreto do piso. Foram considerados dois tipos de carregamento dinâmico, a saber: ginástica aeróbica e dança de salão. Resultados obtidos a partir de testes experimentais foram empregados para a modelagem das cargas dinâmicas [8, 9, 11, 13, 32, 46, 48]. A análise numérica foi feita mediante o emprego de técnicas usuais de discretização, via método dos elementos finitos, com base no emprego do programa ANSYS [42].

Inicialmente, foram realizadas análises para o estudo da resposta dinâmica de nove modelos representativos do sistema estrutural, considerando-se variações nas características estruturais das “vigas treliçadas (joists)”. Em uma segunda etapa realizou-se um estudo sobre o conforto humano destes pisos para os carregamentos dinâmicos rítmicos mencionados anteriormente.

7.2. Conclusões Alcançadas

São apresentadas a seguir, as conclusões alcançadas com base nas análises dinâmicas realizadas, de acordo com a metodologia da análise proposta. No que tange à questão qualitativa dos resultados encontrados ao longo desta dissertação, tais observações podem ser estendidas a outras combinações de dimensões. Quanto aos aspectos quantitativos, é possível uma extensão desde que acompanhada por criteriosa avaliação.

Com base na vasta literatura técnica disponível sobre o assunto e, bem como, a partir das várias análises e comparações de resultados realizadas ao longo do presente trabalho pode-se afirmar que os modelos computacionais desenvolvidos, representativos do sistema estrutural real, forneceram resultados coerentes e confiáveis.

Considerando-se as análises numéricas realizadas ao longo da presente dissertação, pode-se concluir que, de maneira geral, a resposta do sistema estrutural obtida através da aplicação dos carregamentos dinâmicos, com base no aumento do número de pessoas exercendo uma atividade rítmica sobre o piso (ginástica aeróbica ou dança de salão), provocou em todos os modelos um aumento sensível nos valores de deslocamentos e acelerações, quando a fase permanente da resposta desses modelos é considerada.

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho demonstram, claramente, que pisos mistos (aço-concreto), composto por treliças de aço do tipo “vigas treliçadas (joists)” e lajes de concreto, quando submetidos à ação de excitações dinâmicas rítmicas provocadas por seres humanos são conduzidos a níveis de acelerações bastante elevados. Com base em limites estabelecidos por normas e recomendações internacionais de projeto [73, 74], estes resultados apontam para o fato de que os limites de conforto humano são ultrapassados na maioria dos casos investigados ao longo desta dissertação e comprometem a aceitabilidade do sistema estrutural.

Mediante a aplicação dos modelos representativos dos carregamentos dinâmicos rítmicos (ginástica aeróbica e dança de salão), sobre o sistema estrutural analisado, observa-se que os valores encontrados para as acelerações de pico são muito superiores aos limites propostos por normas e recomendações internacionais de projeto [73, 74], no que tange ao conforto humano, especialmente para o caso referente à ginástica aeróbica ($T_c = 0,25s$).

Verifica-se, também, que a atuação dessas cargas dinâmicas sobre uma determinada área da laje de concreto do piso, além de produzir desconforto para os seres humanos, também gera perturbações bastante significativas em áreas adjacentes do sistema estrutural onde não há a aplicação efetiva das mesmas.

É importante ressaltar que a influência causada por excitações dinâmicas em ambientes próximos pode comprometer o conforto humano, dependendo do tipo de ocupação a que se destina. Na maioria dos casos investigados nesta dissertação tal fato ocorre na maioria dos casos analisados.

Um outro ponto importante diz respeito ao fato de que os valores das acelerações de pico, provenientes de ambas as atividades humanas rítmicas (ginástica aeróbica e dança de salão), ultrapassaram os limites propostos por normas e recomendações internacionais de projeto [73, 74], inclusive para áreas do piso onde as cargas dinâmicas não foram aplicadas, antes mesmo de se chegar a uma situação de carregamento máximo (12 pessoas para ginástica aeróbica e 12 duplas para dança de salão).

Outro fator importante para as análises numéricas diz respeito ao número de pessoas atuando sobre a estrutura. Sabe-se que o número de pessoas praticando atividades rítmicas pode vir a ser muito superior a 12 pessoas (número máximo de pessoas considerado nesta investigação para ginástica aeróbica), a depender da área do piso.

Assim sendo, um número maior de pessoas exercendo atividades rítmicas sobre o sistema estrutural pode induzir o mesmo a níveis de acelerações ainda maiores, podendo não só comprometer os critérios de conforto, como também a segurança da estrutura. Além disso, a relação de distribuição das pessoas sobre o piso adotada neste trabalho de pesquisa foi igual a 0,25 pessoas por metro quadrado [3], o que representa 1 pessoa a cada

4,0 m². Numa situação real essa distribuição de pessoas pode ser ainda maior, inclusive com a possibilidade de obter-se um quadro ainda mais crítico.

Foi verificado, também, que a atividade rítmica correspondente à dança de salão (principalmente pessoas dançando individualmente) apresentou valores para as acelerações de pico bem inferiores àqueles correspondentes a ginástica aeróbica. Explica-se esta diferença pelo fato de que o tempo de contato do indivíduo sobre o piso onde se pratica a ginástica aeróbica é menor do que aquele referente à dança de salão. Foi observado, também, que à medida que o tempo de contato, T_c , cresce os valores das acelerações de pico tendem a serem suavizados ($T_c = 0,43s$ - dança de salão *versus* $T_c = 0,25s$ - ginástica aeróbica).

Ou seja, à medida que se considera uma diminuição do período de contato sobre o piso (diminuição do período da atividade rítmica), conseqüentemente, isto acarreta em um aumento da frequência da atividade. Esse aumento na frequência da atividade humana aproxima a frequência da excitação dinâmica da frequência fundamental dos pisos mistos (aço-concreto) investigados, conduzindo assim a valores mais elevados para as acelerações de pico.

7.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

A seguir relacionam-se algumas sugestões para a continuidade e, bem como, desenvolvimento de trabalhos futuros, no que tange a esta linha de pesquisa associada ao comportamento dinâmico de estruturas de aço e mistas (aço-concreto).

- a) Realizar estudos experimentais para que seja possível obter a resposta dinâmica do sistema estrutural, em termos dos valores dos deslocamentos, velocidades e acelerações;
- b) Avaliar outros tipos de sistemas estruturais compostos, por exemplo, por pisos de edificações com andares múltiplos, de modo a analisar os efeitos dinâmicos oriundos de vibrações provenientes de atividades rítmicas, observando a influência das colunas na resposta dinâmica dos modelos;
- c) Realizar uma investigação a cerca da influência das ligações viga-coluna na resposta dinâmica desse tipo de sistema estrutural, incorporando aos modelos de elementos finitos as colunas de aço;
- d) Explorar a enorme potencialidade do modelo matemático de carregamento, proposto por Faísca [13], por exemplo, com uma maior variação dos parâmetros que compõem o referido modelo;

- e) Avaliar o efeito de elementos passivos para controle de vibrações em estruturas leves que utilizem treliças de aço do tipo “joist”, verificando o seu efeito na resposta dinâmica;
- f) Investigar o comportamento dinâmico dos pisos mistos (aço-concreto) quando submetidos a cargas de multidões, algo que acontece com certa frequência no cotidiano;
- g) Obter dados “brasileiros” para os modelos de “vigas treliçadas (joists)” componentes do sistema estrutural, propostos pelo Centro Brasileiro da Construção em Aço, CBCA, em seu novo manual [77];
- h) Realizar uma investigação acerca de outros valores a serem empregados para a definição da taxa de amortecimento, a fim de verificar o comportamento do sistema estrutural para outros níveis de amortecimento.

Referências Bibliográficas

- 1 TREDGOLD T. **Elementary Principles of Carpentry**, 2nd Ed., Publisher unknown. 1824.
- 2 RAO, S., **Mechanical Vibrations**, Addison Wesley, 1990 Ed Elliott, The Camera Shop, Tacoma, WA
- 3 HYATT REGENCY WALKWAY. <http://www.electronicweekly.com/blogs/engineering-design-problems/2007/07/engineerings-ten-biggest-mista.html>, acessado em 12 de abril de 2008.
- 4 SPASOJEVIC, A., DORDJEVIĆ, SPASOJEVIĆ, M., SPASOJEVIĆ, N. - **Some Relevant Aspects of Footbridges Vibration**, 2004.
- 5 FARMER, N. - **A Mathematical Model of the Causes of the Lateral Vibrations of the Millennium Bridge**. University of Bristol. Department of Engineering Mathematics. Final year project, (2003).
- 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 2631/2: (2003) **Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 2: Vibration in Buildings (1 to 80 Hz)**, Geneva, Switzerland, 1989.
- 7 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 5349. **Mechanical vibration: Guidelines for the Measurement and Assessment of Human Exposure to Hand Transmitted Vibration**. Geneva, ISO, 1986. 14p.
- 8 AISC/CISC Steel Design Guide Series No. 11: **Floor Vibrations Due to Human Activity**. - American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill, 1997.
- 9 MURRAY, T.M., "**Design to Prevent Floor Vibrations**," Engineering Journal, AISC, Vol. 12, No. 3, 1975.

- 10 MURRAY, T.M., "**Acceptability Criterion for Occupant-Induced Floor Vibrations,**" Engineering Journal, AISC, Vol. 18, No. 2, 62-70, 1981.
- 11 ALLEN, D.E. e RAINER, J.H. (1975). "**Vibration Criteria for Long-Span Floors** Canadian Journal of Civil Engineering, vol. 3, no. 2. 165-173.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 8800 - Projeto e execução de Estruturas de Aço de Edifícios (Método dos Estados Limites)**, pp 110-113 (Anexo N - Vibrações em pisos) e pp. 33-41 (Condições específicas para dimensionamento de vigas mistas), Rio de Janeiro, 1986.
- 13 FAÍSCA, R. G. - **Caracterização de Cargas Dinâmicas Geradas por Atividades Humanas** [Rio de Janeiro]-2003 X, 230 p. 29.7 cm (C, D.Sc., Engenharia Civil, 2003) - Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- 14 BRITISH STANDARD INSTITUTION - BS 5400: **Steel, Concrete and Composite Bridges Specifications for Loads Part 2.** Appendix C., London, UK, 1978.
- 15 ONT83 - **Ontario Highway Bridge Code 1983 and Commentary.** Ministry of Transportation and Communication, Highway Engineering Division, Toronto, 1983.
- 16 STEPHENSON, A. C. AND A. W. HUMPHREYS, Product Engineering Department, **British Steel Strip Products, Welsh Technology Centre,** Port Talbot, West Glamorgan SA13 2NG, UK.
- 17 ZIVANOVIC, S., PAVIC, A. REYNOLDS, P., **Human-Structure Dynamic Interaction in Footbridges, Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Bridge Engineering,** Vol. 158, and N ° 4, 165 - 177 (2005).
- 18 FIGUEIREDO, F. P. - **Estudo do Comportamento Dinâmico de Passarelas Devido ao Caminhar de Pedestres** [Rio de Janeiro] 2005.
- 19 CEYTE, H., CIAN, C., ZORY, R., BARRAUD, P., ROUX, A., GUERRAZ, M. - **Effect of Achilles Tendon Vibration on Postural Orientation** - 6 Novembro 2006; revisado em 12 Janeiro 2007; aceito em 22 Janeiro 2007.

- 20 VENUTTI, F., BRUNO, L., BELLOMO, and N. - **Crowd Dynamics on a Moving Platform: Mathematical Modeling and Application to Lively Footbridges**, 18 Abril 2006.
- 21 DA SILVA, J.G.S., VELLASCO, P.C.G. DA S., ANDRADE, S.A.L. DE, DE LIMA, L.R.O., F.P.FIGUEIREDO, **Vibration Analysis of Footbridges Due to Vertical Human Loads**.
- 22 N. K. C. ALVES, N. ROITMAN E C. MAGLUTA, **Dynamic Response Under Human Movements** ,COPPE / UFRJ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro - RJ, Brasil (Março 1998).
- 23 LOOSE, J.K. "**Análise Dinâmica de Pisos Mistos em Aço-Concreto Submetidos a Atividades Humanas Rítmicas**" - Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico - pg.53 - 68, 2007.
- 24 BACHMANN, H., AMMANN, W., **Vibration in Structures Induced by Man and Machines**, Structural Engineering Document No. 3e, International Association for Bridge and Structural Engineering, IABSE, Zurich, Switzerland, 1987.
- 25 STEVENSON, R., **Description of Bridges of Suspension**, Edinburgh Philosophical Journal 5 (10) (1821) 237 - 256.
- 26 TILDEN, C.J., **Kinetic Effects of Crowds**, Proceedings of ASCE 39 (3), (1913) 325 - 340.
- 27 FULLER AH, **Dynamic Effects of Moving Floor Loads - Stresses Measured in the Floor and Balcony of a College Gymnasium**. Arch Rev 1924; 126 (11):455 - 6.
- 28 GREINANN LF, KLAIBER FW. **Dynamic Forces Induced by Spectators**. J Structures Division, ASCE 1978; 104 (2):348–51.
- 29 RAINER, J.H., PERNICA, G., ALLEN. **Loading and Response of Footbridge engineering**, Vol. 122, Nº 12, pp. 1468–1473, 1996.

- 30 TUAN CY, SAUL WE. **Loads Due to Spectator Movements**. Journal of Structures Engineering, ASCE 1985;111 (2): 418 - 34.
- 31 EBRAIMPOUR A, SACK RL. **Design Live Loads for Coherent Crowd Harmonic Movements**. Journal of Structures Engineering, ASCE 1992; 118 (4): 1121 - 36.
- 32 VARELA, W.D. **Modelo Teórico-Experimental para Análise de Vibrações Induzidas por Pessoas Caminhando Sobre Lajes de Edifícios** [Rio de Janeiro] 2004 X, 308 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2004).
- 33 HARARIN, B. & GRZESIK, J. **The Transmission of Vertical Whole-Body Vibration to the Body Segments of Standing Subjects**. Institute of Occupational Medicine and Environmental Health, Poland, 1999.
- 34 ELLIS, B. R. & JI, T. **Floor Vibration Induced by Dance-Type Loads: Theory and Verification**. In: *The Structural Engineer*, v. 72, 1994.
- 35 BLANCHARD J, DAVIS BL, SMITH JW., **Design Criteria and Analysis for Dynamic Loading of Footbridges**, UK, TRRL. Report SR, vol. 275; 1977.
- 36 NIGAM SP, MALIK M. **A Study on a Vibratory Model of a Human Body**. *Trans. - ASME*, vol. 109. USA: ASME; 1987. p. 148–53.
- 37 WHEELER, J.E. **Prediction and Control of Pedestrian Induced Vibration in Footbridges**, ASCE Journal of the Structural Division 108 (ST9) (1982) 2045–2065.
- 38 GALBRAITH, F.W., BARTON, M.V. **Ground Loading From Footsteps**, Journal of the Acoustic Society of America 48 (5)-(1970) 1288–1292.
- 39 OHLSSON, S.V. **Floor Vibration and Human Discomfort**, PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 1982 (in English).
- 40 KERR, S.C. **Human Induced Loading on Staircases**, PhD Thesis, Mechanical Engineering Department, University College London, UK, 1998.

- 41 A. PAVIC, Z. MISKOVIC, AND P. REYNOLDS. **Modal Testing and Finite-Element Model Updating of a Lively Open-Plan Composite Building Floor**. Structures. Engineering, Volume 133, Issue 4, pp. 550-558 (Abril 2007).
- 42 ANSYS. Ferramenta de análise computacional numérica - Versão 10.
- 43 RAMOS, I. B. **Modelos Matemáticos Simples para Análise Aeroelástica de Pontes Estaiadas e de Pontes Pênseis: Desprendimento de Vórtices e Drapejamento**. São Paulo, 1999. 133 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Universidade de São Paulo.
- 44 PERNICA, G. **Dynamic Live Loads at a Rock Concert**. - Civil Eng. 1983;10:185 - 91.
- 45 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDAR-DIZATION - ISO 5349. **Mechanical Vibration: Guidelines for the Measurement and Assessment of Human Exposure to Hand Transmitted Vibration**. Genebra, ISO, 1986. 14p.
- 46 BACHMANN, H. PRETLOVE A.J., RAINER, H. **Dynamic Forces From Rhythmical Human Body Motions, in: Vibration Problems in Structures: Practical Guidelines**, “Birkha” User, Basel, 1995, Appendix G.
- 47 CEB - **Vibration Problems in Structures**. Bulletin d’Information n° 209, Committee Europeau du Béton, Zurich, 1991.
- 48 ALVES, N. K. C. ROITMAN, N. e MAGLUTA ,C. **Dynamic Response Under Human Movements** ,COPPE / UFRJ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro - RJ, Brasil - (Março 1998).
- 49 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NOORMUNG. **Erschütterungen im Bauwesen; Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (“Vibrations in Building; Influence on Persons in Buidings”)**, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1975 bzw., 1990.
- 50 SN 640312 - Norma Suíça. **Vibration effects on structures**, 1978.

- 51 BRITISH STANDARDS ORGANIZATION, BS 6472: **Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings** (1 Hz to 80 Hz), England, 1984.
- 52 BRITISH STANDARDS ORGANIZATION, BS 7585-2: **Metallic Multilayer Plain Bearings. Method for Destructive Testing of Bond for Bearing Metal Layer Thickness 2 mm**, England, 1992.
- 53 CANADIAN STANDARDS ASSOCIATIONS. CAN3-S16.1-M84: **Steel Structures for Buildings - Limits States Design**, Appendix G: Guide on Floor Vibrations.
- 54 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios**, Rio de Janeiro, 1986.
- 55 SAMUELSON, D. **Composite Steel Joists**, Third Quarter, pp 111-120, 2002.
- 56 SJI - Steel Joist Institute. **Standard Specifications for Open Web Steel Joists, K-Series and Load Tables (SJI-K-1.1); Standard Specifications for Longspan Steel Joists, LH-Series and Deep Longspan Steel Joists, DLH-Series and Load Tables (SJI LH/DLH-1.1); Standard Specifications for Joist Girders (SJI-JG-1.1)**, 2005.
- 57 **Construção do 312 Elm Building, Cincinnati, Ohio**. Disponível em WWW.GLASSSTEELANDSTONE.COM/BuildDetail/615.php.com/615.php.com/BuildingDetail/615.php 1992, acesso em 12 abril de 2008.
- 58 THE NEW COLUMBIA JOIST COMPANY. **Engineering and Manufacturing of Steel Joists and Joist Girders**. , Catálogo de Produtos, New Columbia, USA, 2000.
- 59 SCHAAD, J. A, **B.S Two-Way Steel Floor System Using Open-Web Joists**, A Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School, Marquette University, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science Milwaukee, Wisconsin August, 2005, pp. 52,55,66.
- 60 D'ALAMBERT, F.C , Pinheiro, B. M. – **Treliças do Tipo Steel Joist**, Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.

- 61 CLOUGH, R. W., PENZIEN, J; **Dynamics of Structures**; McGraw-Hill, 634p, 1993
- 62 Anexo W (“**Orientação para Vibrações em Pisos**”); disponível em: http://news.cbca-ibs.org.br/biblioteca_normas_revisão.asp, acesso em 12 de abril de 2008.
- 63 ASTM A572 - **Especificações Padrões Para Aços de Alta Resistência com Baixo Teor de Carbono e Vanádio - Aço Estrutural**
- 64 GALAMBOS, T. V. (1988) “**Vibration of Steel Joist-Concrete Slab Floors.**” Steel Joist Institute Technical Digest. No 5, Myrtle Beach, SC.
- 65 YOUNG., P., **Improves Floor Vibration Prediction Methodology**, Engineering for Structural Vibration - Current developments in Research and Practice, Vibration Seminar, Arup Group Ltd, Outubro, 2001.
- 66 YAO, S. J. WRIGHT, PAVIC, A. REYNOLDS, P. **Forces Generated When Bouncing or Jumping on a Flexible Structure**, in: Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration, Vol. 2, Leuven, Belgium, 16 - 18 Setembro, 2002, pp. 563-572.
- 67 CANAM - JOIST AND STEEL DECK (2005). **Joist Catalogue**. Head Office in Quebec, Canada and in Maryland, United States.
- 68 VULCRAFT (2001). **Steel joists and Joist Girder, Steel Roof and Floor Deck, Composite & Non Composite floor joists**. Vulcraft Corporation, Charlotte, NC.
- 69 HANCOCK, JR., INC, - **Fabricante Americano de Joist e Joist Girders de Acordo Com as Especificações das Tabelas de Cargas Padronizadas do SJI - Steel Joist Institute**, fábrica localizada em Salem, Virginia, USA.
- 70 PINHEIRO, A.C. F. B. **Estruturas Metálicas**. 2ª Edição, Editora Edgard Blucher Ltda, 2005.
- 71 MURRAY, T. M., ALLEN, D. E., UNGAR, E. E. **Floor Vibrations Due to Human Activity**. Steel Design Guides Series Nº 11, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1997.

- 72 BRIGHAM, E.O, **The Fast Fourier Transform and its Applications**. Prentice Hal International Edition, USA, 1988.
- 73 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDAR-DIZATION - ISO 2631/1: **Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Requirements**, Genebra, Switzeland, 1985.
- 74 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDAR-DIZATION - ISO 2631/2: **Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 2: Human Exposure to Continuous and Shock-Induced Vibration in Buildings (1 a 80 Hz)**, Genebra, Switzerland, 1989.
- 75 WYATT, T. A., **Design Guide on the Vibration of Floors**, SCI Publication 076, The Steel Construction Institute and Construction Industry Research and Information Association, London, 1989.
- 76 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 8800 - Projeto e execução de Estruturas de Aço de Edifícios (Método dos Estados Limites)**, pp 110-113 (Anexo N - Vibrações em pisos) e pp. 33-41 (Condições específicas para dimensionamento de vigas mistas), Rio de Janeiro, 1986.
- 77 D'ALAMBERT, F. C., PINHEIRO,M.B.,**Treliças Tipo Steel Joist** - Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007.
- 78 MURRAY, T. M., ALLEN, D. E., UNGAR, E. E. **Floor Vibrations Due to Human Activity**. Steel Design Guides Series Nº 11, American Institute of Steel Construction, Chicago, 1997.

Anexo A - Apdl's do Modelo [42]

A.1. Apdl do modelo inicial

*SISTEMA DE UM PISO MISTO AÇO-CONCRETO DE UM PAVIMENTO SUPORTADO POR ESTRUTURAS TRELIÇADAS TIPO JOISTS DO TIPO 30K8

!*
 !*

!*ESPESSURA DA LAJE: 4CM

!*AS VIGAS SUPERIORES E INFERIORES SÃO CANTONEIRAS OPOSTAS PELAS ABAS, AS DIAGONAIS SÃO CANTONEIRAS SIMPLES A 45° E MONTANTES EM BARRAS CIRCULARES.(13mm)

!*
 !*

MODELO INICIAL

!*****INICIA A FASE DE PREPROCESSAMENTO*****

/VIEW,1,1,1,1

/VIEW,2,1,1,1

/VIEW,3,1,1,1

/VIEW,4,1,1,1

/PNUM,AREA,1

/PNUM,AREA,1

/CONFIG, NRES, 30001

/PREP7

!*****DEFINIÇÃO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO*****

ET,1,BEAM44 !TIPO DE ELEMENTO 1 - JOIST DE AÇO -

! VIGA SUPERIOR DO JOIST UTILIZANDO CANTONEIRAS DUPLAS OPOSTAS PELAS ABAS !

ET,2,SHELL63 !TIPO DE ELEMENTO - LAJE DE CONCRETO (h=4CM)

! DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO MODELO ESTRUTURAL

! COMANDO "R", IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE

! ***** PARÂMETROS *****

!COMANDO R

!Real Constants

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

!ARESZ1, ARESY1, ARESZ2, ARESY2, TSF1, TSF2,

!DSCZ1, DSCY1, DSCZ2, DSCY2, EFSZ, EFSY,

!Y1, Z1, Y2, Z2, Y3, Z3,

!Y4, Z4, Y1, Z1, Y2, Z2,

!Y3, Z3, Y4, Z4, THETA, ISTRN,

!ADDMAS

!*****MATERIAL PROPERTIES*****

!ÁREA DA SEÇÃO,

!IYY,IZZ, SÃO AS INERCIA NAS DIREÇÕES Y e Z

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE INFERIOR (TKZB1),

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE ESQUERDA (TKYB1),

!INÉRCIA IXX,

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE SUPERIOR (TKZT1),

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE DIREITA (TKYT1),

!OFFSET: DISTÂNCIA DO CENTRÓIDE DA VIGA ATÉ O CENTRÓIDE DE LAJE.

!*****PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS *****

!

! REFERENTES AS BARRAS SUPERIORES DOS JOISTS (CANTONEIRAS DUPLAS
OPOSTAS PELAS ABAS)

!

!Pol.Area (m) Inercia IZInercia IY TKZBTKYB TKZT TKYTOFFSET

!2 6.20E-04 1.58E-071.59E-07 5.72E-023.68E-02 5.72E-02 1.40E-025.90E-02

!2 9.16E-04 2.34E-072.29E-06 5.72E-023.63E-02 5.72E-02 1.45E-02

R,1, 6.20E-04,1.58E-07,1.59E-07,5.72E-02,3.68E-02,0

RMORE,6.20E-04,1.58E-07,1.59E-07,5.72E-02,3.68E-02,0

RMORE,0,-5.90E-02,0,0,-5.90E-02,0
 RMORE,0,0,5.72E-02,1.40E-02,5.72E-02,1.40E-02
 RMORE,0,0,0,0,0,0
 RMORE,0,0,0,0,0,0
 RMORE,0,0,0,0,0,0
 RMORE,0,0,0,0,0,0
 RMORE,0,0,0,0,0,0
 RMORE,0

! PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES AS BARRAS INFERIORES DOS JOISTS

! (CANTONEIRAS DUPLAS OPOSTAS PELAS ABAS)

!

!Pol. Area (m) Inercia IY Inercia IZ TKZBTKYT TKZT TKYB

!1 1/2" 4.64E-04 6.35E-08 6.49E-08 4.45E-02 2.74E-02 4.45E-02 1.07E-02

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

R,2, 4.64E-04, 6.49E-08, 6.35E-08, 4.45E-02, 2.74E-02, 1.07E-02, 0

RMORE, 4.64E-04, 6.49E-08, 6.35E-08, 4.45E-02, 2.74E-02, 1.07E-02, 0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,4.45E-02,2.74E-02,4.45E-02,2.74E-02

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0

!

!PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES AS DIAGONAIS DOS JOISTS (CANTONEIRAS SIMPLES A 45 GRAUS)

!

!Pol.Area (m2) Largura Mesa Inercia Iz Inercia IY TKZT TKYB TKZB TKYT

!*****!PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS LAJES *****

! COMANDO "R", IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE,
! ESPESSURA DA LAJE DE CONCRETO

R,5,0.04

!*****PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS*****

!AÇO

MP,EX,1,2.05E+11 !MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO É 2.05E11 N/m²

MP,PRXY,1,0.3 !COEFICIENTE DE POISSON

MP,DENS,1,7850 !DENSIDADE - 7860kg/m³

!CONCRETO

MP,EX,2,1.60E+10 !MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO E = 1,6 E10 N/m²

MP,PRXY,2,0.2 !COEFICIENTE DE POISSON

MP,DENS,2,2550 !DENSIDADE DO CONCRETO 2559 kg/m³

!*****COORDENADAS DOS PONTOS KPOINTS *****

! COMANDO KPOINT K : K,NUMERO DO PONTO,COORDENADAS X, Y, Z
! COORDENADAS DOS PONTOS QUE FORMARAO O BANZO SUPERIOR
! KPOINT DE 01 a KPOINT 17

K,1,0,.762,0

K,2,.875,.762,0

K,3,1.75,.762,0

K,4,2.625,.762,0

K,5,3.500,.762,0

K,6,4.375,.762,0

K,7,5.250,.762,0

K,8,6.125,.762,0

K,9,7.00,.762,0

K,10,7.875,.762,0

K,11,8.750,.762,0
 K,12,9.625,.762,0
 K,13,10.500,.762,0
 K,14,11.375,.762,0
 K,15,12.250,.762,0
 K,16,13.125,.762,0
 K,17,14.00,.762,0

! COORDENADAS DOS PONTOS QUE FORMARAO O BANZO INFERIOR

!KPOINT DE 18 A KPOINT 34

K,18,0,0,0
 K,19,.875,0,0
 K,20,1.750,0,0
 K,21,2.625,0,0
 K,22,3.500,0,0
 K,23,4.375,0,0
 K,24,5.250,0,0
 K,25,6.125,0,0
 K,26,7.00,0,0
 K,27,7.875,0,0
 K,28,8.750,0,0
 K,29,9.625,0,0
 K,30,10.500,0,0
 K,31,11.375,0,0
 K,32,12.250,0,0
 K,33,13.125,0,0
 K,34,14.00,0,0

!***** DEFINIÇÃO DAS LINHAS *****

!COMANDO L : L, (KPOINT INICIAL, KPOINT FINAL)

! LINHAS QUE INTERLIGAM OS KPOINTS DO BANZO SUPERIOR

L,1,2
 L,2,3
 L,3,4

L,4,5

L,5,6

L,6,7

L,7,8

L,8,9

L,9,10

L,10,11

L,11,12

L,12,13

L,13,14

L,14,15

L,15,16

L,16,17

! LINHAS QUE FORMAM AS DIAGONAIS E MONTANTES INTERLIGANDO BANZO SUPERIOR E INFERIOR

L,19,1

L,19,2

L,19,3

L,3,20

L,3,21

L,21,4

L,21,5

L,5,22

L,23,5

L,23,6

L,23,7

L,7,24

L,25,7

L,25,8

L,25,9

L,9,26

L,27,9

L,27,10

L,27,11

L,11,28

L,29,11
L,29,12
L,29,13
L,13,30
L,31,13
L,31,14
L,31,15
L,15,32
L,33,15
L,33,16
L,33,17

! LINHAS QUE INTERLIGAM OS KPOINTS DO BANZO INFERIOR

L,18,19
L,19,20
L,20,21
L,21,22
L,22,23
L,23,24
L,24,25
L,25,26
L,26,27
L,27,28
L,28,29
L,29,30
L,30,31
L,31,32
L,32,33
L,33,34

!***** FORMAÇÃO AUTOMÁTICA DOS JOISTS AO LONGO DO VAO*****

! COMANDO DE LOOP DO TIPO ~DO~ PARA REPETICAO DOS JOISTS AO LONGO DO
VAO

*DO,I,1,18

LSEL, A, LOC, Z, 0 !SELECIONA AS LINHAS - LSEL, TIPO, ITEM, Comp, VMIN,

! VMAX, VINC, KSWP

LGEN,2,ALL, , , , !*1.250, ,0 !COMANDA A DISTANCIA QUE OS ELEMENTOS ESPARAO
ESPACADOS

LSEL, ALL

/REPLOT !DESENHA OS JOIST COMANDADOS ACIMA

LSEL,NONE

*ENDDO ! FIM DO COMANDO "DO"

!*****DEFINIÇÃO DAS ÁREAS*****

!COMANDO A : APRESENTA AS COORDENADAS

!ÁREA 1 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 1 E 2

A,1,17,51,35

!ÁREA 2 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 2 E 3

A,35,51,85,69

!AREA 3 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 3 E 4

A,69,85,119,103

!AREA 4 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 4 E 5

A,103,119,153,137

!AREA 5 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 5 E 6

A,137,153,187,171

!AREA 6 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 6 E 7

A,171,187,221,205

!AREA 7 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 7 E 8

A,205,221,255,239

!AREA 8 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 8 E 9

A,239,255,289,273

!AREA 9 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 9 E 10

A,273,289,323,307

!AREA 10 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 10 E 11

A,307,323,357,341

!AREA 11 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 11 E 12

A,341,357,391,375

!AREA 12 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 12 E 13

A,375,391,425,409

!AREA 13 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 13 E 14

A,409,425,459,443

!AREA 14 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 14 E 15

A,443,459,493,477

!AREA 15 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 15 E 16

A,477,493,527,511

!AREA 16 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 16 E 17

A,511,527,561,545

!AREA 17 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 17 E 18

A,545,561,595,579

!AREA 18 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 18 E 19

A,579,595,629,613

!*****GERAÇÃO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS*****

! COMANDO LMESH

! DEFINE UMA SEQUENCIA DE LINHAS COM MESMO MATERIAL, GEOMETRIA E TIPO DE ELEMENTO

!***** BANZO SUPERIOR*****

!LSEL, Type, Item, Comp, VMIN, VMAX, VINC, KSWP

!Type - IDENTIFICA O TIPO DE SELEÇÃO

!ITEM

!COMP

!VMIN - VALOR MINIMO

!VMAX - VALOR MAXIMO

!VINC - INCREMENTO

!KSWPM - IDENTIFICA O QUE SERA SELECIONADO ALEM DAS LINHAS

!COMANDO LMESH DA FORMA : LMESH, NL1, NL2, NINC , LINHA INICIAL, LINHA FINAL E INCREMENTO

ESIZE,.21875,0, !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DO BANZO SUPERIOR

TYPE,1 !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)

MAT,1 !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)

REAL,1 !DEFINE AS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

LSEL,S,,1,16,1

LMESH,1,16,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 01

LSEL,S,,64,79,1

LMESH,64,79,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 02

LSEL,S,,127,142,1

LMESH,127,142,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 03

LSEL,S,,190,205,1

LMESH,190,205,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 04

LSEL,S,,253,268,1

LMESH,253,268,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 05

LSEL,S,,316,331,1

LMESH,316,331,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 06

LSEL,S,,,379,394,1
 LMESH,379,394,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 07
 LSEL,S,,,442,457,1
 LMESH,442,457,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 08
 LSEL,S,,,505,520,1
 LMESH,505,520,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 09
 LSEL,S,,,568,583,1
 LMESH,568,583,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 10
 LSEL,S,,,631,646,1
 LMESH,631,646,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 11
 LSEL,S,,,694,709,1
 LMESH,694,709,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 12
 LSEL,S,,,757,772,1
 LMESH,757,772,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 13
 LSEL,S,,,820,835,1
 LMESH,820,835,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 14
 LSEL,S,,,883,898,1
 LMESH,883,898,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 15
 LSEL,S,,,946,961,1
 LMESH,946,961,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 16
 LSEL,S,,,1009,1024,1
 LMESH,1009,1024,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 17
 LSEL,S,,,1072,1087,1
 LMESH,1072,1087,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 18
 LSEL,S,,,1135,1150,1
 LMESH,1135,1150,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 19

!***** BANZO INFERIOR*****

REAL,2
 LSEL,S,,,48,63,1
 LMESH,48,63,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 01
 LSEL,S,,,111,126,1
 LMESH,111,126,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 02
 LSEL,S,,,174,189,1
 LMESH,174,189,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 03
 LSEL,S,,,237,252,1

LMESH,237,252,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 04
 LSEL,S,,,300,315,1
 LMESH,300,315,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 05
 LSEL,S,,,363,378,1
 LMESH,363,378,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 06
 LSEL,S,,,426,441,1
 LMESH,426,441,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 07
 LSEL,S,,,489,504,1
 LMESH,489,504,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 08
 LSEL,S,,,552,567,1
 LMESH,552,567,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 09
 LSEL,S,,,615,630,1
 LMESH,615,630,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 10
 LSEL,S,,,678,693,1
 LMESH,678,693,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 11
 LSEL,S,,,741,756,1
 LMESH,741,756,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 12
 LSEL,S,,,804,819,1
 LMESH,804,819,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 13
 LSEL,S,,,867,882,1
 LMESH,867,882,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 14
 LSEL,S,,,930,945,1
 LMESH,930,945,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 15
 LSEL,S,,,993,1008,1
 LMESH,993,1008,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 16
 LSEL,S,,,1056,1071,1
 LMESH,1056,1071,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 17
 LSEL,S,,,1119,1134,1
 LMESH,1119,1134,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 18
 LSEL,S,,,1182,1197,1
 LMESH,1182,1197,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 19

!*****DIAGONAIS*****

ESIZE,.29,0, !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DAS DIAGONAIS

TYPE,1 !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)

```
MAT,1      !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)
REAL,3
LSEL,S,,,17,47,2
LMESH,17,47,2      ! DIAGONAIS DO JOIST 01
LSEL,S,,,80,110,2
LMESH,80,110,2    ! DIAGONAIS DO JOIST 02
LSEL,S,,,143,173,2
LMESH,143,173,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 03
LSEL,S,,,206,236,2
LMESH,206,236,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 04
LSEL,S,,,269,299,2
LMESH,269,299,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 05
LSEL,S,,,332,362,2
LMESH,332,362,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 06
LSEL,S,,,395,425,2
LMESH,395,425,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 07
LSEL,S,,,458,488,2
LMESH,458,488,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 08
LSEL,S,,,521,551,2
LMESH,521,551,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 09
LSEL,S,,,584,614,2
LMESH,584,614,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 10
LSEL,S,,,647,677,2
LMESH,647,677,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 11
LSEL,S,,,710,740,2
LMESH,710,740,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 12
LSEL,S,,,773,803,2
LMESH,773,803,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 13
LSEL,S,,,836,866,2
LMESH,836,866,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 14
LSEL,S,,,899,929,2
LMESH,899,929,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 15
LSEL,S,,,962,992,2
LMESH,962,992,2   ! DIAGONAIS DO JOIST 16
LSEL,S,,,1025,1055,2
LMESH,1025,1055,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 17
```

```

LSEL,S,,,1088,1118,2
LMESH,1088,1118,2      ! DIAGONAIS DO JOIST 18
LSEL,S,,,1151,1181,2
LMESH,1151,1181,2      ! DIAGONAIS DO JOIST 19
!***** MONTANTES *****
ESIZE,.254,0,  !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DOS MONTANTES
TYPE,1      !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)
MAT,1      !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)
REAL,4
LSEL,S,,,18,46,2
LMESH,18,46,2          ! MONTANTES DO JOIST 01
LSEL,S,,,81,110,2
LMESH,81,110,2        ! MONTANTES DO JOIST 02
LSEL,S,,,144,173,2
LMESH,144,173,2       ! MONTANTES DO JOIST 03
LSEL,S,,,207,236,2
LMESH,207,236,2       ! MONTANTES DO JOIST 04
LSEL,S,,,270,299,2
LMESH,270,299,2       ! MONTANTES DO JOIST 05
LSEL,S,,,333,362,2
LMESH,333,362,2       ! MONTANTES DO JOIST 06
LSEL,S,,,396,425,2
LMESH,396,425,2       ! MONTANTES DO JOIST 07
LSEL,S,,,459,488,2
LMESH,459,488,2       ! MONTANTES DO JOIST 08
LSEL,S,,,522,551,2
LMESH,522,551,2       ! MONTANTES DO JOIST 09
LSEL,S,,,585,614,2
LMESH,585,614,2       ! MONTANTES DO JOIST 10
LSEL,S,,,648,677,2
LMESH,648,677,2       ! MONTANTES DO JOIST 11
LSEL,S,,,711,740,2
LMESH,711,740,2       ! MONTANTES DO JOIST 12
LSEL,S,,,774,803,2
LMESH,774,803,2       ! MONTANTES DO JOIST 13
LSEL,S,,,837,866,2

```

LMESH,837,866,2 ! MONTANTES DO JOIST 14
 LSEL,S,,900,929,2
 LMESH,900,929,2 ! MONTANTES DO JOIST 15
 LSEL,S,,963,992,2
 LMESH,963,992,2 ! MONTANTES DO JOIST 16
 LSEL,S,,1026,1055,2
 LMESH,1026,1055,2 ! MONTANTES DO JOIST 17
 LSEL,S,,1089,1118,2
 LMESH,1089,1118,2 ! MONTANTES DO JOIST 18
 LSEL,S,,1152,1180,2
 LMESH,1152,1180,2 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 19

!*****LAJE DE CONCRETO*****

ESIZE,.21875,0,

TYPE,2 !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (LAJE DE CONCRETO)
 MAT,2 !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (CONCRETO)
 REAL,5 !DEFINE AS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS (LAJE DE CONCRETO)
 TYPE,2
 AATT,2,5,2 !ENGLIBA O TIPO DE MATERIAL, REAL CONSTANTE E TIPO DE
 ELEMENTO
 AMESH, ALL !TODAS AS ÁREAS REFERENTE AS LAJES DE CONCRETO
 !COMANDO IMESH : IMESH, LAKY, NSLA, NTLA, KCN, DX, DY, DZ, TOL

 !CPINTF, Lab, TOLER
 CPINTF, ALL, 0.000001

!*****CONDIÇÃO DE CONTORNO*****

!

! NOS DE EXTREMIDADE DOS BANZOS SUPERIORES DOS JOISTS

! (PRIMEIRA LINHA À DIREITA - COORDENADAS CARTEZIANAS)

!

!COMANDO DK: DEFINE O GRAU DE LIBERDADE DOS KPOINTS - DK, KPOI, Lab,
 VALUE, VALUE2,
 ! KEXPND, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6

!ONDE : PÂMETROS VÁLIDOSO SÃO: ALL, PARA ATIVAR TODAS AS RESTRIÇÕES APROPRIDADAS

!RESTRIÇÕES ESTRUTURAIS: UX, UY, ou UZ (deslocamentos); ROTX, ROTY, ou ROTZ (rotações); EMPENAMENTO.

!RESTRIÇÕES TERMICAS: TEMPERATURA, TBOT, TE2, TE3. , TTOP

!PARÂMETROS ELETRICOS: VOLT (TENSÃO).

!RESTRIÇÕES MAGNÉTICAS: Mag (POTENCIAL MAGNÉTICO ESTATICO ESCALAR);

!CORTANTES: ,AX, AY, ou AZ (POTENCIAL MAGNÉTICO DO VETOR).

DK,1,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,17,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,35,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,51,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,69,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,85,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,103,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,119,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,137,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,153,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,171,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,187,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,205,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,221,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,239,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,255,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,273,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,289,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,307,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,323,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,341,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,357,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,375,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,391,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,409,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,425,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,443,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,459,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,477,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,493,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,511,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,527,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,545,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,561,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,579,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,595,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,613,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,629,UX,,,,UY,,,,UZ

!*****CONDIÇÃO DE CONTORNO*****

!

! NOS DE EXTREMIDADE DOS BANZOS INFERIORES DOS JOISTS (PRIMEIRA LINHA À DIREITA -SEGUNDA À ESQUERDA - COORDENADAS CARTEZIANAS)

DK,18,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,34,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,67,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,68,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,101,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,102,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,135,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,136,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,169,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,170,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,203,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,204,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,237,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,238,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,271,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,272,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,305,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,306,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,339,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,340,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,373,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,374,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,407,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,408,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,441,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,442,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,475,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,476,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,509,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,510,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,543,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,544,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,577,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,578,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,611,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,612,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,645,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,646,UX,,,,UY,,,,UZ

A.2. Apdl do modelo 1

! SISTEMA DE UM PISO MISTO AÇO-CONCRETO DE UM PAVIMENTO SUPORTADO
 POR !*ESTRUTURAS TRELIÇADAS TIPO JOISTS DO TIPO 30K8, ESPESSURA DA LAJE:
 4CM

! AS VIGAS SUPERIORES E INFERIORES SÃO CANTONEIRAS OPOSTAS PELAS ABAS,
 !*ASDIAGONAIS SÃO CANTONEIRAS SIMPLES A 45° E MONTANTES EM BARRAS
 !*CIRCULARES.(13mm)

!MODELO 01

!***** INICIA A FASE DE PREPROCESSAMENTO *****

/VIEW,1,1,1,1

/VIEW,2,1,1,1

/VIEW,3,1,1,1

/VIEW,4,1,1,1

/PNUM,AREA,1

/PNUM,AREA,1

/CONFIG, NRES, 30001

/PREP7

!***** DEFINIÇÃO DO TIPO DE ELEMENTO FINITO *****

ET,1,BEAM44 !TIPO DE ELEMENTO 1 - JOIST DE AÇO -

! VIGA SUPERIOR DO JOIST UTILIZANDO CANTONEIRAS DUPLAS OPOSTAS PELAS ABAS !

ET,2,SHELL63 !TIPO DE ELEMENTO - LAJE DE CONCRETO (h=4CM)

! DEFINIÇÃO DAS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DO MODELO ESTRUTURAL

! COMANDO "R", IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE

!***** PARÂMETROS *****

!COMANDO R

!Real Constants

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

!ARESZ1, ARESY1, ARESZ2, ARESY2, TSF1, TSF2,

!DSCZ1, DSCY1, DSCZ2, DSCY2, EFSZ, EFSY,

!Y1, Z1, Y2, Z2, Y3, Z3,

!Y4, Z4, Y1, Z1, Y2, Z2,

!Y3, Z3, Y4, Z4, THETA, ISTRN,

!ADDMAS

*****MATERIAL PROPERTIES*****

!ÁREA DA SEÇÃO,

!IYY,IZZ, SÃO AS INERCIAS NAS DIREÇÕES Y e Z

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE INFERIOR (TKZB1),

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE ESQUERDA (TKYB1),

!INÉRCIA IXX,

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE SUPERIOR (TKZT1),

!DISTÂNCIA DO CG DA VIGA ATÉ A EXTREMIDADE DIREITA (TKYT1),

!OFFSET: DISTÂNCIA DO CENTRÓIDE DA VIGA ATÉ O CENTRÓIDE DE LAJE.

!*****PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS*****

!

! REFERENTES AS BARRAS SUPERIORES DOS JOISTS (CANTONEIRAS DUPLAS OPOSTAS PELAS ABAS)

!Pol.Area (m) Inercia IZInercia IY TKZBTKYB TKZT TKYTOFFSET

!2 6.20E-04 1.58E-071.59E-07 5.72E-023.68E-02 5.72E-02 1.40E-025.90E-02

!2 9.16E-04 2.34E-072.29E-06 5.72E-023.63E-02 5.72E-02 1.45E-02

R,1, 6.20E-04,1.58E-07,1.59E-07,5.72E-02,3.68E-02,0

RMORE,6.20E-04,1.58E-07,1.59E-07,5.72E-02,3.68E-02,0

RMORE,0,-5.90E-02,0,0,-5.90E-02,0

RMORE,0,0,5.72E-02,1.40E-02,5.72E-02,1.40E-02

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0

! PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES AS BARRAS INFERIORES DOS JOISTS

! (CANTONEIRAS DUPLAS OPOSTAS PELAS ABAS)

!Pol. Área (m) Inércia IYInércia IZ TKZBTKYT TKZT TKYB

!1 1/2" 4.64E-04 6.35E-086.49E-08 4.45E-022.74E-02 4.45E-021.07E-02

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

R,2, 4.64E-04, 6.49E-08, 6.35E-08,4.45E-02,2.74E-02,1.07E-02,0

RMORE, 4.64E-04, 6.49E-08, 6.35E-08, 4.45E-02, 2.74E-02, 1.07E-02, 0
 RMORE, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 RMORE, 0, 0, 4.45E-02, 2.74E-02, 4.45E-02, 2.74E-02
 RMORE, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 RMORE, 0

!PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS REFERENTES AS DIAGONAIS
DOS JOISTS

! (CANTONEIRAS SIMPLIS A 45 GRAUS)

!

!*****

!Pol.Area (m2)Largura Mesalnercia Iz Inercia IY TKZT TKYB TKZB TKYT
 !1/2' 7.00E-05 1.27E-02 1.00E-09 1.00E-09 1.27E-02 8.40E-03 1.27E-02 4.30E-03
 !1" 1.48E-04 2.44E-02 8.30E-05 8.30E-05 2.44E-02 2.44E-02 7.60E-03 7.60E-03

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

R, 3, 7.00E-05, 1.00E-09, 1.00E-09, 1.27E-02, 8.40E-03, 0
 RMORE, 7.00E-05, 1.00E-09, 1.00E-09, 1.27E-02, 8.40E-03, 0
 RMORE, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 RMORE, 0, 0, 1.27E-02, 8.40E-03, 1.27E-02, 8.40E-03
 RMORE, 0, 0, 0, 0, 0, 0
 RMORE, 0

!PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DOS ELEMENTOS MONTANTES NOS JOISTS

! (SEÇÕES CIRCULARES)

!

!Area (m)Largura Mesa Inercia IYraio de Inercia IZPosição Linha Posição Linha
!(Pol - mm)giração Neutra - Topo a Linha Neutra

!1.27E-041/2" 1.27E-02 1.28E-09 1.28E-096.36E-03 6.36E-03

R,4,1.27E-04,1.28E-09,1.28E-09,6.36E-03,6.36E-03,0

RMORE,1.27E-04,1.28E-09,1.28E-09,6.36E-03,6.36E-03,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,6.36E-03,6.36E-03,6.36E-03,6.36E-03

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0

!*****BARRAS DE ESTABILIDADE*****

!Pol.Area (m2)Largura MesalInercia Iz Inercia IY TKZTTYBTKZBTKYT

!1/2' 7.00E-051.27E-021.00E-091.00E-091.27E-028.40E-031.27E-024.30E-03

!1"1.48E-042.44E-028.30E-058.30E-052.44E-022.44E-027.60E-037.60E-03

!AREA1, IZ1, IY1, TKZB1, TKYB1, IX1,

!AREA2, IZ2, IY2, TKZB2, TKYB2, IX2,

!DX1, DY1, DZ1, DX2, DY2, DZ2,

!SHEARZ, SHEARY, TKZT1, TKYT1, TKZT2, TKYT2,

R,6,7.00E-05, 1.00E-09,1.00E-09,1.27E-02,8.40E-03,0

RMORE,7.00E-05, 1.00E-09,1.00E-09,1.27E-02,8.40E-03,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,1.27E-02,8.40E-03,1.27E-02,8.40E-03

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0,0,0,0,0,0

RMORE,0

RMORE,0

!*****!PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS DAS LAJES *****

! COMANDO "R", IDENTIFICAÇÃO DA PROPRIEDADE,
! ESPESSURA DA LAJE DE CONCRETO

R,5,0.04

!***** PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS *****

!AÇO

MP,EX,1,2.05E+11 !MÓDULO DE ELASTICIDADE DO AÇO É 2.05E11 N/m²

MP,PRXY,1,0.3 !COEFICIENTE DE POISSON

MP,DENS,1,7850 !DENSIDADE - 7860kg/m³

!CONCRETO

MP,EX,2,1.60E+10 !MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO E = 1,6 E10 N/m²

MP,PRXY,2,0.2 !COEFICIENTE DE POISSON

MP,DENS,2,2550 !DENSIDADE DO CONCRETO 2559 kg/m³

!***** COORDENADAS DOS PONTOS KPOINTS *****

! COMANDO KPOINT K : K,NUMERO DO PONTO,COORDENADAS X, Y, Z

! COORDENADAS DOS PONTOS QUE FORMARAO O BANZO SUPERIOR

! KPOINT DE 01 a KPOINT 17

K,1,0,.762,0

K,2,.875,.762,0

K,3,1.75,.762,0

K,4,2.625,.762,0

K,5,3.500,.762,0

K,6,4.375,.762,0

K,7,5.250,.762,0

K,8,6.125,.762,0

K,9,7.00,.762,0
 K,10,7.875,.762,0
 K,11,8.750,.762,0
 K,12,9.625,.762,0
 K,13,10.500,.762,0
 K,14,11.375,.762,0
 K,15,12.250,.762,0
 K,16,13.125,.762,0
 K,17,14.00,.762,0

! COORDENADAS DOS PONTOS QUE FORMARAO O BANZO INFERIOR

!KPOINT DE 18 A KPOINT 34

K,18,0,0,0
 K,19,.875,0,0
 K,20,1.750,0,0
 K,21,2.625,0,0
 K,22,3.500,0,0
 K,23,4.375,0,0
 K,24,5.250,0,0
 K,25,6.125,0,0
 K,26,7.00,0,0
 K,27,7.875,0,0
 K,28,8.750,0,0
 K,29,9.625,0,0
 K,30,10.500,0,0
 K,31,11.375,0,0
 K,32,12.250,0,0
 K,33,13.125,0,0
 K,34,14.00,0,0

!***** DEFINIÇÃO DAS LINHAS *****

!COMANDO L : L, (KPOINT INICIAL, KPOINT FINAL)

! LINHAS QUE INTERLIGAM OS KPOINTS DO BANZO SUPERIOR

L,1,2

L,2,3

L,3,4

L,4,5

L,5,6

L,6,7

L,7,8

L,8,9

L,9,10

L,10,11

L,11,12

L,12,13

L,13,14

L,14,15

L,15,16

L,16,17

! LINHAS QUE FORMAM AS DIAGONAIS E MONTANTES INTERLIGANDO BANZO SUPERIOR E INFERIOR

L,19,1

L,19,2

L,19,3

L,3,20

L,3,21

L,21,4

L,21,5

L,5,22

L,23,5

L,23,6

L,23,7

L,7,24

L,25,7

L,25,8

L,25,9

L,9,26

L,27,9

L,27,10

L,27,11

L,11,28
L,29,11
L,29,12
L,29,13
L,13,30
L,31,13
L,31,14
L,31,15
L,15,32
L,33,15
L,33,16
L,33,17

! LINHAS QUE INTERLIGAM OS KPOINTS DO BANZO INFERIOR

L,18,19
L,19,20
L,20,21
L,21,22
L,22,23
L,23,24
L,24,25
L,25,26
L,26,27
L,27,28
L,28,29
L,29,30
L,30,31
L,31,32
L,32,33
L,33,34

!***** FORMAÇÃO AUTOMÁTICA DOS JOISTS AO LONGO DO VAO*****

! COMANDO DE LOOP DO TIPO ~DO~ PARA REPETICAO DOS JOISTS AO LONGO DO
VAO

*DO,I,1,18

LSEL, A, LOC, Z, 0 !SELECIONA AS LINHAS - LSEL, TIPO, ITEM, Comp, VMIN,

! VMAX, VINC, KSWP

LGEN,2,ALL, , , , I*1.250, ,0 !COMANDA A DISTÂNCIA QUE OS ELEMENTOS ESTARÃO
ESPAÇADOS

LSEL, ALL

/RELOT !DESENHA OS JOIST COMANDADOS ACIMA

LSEL,NONE

*ENDDO ! FIM DO COMANDO "DO"

!BARRAS TRANSVERSAIS A LINHA DOS JOISTS - PRIMEIRA LINHA

L,645,611

L,611,577

L,577,543

L,543,509

L,509,475

L,475,441

L,441,407

L,407,373

L,373,339

L,339,305

L,305,271

L,271,237

L,237,203

L,203,169

L,169,135

L,135,101

L,101,67

L,67,18

!BARRAS TRANSVERSAIS A LINHA DOS JOISTS - SEGUNDA LINHA

L,633,565

L,565,599

L,599,531

L,531,497

L,497,463

L,463,429

L,429,395

L,395,361

L,361,327

L,327,293

L,293,259

L,259,225

L,225,191

L,191,157

L,157,123

L,123,89

L,89,55

L,55,22

!BARRAS TRANSVERSAIS A LINHA DOS JOISTS - TERCEIRA LINHA

L,637,603

L,603,569

L,569,535

L,535,501

L,501,467

L,467,433

L,433,399

L,399,365

L,365,331

L,331,297

L,297,263

L,263,229

L,229,195

L,195,161

L,161,127

L,127,93

L,93,59

L,59,26

!BARRAS TRANSVERSAIS A LINHA DOS JOISTS - QUARTA LINHA

L,641,607

L,607,573

L,573,539

L,539,505

L,505,471

L,471,437

L,437,403

L,403,369

L,369,335

L,335,301

L,301,267

L,267,233

L,233,199

L,199,165

L,165,131

L,131,97

L,97,63

L,63,30

!BARRAS TRANSVERSAIS A LINHA DOS JOISTS - QUINTA LINHA

L,646,612

L,612,578

L,578,544

L,544,510

L,510,476

L,476,442

L,442,408

L,408,374

L,374,340
L,340,306
L,306,272
L,272,238
L,238,204
L,204,170
L,170,136
L,136,102
L,102,68
L,68,34

!***** DEFINIÇÃO DAS ÁREAS *****

!COMANDO A : APRESENTA AS COORDENADAS

!ÁREA 1 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 1 E 2
A,1,17,51,35

!ÁREA 2 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 2 E 3
A,35,51,85,69

!ÁREA 3 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 3 E 4
A,69,85,119,103

!ÁREA 4 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 4 E 5
A,103,119,153,137

!ÁREA 5 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 5 E 6
A,137,153,187,171

!ÁREA 6 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 6 E 7
A,171,187,221,205

!ÁREA 7 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 7 E 8
A,205,221,255,239

!ÁREA 8 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 8 E 9

A,239,255,289,273

!AREA 9 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 9 E 10

A,273,289,323,307

!AREA 10 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 10 E 11

A,307,323,357,341

!AREA 11 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 11 E 12

A,341,357,391,375

!AREA 12 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 12 E 13

A,375,391,425,409

!AREA 13 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 13 E 14

A,409,425,459,443

!AREA 14 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 14 E 15

A,443,459,493,477

!AREA 15 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 15 E 16

A,477,493,527,511

!AREA 16 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 16 E 17

A,511,527,561,545

!AREA 17 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 17 E 18

A,545,561,595,579

!AREA 18 - FAIXA ENTRE OS JOISTS 18 E 19

A,579,595,629,613

!***** GERAÇÃO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS *****

! COMANDO LMESH

! DEFINE UMA SEQUENCIA DE LINHAS COM MESMO MATERIAL, GEOMETRIA E TIPO DE ELEMENTO

!***** BANZO SUPERIOR *****

!LSEL, Type, Item, Comp, VMIN, VMAX, VINC, KSWP

!Type - IDENTIFICA O TIPO DE SELEÇÃO

!ITEM

!COMP

!VMIN - VALOR MINIMO

!VMAX - VALOR MAXIMO

!VINC - INCREMENTO

!KSWPM - IDENTIFICA O QUE SERA SELECIONADO ALEM DAS LINHAS

!COMANDO LMESH DA FORMA : LMESH, NL1, NL2, NINC , LINHA INICIAL, LINHA FINAL E INCREMENTO

ESIZE,.21875,0, !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DO BANZO SUPERIOR

TYPE,1 !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)

MAT,1 !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)

REAL,1 !DEFINE AS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

LSEL,S,,,1,16,1

LMESH,1,16,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 01

LSEL,S,,,64,79,1

LMESH,64,79,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 02

LSEL,S,,,127,142,1

LMESH,127,142,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 03

LSEL,S,,,190,205,1

LMESH,190,205,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 04

LSEL,S,,,253,268,1

LMESH,253,268,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 05

LSEL,S,,,316,331,1

LMESH,316,331,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 06

LSEL,S,,,379,394,1

LMESH,379,394,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 07

LSEL,S,,,442,457,1

LMESH,442,457,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 08
 LSEL,S,,,505,520,1
 LMESH,505,520,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 09
 LSEL,S,,,568,583,1
 LMESH,568,583,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 10
 LSEL,S,,,631,646,1
 LMESH,631,646,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 11
 LSEL,S,,,694,709,1
 LMESH,694,709,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 12
 LSEL,S,,,757,772,1
 LMESH,757,772,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 13
 LSEL,S,,,820,835,1
 LMESH,820,835,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 14
 LSEL,S,,,883,898,1
 LMESH,883,898,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 15
 LSEL,S,,,946,961,1
 LMESH,946,961,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 16
 LSEL,S,,,1009,1024,1
 LMESH,1009,1024,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 17
 LSEL,S,,,1072,1087,1
 LMESH,1072,1087,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 18
 LSEL,S,,,1135,1150,1
 LMESH,1135,1150,1 ! BANZO SUPERIOR DO JOIST 19

!***** BANZO INFERIOR *****

REAL,2
 LSEL,S,,,48,63,1
 LMESH,48,63,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 01
 LSEL,S,,,111,126,1
 LMESH,111,126,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 02
 LSEL,S,,,174,189,1
 LMESH,174,189,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 03
 LSEL,S,,,237,252,1
 LMESH,237,252,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 04
 LSEL,S,,,300,315,1
 LMESH,300,315,1 ! BANZO INFERIOR DO JOIST 05

```

LSEL,S,,,363,378,1
LMESH,363,378,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 06
LSEL,S,,,426,441,1
LMESH,426,441,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 07
LSEL,S,,,489,504,1
LMESH,489,504,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 08
LSEL,S,,,552,567,1
LMESH,552,567,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 09
LSEL,S,,,615,630,1
LMESH,615,630,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 10
LSEL,S,,,678,693,1
LMESH,678,693,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 11
LSEL,S,,,741,756,1
LMESH,741,756,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 12
LSEL,S,,,804,819,1
LMESH,804,819,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 13
LSEL,S,,,867,882,1
LMESH,867,882,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 14
LSEL,S,,,930,945,1
LMESH,930,945,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 15
LSEL,S,,,993,1008,1
LMESH,993,1008,1      ! BANZO INFERIOR DO JOIST 16
LSEL,S,,,1056,1071,1
LMESH,1056,1071,1     ! BANZO INFERIOR DO JOIST 17
LSEL,S,,,1119,1134,1
LMESH,1119,1134,1     ! BANZO INFERIOR DO JOIST 18
LSEL,S,,,1182,1197,1
LMESH,1182,1197,1     ! BANZO INFERIOR DO JOIST 19

```

```

!***** DIAGONAIS *****

```

```

ESIZE,.29,0,  !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DAS DIAGONAIS

```

```

TYPE,1      !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)

```

```

MAT,1      !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)

```

```

REAL,3

```

LSEL,S,,,17,47,2
LMESH,17,47,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 01
LSEL,S,,,80,110,2
LMESH,80,110,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 02
LSEL,S,,,143,173,2
LMESH,143,173,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 03
LSEL,S,,,206,236,2
LMESH,206,236,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 04
LSEL,S,,,269,299,2
LMESH,269,299,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 05
LSEL,S,,,332,362,2
LMESH,332,362,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 06
LSEL,S,,,395,425,2
LMESH,395,425,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 07
LSEL,S,,,458,488,2
LMESH,458,488,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 08
LSEL,S,,,521,551,2
LMESH,521,551,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 09
LSEL,S,,,584,614,2
LMESH,584,614,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 10
LSEL,S,,,647,677,2
LMESH,647,677,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 11
LSEL,S,,,710,740,2
LMESH,710,740,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 12
LSEL,S,,,773,803,2
LMESH,773,803,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 13
LSEL,S,,,836,866,2
LMESH,836,866,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 14
LSEL,S,,,899,929,2
LMESH,899,929,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 15
LSEL,S,,,962,992,2
LMESH,962,992,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 16
LSEL,S,,,1025,1055,2
LMESH,1025,1055,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 17
LSEL,S,,,1088,1118,2
LMESH,1088,1118,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 18
LSEL,S,,,1151,1181,2

LMESH,1151,1181,2 ! DIAGONAIS DO JOIST 19

!*****MONTANTES*****

ESIZE,.254,0, !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DOS MONTANTES

TYPE,1 !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)

MAT,1 !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)

REAL,4

LSEL,S,,18,46,2

LMESH,18,46,2 ! MONTANTES DO JOIST 01

LSEL,S,,81,110,2

LMESH,81,110,2 ! MONTANTES DO JOIST 02

LSEL,S,,144,173,2

LMESH,144,173,2 ! MONTANTES DO JOIST 03

LSEL,S,,207,236,2

LMESH,207,236,2 ! MONTANTES DO JOIST 04

LSEL,S,,270,299,2

LMESH,270,299,2 ! MONTANTES DO JOIST 05

LSEL,S,,333,362,2

LMESH,333,362,2 ! MONTANTES DO JOIST 06

LSEL,S,,396,425,2

LMESH,396,425,2 ! MONTANTES DO JOIST 07

LSEL,S,,459,488,2

LMESH,459,488,2 ! MONTANTES DO JOIST 08

LSEL,S,,522,551,2

LMESH,522,551,2 ! MONTANTES DO JOIST 09

LSEL,S,,585,614,2

LMESH,585,614,2 ! MONTANTES DO JOIST 10

LSEL,S,,648,677,2

LMESH,648,677,2 ! MONTANTES DO JOIST 11

LSEL,S,,711,740,2

LMESH,711,740,2 ! MONTANTES DO JOIST 12

LSEL,S,,774,803,2

LMESH,774,803,2 ! MONTANTES DO JOIST 13

LSEL,S,,837,866,2

LMESH,837,866,2 ! MONTANTES DO JOIST 14

LSEL,S,,900,929,2

```

LMESH,900,929,2      ! MONTANTES DO JOIST 15
LSEL,S,,,963,992,2
LMESH,963,992,2      ! MONTANTES DO JOIST 16
LSEL,S,,,1026,1055,2
LMESH,1026,1055,2    ! MONTANTES DO JOIST 17
LSEL,S,,,1089,1118,2
LMESH,1089,1118,2    ! MONTANTES DO JOIST 18
LSEL,S,,,1152,1180,2
LMESH,1152,1180,2    ! BANZO INFERIOR DO JOIST 19

```

```

!***** BARRAS DE ESTABILIDADE *****

```

```

ESIZE,.254,0,  !DEFINE A DIVISÃO DAS LINHAS DOS MONTANTES
TYPE,1      !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (VIGA)
MAT,1      !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (AÇO)
REAL,6

```

```

LSEL,S,,,1198,1215,1
LMESH,1198,1215,1

```

```

LSEL,S,,,1216,1233,1
LMESH,1216,1233,1

```

```

LSEL,S,,,1234,1251,1
LMESH,1234,1251,1

```

```

LSEL,S,,,1252,1269,1
LMESH,1252,1269,1

```

```

LSEL,S,,,1270,1287,1
LMESH,1270,1287,1

```

```

!*****LAJE DE CONCRETO*****

```

```

ESIZE,.21875,0,

```

```

TYPE,2      !DEFINE O TIPO DE ELEMENTO (LAJE DE CONCRETO)

```

MAT,2 !DEFINE O TIPO DE MATERIAL (CONCRETO)
 REAL,5 !DEFINE AS PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS (LAJE DE CONCRETO)
 TYPE,2
 AATT,2,5,2 !ENGLIBA O TIPO DE MATERIAL, REAL CONSTANTE E TIPO DE
 ELEMENTO
 AMESH, ALL !TODAS AS ÁREAS REFERENTE AS LAJES DE CONCRETO
 !COMANDO IMESH : IMESH, LAKY, NSLA, NTLA, KCN, DX, DY, DZ, TOL

!CPINTF, Lab, TOLER
 CPINTF, ALL, 0.000001

!*****CONDIÇÃO DE CONTORNO*****

!

! NÓS DE EXTREMIDADE DOS BANZOS SUPERIORES DOS JOISTS
 ! (PRIMEIRA LINHA À DIREITA - COORDENADAS CARTEZIANAS)

!

!COMANDO DK: DEFINE O GRAU DE LIBERDADE DOS KPOINTS - DK, KPOI, Lab,
 VALUE, VALUE2,

! KEXPND, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6

!ONDE : PÂMETROS VÁLIDOSO SÃO: ALL, PARA ATIVAR TODAS AS RESTRIÇÕES
 APROPRIDADAS

!RESTRIÇÕES ESTRUTURAIS: UX, UY, ou UZ (deslocamentos); ROTX, ROTY, ou ROTZ
 (rotações); EMPENAMENTO.

!RESTRIÇÕES TERMICAS: TEMPERATURA, TBOT, TE2, TE3. , TTOP

!PARÂMETROS ELETRICOS: VOLT (TENSÃO).

!RESTRIÇÕES MAGNÉTICAS: Mag (POTENCIAL MAGNÉTICO ESTATICO ESCALAR);

!CORTANTES:,AX, AY, ou AZ (POTENCIAL MAGNÉTICO DO VETOR).

DK,1,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,17,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,35,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,51,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,69,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,85,UX,,,,,UY,,,,,UZ

DK,103,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,119,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,137,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,153,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,171,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,187,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,205,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,221,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,239,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,255,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,273,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,289,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,307,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,323,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,341,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,357,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,375,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,391,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,409,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,425,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,443,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,459,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,477,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,493,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,511,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,527,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,545,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,561,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,579,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,595,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,613,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,629,UX,,,,UY,,,,UZ

!*****CONDIÇÃO DE CONTORNO*****!

!

! NÓS DE EXTREMIDADE DOS BANZOS INFERIORES DOS JOISTS

!

! (PRIMEIRA LINHA À DIREITA -SEGUNDA À ESQUERDA - COORDENADAS CARTEZIANAS)

!

DK,18,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,34,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,67,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,68,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,101,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,102,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,135,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,136,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,169,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,170,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,203,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,204,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,237,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,238,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,271,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,272,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,305,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,306,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,339,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,340,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,373,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,374,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,407,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,408,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,441,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,442,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,475,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,476,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,509,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,510,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,543,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,544,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,577,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,578,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,611,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,612,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,645,UX,,,,UY,,,,UZ

DK,646,UX,,,,UY,,,,UZ

A.3. Apdl da aplicação de carga - Modelo 1

!***** SOLUÇÃO – APLICAÇÃO DE CARGA*****

/SOLU

!TIPO DE ANÁLISE

!ANTYPE – TIPO DE ANÁLISE REALIZADA – NA FALTA DE ESPECIFICAR O TIPO DE ANÁLISE ESTA É CONSIDERADA ESTÁTICA

!4= ANÁLISE MODAL TRANSIENTE

ANTYPE,4

!TRNOPT – ESPECIFICA O TIPO DE ANÁLISE TRANSIENTE UTILIZADA

!UTILIZA-SE "FULL" PARA A OPÇÃO PADRÃO QUE UTILIZA O ALGORÍTMO DE NEWMARK

!!INIANDO DO PRIMEIRO MODO E INCLUINDO O EFEITO DE AMORTECIMENTO

TRNOPT,FULL

!O COMANDO LUMPM ESPECIFICA UMA MATRIZ DE BANDA – RECOMENDÁVEL A POSIÇÃO PADRÃO = 0

LUMPM,0

!*****CARREGAMENTO*****

!*DIM, DIMENSIONA A TABELA DE ENTRADA DE DADOS COM OS PARÂMETROS:

*DIM, Tabela1, TABLE,2501, 1, 1, , , , 0

!TREAD – COMANDO UTILIZADO PARA REALIZAR A LEITURA EM UM ARQUIVO EXTERNO

!!INFORMANDO O NOME DO ARQUIVO E A LOCALIZAÇÃO DESTE

*TREAD,Tabela1,c:\TOPICOS\Tabela1,txt,,0

!F – ESPECIFICA O NÓ ONDE A CARGA SERÁ APLICADA, A DIREÇÃO DESTA CARGA
COM OS PARÂMETROS

!NÓ, DIREÇÃO DE APLICAÇÃO DE CARGA, %Nome da Tabela%

F,599,-FY,%Tabela1%

!CONTROLES E SAÍDA

OUTPR,NSOL,ALL,

OUTRES,NSOL,ALL,

!DOMÍNIO DO TEMPO/ FREQUÊNCIA

TIME,5

AUTOTS,-1

DELTIM,0.002, , ,1

KBC,1

TIME,5

AUTOTS,-1

!NSUBST-ESPECIFICA O NUMERO DE SUB-PASSOS A SEREM DADOS COM O PASSO
DE CARGA

NSUBST,2501, , ,1

KBC,1

!AMORTECIMENTO

! VALORES DE ALFA E BETA

ALPHAD,1.04299

BETAD,0.00086

SOLVE

FINISH

!POS-PROCESSAMENTO

/POST26

LINES,50000,

! NSOL- ESPECIFICA OS DADOS NODAIS A SEREM ARMAZENADOS DO ARQUIVO DOS RESULTADOS

! Parâmetros : NÚMERO DE VARIÁVEIS

! Nó PARA QUAL OS DADOS SERÃO CALCULADOS

! ÍTEM – IDENTIFICAÇÃO PARA O ÍTEM QUE SERÁ APRESENTADO NA TABELA

! Comp - DIREÇÃO (X,Y,Z)

! NAME – NOME COM ATÉ 32 CARACTERES IDENTIFICANDO O ÍTEM DE SAÍDA. NESTE CASO, DESLOCAMENTO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO

NSOL,2,599,U,Y,DESLOCAMENTO

DERIV,3,2,1, ,VELOCIDADE, , ,1,

DERIV,4,3,1, ,ACELERAÇÃO, , ,1,

PRVAR,2,3,4, , , ,

Anexo B - Tabelas para dimensionamento de vigas treliçadas (joist)

[56]

B.1. Tabela Estado Limite para Joists

LRFD

METRIC LOAD TABLE FOR OPEN WEB STEEL JOISTS, K-SERIES												
Based on a Maximum 345 MPa Yield Strength - Loads Shown in KiloNewtons per Meter (kN/m)												
Joist Designation	28K6	28K7	28K8	28K9	28K10	28K12	30K7	30K8	30K9	30K10	30K11	30K12
Depth (mm)	711	711	711	711	711	711	762	762	762	762	762	762
Approx. Mass (kg/m)	17.0	17.6	18.9	19.3	21.3	25.4	18.3	19.6	19.9	22.3	24.4	26.2
Approx. Mass (kN/m)	0.17	0.17	0.19	0.19	0.21	0.25	0.18	0.19	0.20	0.22	0.24	0.26
Span (mm)												
↓												
8534	11.99 7.89	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92						
8839	11.18 7.09	12.03 7.61	12.03 7.61	12.03 7.61	12.03 7.61	12.03 7.61						
9144	10.44 6.40	11.62 7.09	12.03 7.29	12.03 7.29	12.03 7.29	12.03 7.29	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92	12.03 7.92
9449	9.76 5.79	10.87 6.42	12.03 7.00	12.03 7.00	12.03 7.00	12.03 7.00	11.68 7.41	12.03 7.58	12.03 7.58	12.03 7.58	12.03 7.58	12.03 7.58
9754	9.15 5.26	10.20 5.83	11.27 6.39	12.01 6.75	12.01 6.75	12.01 6.75	10.96 6.72	12.01 7.29	12.01 7.29	12.01 7.29	12.01 7.29	12.01 7.29
10058	8.60 4.80	9.58 5.31	10.59 5.82	11.53 6.30	11.64 6.34	11.64 6.34	10.31 6.12	11.38 6.71	11.64 6.82	11.64 6.82	11.64 6.82	11.64 6.82
10363	8.09 4.37	9.01 4.85	9.98 5.31	10.85 5.76	11.29 5.98	11.29 5.98	9.69 5.60	10.72 6.12	11.29 6.43	11.29 6.43	11.29 6.43	11.29 6.43
10668	7.63 4.01	8.51 4.45	9.41 4.85	10.24 5.25	10.96 5.67	10.96 5.67	9.15 5.12	10.11 5.60	10.96 6.05	10.96 6.05	10.96 6.05	10.96 6.05
10973	7.22 3.67	8.03 4.08	8.88 4.46	9.67 4.84	10.66 5.34	10.66 5.34	8.64 4.71	9.54 5.15	10.39 5.58	10.66 5.72	10.66 5.72	10.66 5.72
11278	6.82 3.38	7.61 3.75	8.40 4.11	9.15 4.45	10.37 5.02	10.37 5.02	8.16 4.33	9.04 4.74	9.82 5.13	10.37 5.45	10.37 5.45	10.37 5.45
11582	6.47 3.12	7.20 3.45	7.96 3.79	8.66 4.11	10.09 4.74	10.09 4.74	7.74 3.99	8.55 4.37	9.32 4.74	10.09 5.15	10.09 5.15	10.09 5.15
11887	6.12 2.88	6.85 3.19	7.57 3.50	8.23 3.79	9.78 4.46	9.82 4.49	7.35 3.69	8.12 4.04	8.84 4.37	9.82 4.85	9.82 4.85	9.82 4.85
12192	5.82 2.67	6.50 2.96	7.18 3.23	7.81 3.51	9.28 4.14	9.58 4.24	6.98 3.41	7.72 3.73	8.40 4.05	9.58 4.59	9.58 4.59	9.58 4.59
12497	5.53 2.48	6.19 2.75	6.82 3.00	7.44 3.25	8.84 3.83	9.34 4.04	6.63 3.16	7.33 3.47	7.99 3.76	9.34 4.37	9.34 4.37	9.34 4.37
12802	5.27 2.30	5.88 2.55	6.50 2.80	7.09 3.03	8.40 3.57	9.12 3.85	6.32 2.94	7.00 3.22	7.61 3.50	9.04 4.11	9.12 4.14	9.12 4.14
13106	5.03 2.14	5.62 2.37	6.21 2.61	6.76 2.83	8.03 3.32	8.90 3.67	6.04 2.74	6.67 3.00	7.26 3.25	8.62 3.83	8.90 3.94	8.90 3.94
13411	4.81 1.99	5.36 2.21	5.93 2.43	6.45 2.64	7.66 3.09	8.71 3.50	5.75 2.56	6.37 2.80	6.93 3.03	8.23 3.57	8.71 3.76	8.71 3.76
13716	4.59 1.86	5.12 2.07	5.66 2.27	6.17 2.46	7.31 2.88	8.51 3.34	5.49 2.39	6.08 2.61	6.63 2.84	7.85 3.34	8.51 3.59	8.51 3.59
14021	4.40 1.75	4.90 1.94	5.42 2.13	5.91 2.30	7.00 2.71	8.31 3.19	5.27 2.23	5.82 2.45	6.34 2.65	7.53 3.12	8.31 3.44	8.31 3.44
14326	4.20 1.63	4.68 1.82	5.18 1.98	5.64 2.15	6.69 2.53	8.14 3.06	5.03 2.10	5.58 2.29	6.06 2.49	7.20 2.93	8.14 3.29	8.14 3.29
14630	4.02 1.53	4.50 1.70	4.96 1.86	5.40 2.02	6.43 2.37	7.99 2.93	4.83 1.97	5.34 2.15	5.82 2.33	6.89 2.74	7.92 3.13	7.99 3.15
14935	3.87 1.44	4.31 1.60	4.77 1.75	5.18 1.89	6.17 2.23	7.81 2.81	4.64 1.85	5.12 2.02	5.58 2.18	6.63 2.58	7.59 2.94	7.81 3.02
15240	3.72 1.35	4.13 1.50	4.57 1.64	4.99 1.79	5.91 2.10	7.66 2.69	4.44 1.73	4.92 1.89	5.36 2.05	6.37 2.42	7.28 2.77	7.66 2.90
15545	3.56 1.28	3.98 1.41	4.40 1.54	4.79 1.67	5.69 1.98	7.39 2.55	4.26 1.63	4.72 1.79	5.14 1.94	6.10 2.29	7.00 2.61	7.50 2.80
15850	3.43 1.21	3.83 1.34	4.22 1.45	4.59 1.59	5.47 1.86	7.11 2.40	4.11 1.54	4.55 1.69	4.94 1.83	5.86 2.15	6.74 2.46	7.35 2.68
16154	3.30 1.13	3.67 1.26	4.07 1.38	4.44 1.50	5.25 1.76	6.85 2.27	3.96 1.45	4.37 1.59	4.77 1.73	5.64 2.04	6.47 2.32	7.22 2.58
16459	3.17 1.07	3.54 1.19	3.91 1.29	4.26 1.41	5.07 1.66	6.58 2.14	3.80 1.37	4.20 1.50	4.57 1.63	5.45 1.92	6.23 2.18	7.09 2.48
16764	3.06 1.02	3.41 1.12	3.78 1.24	4.11 1.34	4.88 1.57	6.34 2.02	3.67 1.29	4.04 1.43	4.42 1.54	5.25 1.82	6.01 2.07	6.82 2.34
17069	2.95 0.96	3.30 1.06	3.63 1.16	3.96 1.26	4.70 1.48	6.12 1.92	3.54 1.22	3.91 1.34	4.26 1.45	5.05 1.72	5.80 1.97	6.58 2.23
17374							3.41 1.16	3.78 1.28	4.11 1.38	4.88 1.63	5.60 1.86	6.34 2.11
17678							3.30 1.10	3.65 1.21	3.96 1.31	4.70 1.54	5.40 1.76	6.12 1.99
17983							3.19 1.05	3.52 1.15	3.83 1.25	4.55 1.47	5.23 1.67	5.93 1.89
18288							3.08 1.00	3.41 1.09	3.69 1.18	4.40 1.40	5.05 1.59	5.73 1.80



B.2. Tabela auxiliar para dimensionamento das vigas treliçadas (joists) série K

TYPE (TIPO)	TOP CHORD (CORDA SUPERIOR) WIDTH(± 1 ")	TYPE (TIPO)	TOP CHORD (CORDA SUPERIOR) WIDTH(± 1 ")
8K1	4"	22K6	4 1/2"
10K1	4"	22K7	4 1/2"
12K1	4"	22K9	5"
12K3	4"	22K10	5"
12K5	4"	22K11	5"
14K1	4"	24K4	4"
14K3	4"	24K6	4 1/2"
14K4	4"	24K7	4 1/2"
16K2	4"	24K8	5"
16K3	4"	24K9	5"
16K4	4"	24K10	5"
16K6	4"	24K12	5"
16K7	4"	26K5	4 1/2"
16K9	4 1/2"	26K6	4 1/2"
18K3	4"	26K7	4 1/2"
18K4	4"	26K8	5"
18K5	4"	26K9	5"
18K6	4 1/2"	26K10	5"
18K7	4 1/2"	26K12	5"
18K9	5"	28K6	5"
18K10	5"	28K7	5"
20K3	4"	28K8	5"
20K4	4"	28K9	5"
20K5	4 1/2"	28K10	5"
20K6	4 1/2"	28K12	5"
20K7	5"	30K7	5"
20K9	5"	30K8	5"
20K10	5"	30K9	5"
22K4	4"	30K10	5"
22K5	4"	30K11	5"
		30K12	5"

WARNING: *This is only a roughly estimated guide, use at your own risk!
Always coordinate top chord size with joist manufacturer.
The standard gap between top chord angles is 1".*

AVISO: Esta tabela é apenas um guia de estimativa, que deve ser usado por própria conta e risco do projetista!

Sempre coordenar o tamanho da corda superior com o tamanho do fabricante do joist.
O afastamento padrão entre as cantoneiras da corda superior é de 1 "(25,4 mm).