5 Resultados Experimentais

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados experimentais dos ensaios tipo "push out" e dos ensios das lajes mista em escala real com corrugações na alma, descritos nos capítulos anteriores.

Os ensaios foram realizados com materiais usualmente utilizados na construção civil, não havendo nenhum elemento que seja de difícil compra no mercado ou de custo elevado que represente perda de competitividade do sistema de laje.

5.1. Laje Mista com Corrugações na Alma

5.1.1. Ensaio com Corrugação de Alma do Perfil Espaçados a cada 50mm

5.1.1.1. Primeiro Ensaio

O ensaio da laje com corrugações de alma espaçadas a cada 50mm e com vão livre de 3m teve um comportamento linear até um nível de carga de 23kN quando passou a se comportar de forma não linear, perdendo rigidez. Quando a carga atingiu 20kN foram detectados os primeiros ruídos no ensaio. Os ruídos continuaram de forma descontínua até um primeiro deslizamento entre o concreto e o aço do perfil, que ocorreu com um carregamento de 27kN (ver figuras 5.1 e 5.3). Após este nível de carga a estrutura adquiriu uma rigidez adicional até que um novo deslizamento ocorreu com um carregamento de 29kN, quando uma ruptura por deslizamento entre o aço e o concreto ficou evidente, figura 5.3.

A figura 5.1 apresenta o gráfico carga versus deslocamento vertical no meio do vão medido pelo LVDT L3 nos ensaios de pré-carga (7,5kN, 15kN e 20kN) e ensaio final (acima 20kN). A figura 5.2 apresenta as mesmas curvas descritas na figura 5.1 somente com a fase completa de carregamento.

A equação 5.1 relaciona a rigidez da laje mista (EI) com a carga e o deslocamento vertical no regime elástico.

$$\frac{P}{\delta} = \frac{864EI}{23l^3} \tag{5.1}$$

onde P representa o carregamento aplicado e δ o deslocamento vertical no meio do vão e *l* o vão da laje.

Define-se:

$$\alpha = \frac{p}{\delta} \tag{5.2}$$

onde α é o ângulo da curva da figura 5.2 que representa uma proporção da rigidez a flexão da laje no regime elástico, ou seja:

$$EI = \frac{23l^3}{864} \frac{P}{\delta}$$
(5.3)

De acordo com a curva do gráfico 5.2, o valor de α , será;

$$\alpha \cong 2,61$$
 ou seja, $\frac{p}{\delta} \cong 2,61$ (5.4)

Substituindo este valor na equação 5.3, tem-se:

$$EI = \frac{23 \cdot 3000^3}{864} \cdot 2,61 = 1,87 \times 10^9 \text{ KNmm}^2$$

A figura 5.3 apresenta a curva do deslizamento aço/concreto medido pelo LVDT L1 localizado na extremidade da estrutura do primeiro ensaio com corrugações a cada 50mm. Nesta figura pode-se observar o ponto de carregamento onde ocorreu o deslizamento aço/concreto (29kN), associado a ruptura. Pela curva observa-se que o deslizamento máximo atingiu 7mm.



Figura 5.1 – Carga versus deslocamento no meio do vão com corrugações a cada 50mm (LVDT L3).



Figura 5.2 – Carga versus deslocamento no meio do vão com corrugações a cada 50mm (LVDT L3).



Figura 5.3 – Carga versus deslizamento aço/concreto da laje com corrugações a cada 50mm.

A figura 5.4 apresenta o gráfico dos deslocamentos verticais medidos pelos LVDT's L2 e L4 no ensaio final, localizados a uma distância de 1/3 do vão a partir do apoio. Nesta figura também pode-se observar que com um carregamento de 29kN ocorreu o colapso por deslizamento da laje.

Os deslocamentos laterais medidos pelos LVDT's L6 e L7 localizados nas extremidades laterais opostas da estrutura do primeiro ensaio com corrugações a cada 50mm estão apresentados na figura 5.5. Estas medidas são desprezíveis (menores que 2mm) confirmando que não houve deslocamento lateral significativo no sistema da laje.



Figura 5.4 – Carga versus deslocamento no terço do vão com corrugações a cada 50mm (LVDT's L2 e L4).



Figura 5.5 – Carga versus deslocamentos laterais da laje com corrugações a cada 50mm (LVDT's L6 e L7).

A figura 5.6 mostra o gráfico da deformação do perfil metálico na estrutura da laje mista de três metros de comprimento de vão, com corrugações a cada 50mm. Os valores foram obtidos a partir dos extensômetros 1 e 2, posicionados no meio do vão do perfil. Nota-se que o escoamento (1219µɛ) não foi atingido durante o ensaio.



Figura 5.6 – Carga versus deformações do perfil metálico da laje com corrugações a cada 50mm.

A figura 5.7 apresenta a configuração final de fissuras no concreto para o primeiro ensaio realizado com a laje com corrugações a cada 50mm. As fissuras sempre ocorreram próximas a um dos pontos de aplicação de carga da estrutura, ou seja, na região logo abaixo da viga de distribuição de cargas.



Figura 5.7 - Fissuras na laje do primeiro ensaio.

5.1.1.2. Segundo Ensaio

Este ensaio (também realizado com corrugações de alma espaçadas a cada 50mm) teve um comportamento linear até um nível de 23kN quando passou a se comportar de forma não linear, perdendo rigidez. Quando a carga atingiu 20kN foram detectados os primeiros ruídos no ensaio. Os ruídos continuaram de forma descontínua até um primeiro deslizamento entre o concreto e o aço do perfil que ocorreu com um carregamento de 30kN (ver figuras 5.8 e 5.9). Após este nível de carga, a estrutura adquiriu uma rigidez adicional até que um novo deslizamento ocorreu com um carregamento de 31kN, quando uma ruptura por deslizamento entre o aço e o concreto ficou evidente, figura 5.9.

A figura 5.8 apresenta o gráfico do deslocamento vertical medido pelo LVDT L3, localizado no meio do vão de três metros de comprimento da estrutura.

De acordo com a curva do gráfico 5.8, a relação da equação 5.2 será;

$$\alpha \cong 2,5$$
 ou seja $\frac{p}{\delta} \cong 2,5$

Substituindo este valor na equação 5.3, tem-se:

$$EI = \frac{23 \cdot 3000^3}{864} \cdot 2{,}5 = 1{,}8 \times 10^9 \text{ KNmm}^2$$

A figura 5.9 apresenta a curva do deslizamento aço/concreto medido pelo LVDT L1, localizado na extremidade da estrutura do segundo ensaio. Nesta figura pode-se observar o ponto de carregamento onde ocorreu o deslizamento aço/concreto (31kN). Pela curva observa-se que o deslizamento máximo atingiu 1,33mm.



Figura 5.8 – Carga versus deslocamento no meio do vão com corrugações a cada 50mm do segundo ensaio (LVDT L3).



Figura 5.9 – Carga versus deslizamento na extremidade da laje do segundo ensaio (LVDT L1).

A figura 5.10 apresenta o gráfico do deslocamento vertical medido pelos LVDT's L2 e L4, localizados a uma distância de 1/3 do vão a partir do apoio. Nesta figura também pode-se observar que com uma carga de 31kN ocorreu o deslizamento da estrutura e o colapso do sistema de laje.

A figura 5.11 apresenta o gráfico do deslocamento lateral medido pelos LVDT's L6 e L7, localizados nas laterais opostas da estrutura do segundo ensaio.

Estas medidas são desprezíveis, confirmando mais uma vez que não houve deslocamento lateral significativo no sistema da laje.



Figura 5.10 – Carga versus deslocamento no terço do vão do segundo ensaio (LVDT's L2 e L4).



Figura 5.11 – Carga versus deslocamento lateral do segundo ensaio (LVDT's L6 e L7).

A figura 5.12 mostra o gráfico da deformação do perfil metálico na estrutura de laje mista do segundo ensaio com corrugações a cada 50mm. Os valores foram

obtidos a partir dos extensômetros 1 e 2 posicionados no meio do vão do perfil. Mais uma vez o escoamento não foi atingido durante o ensaio.



Figura 5.12 – Carga versus deformações do perfil metálico no segundo ensaio.

As figuras 5.13 e 5.14 apresentam a configuração de colapso do segundo ensaio realizado com 3,0m de vão com corrugações a cada 50mm. Nestas fotos pode-se observar o descolamento da chapa lateral do concreto e uma deformação acentuada devido ao carregamento total imposto a estrutura.



Figura 5.13 – Configuração das fissuras do segundo ensaio.



Figura 5.14 – Visualização da descolamento do concreto do aço, segundo ensaio.



Figura 5.15 – Configuração típica de colapso por deslizamento do concreto/aço, segundo ensaio.

5.1.2. Ensaio com Corrugações na Alma do Perfil Espaçados a cada 100mm

5.1.2.1. Terceiro Ensaio

O terceiro ensaio compreendeu o sistema de laje com 3m de vão e com corrugações na alma do perfil espaçados a cada 100mm, O comportamento apresentado foi linear até um nível de carga de 23kN, quando passou a se comportar de forma não linear. Quando a carga atingiu 26kN foram detectados os primeiros ruídos no ensaio. O primeiro deslizamento entre o concreto e o aço do perfil ocorreu com um carregamento de 30kN (ver figura 5.16 e 5.18). Após este nível de carga a estrutura adquiriu uma rigidez adicional até que um novo deslizamento ocorreu com um carregamento de 32kN. O carregamento continuou a ser aplicado até um nível de 33kN, quando uma ruptura por deslizamento entre o aço e o concreto ficou evidente, figura 5.18.

As figuras 5.17 e 5.18 apresentam o gráfico do deslocamento vertical no meio do vão medido pelo LVDT L3 e nos ensaios de pré-carga (7,5kN, 15kN, 20kN) e ensaio final (33kN). A figura 5.18 apresenta o deslocamento da figura anterior somente na fase de carregamento.

De acordo com a curva do gráfico 5.18, a relação da equação 5.2 será;

$$\alpha \approx 2,39$$
 ou seja $\frac{p}{\delta} \approx 2,39$

Substituindo este valor na equação 5.3, tem-se que:

$$EI = \frac{23 \cdot 3000^3}{864} \cdot 2,39 = 1,72 \times 10^9 \, kNmm^2$$

A figura 5.18 apresenta as curvas do deslizamento aço/concreto medido pelo LVDT L1, localizado na extremidade da estrutura do terceiro ensaio. Nesta figura pode-se observar o ponto onde ocorreu a ruptura por deslizamento aço/concreto (33kN). Pela curva observa-se que o deslizamento máximo atingiu 10mm.



Figura 5.16 – Carga versus deslocamento no meio do vão com corrugações a cada 100mm (LVDT L3).



Figura 5.17 – Carga versus deslocamento no meio do vão com corrugações a cada 100mm (LVDT L3).



Figura 5.18 - Carga versus deslizamento aço/concreto no terceiro ensaio.

A figura 5.19 apresenta o gráfico dos deslocamentos verticais medidos pelos LVDT's L2 e L4, localizados a uma distância de 1/3 do vão a partir do apoio. Nesta figura também pode-se observar que com um carregamento de 33kN ocorreu o colapso por deslizamento da laje.

A figura 5.20 apresenta o gráfico do deslocamento lateral medido pelos LVDT's L6 e L7, localizados nas laterais opostas da estrutura do terceiro ensaio. Estas medidas são desprezíveis confirmando mais uma vez que não houve deslocamento lateral significativo no sistema da laje.



Figura 5.19 – Carga versus deslocamento a 1/3 do vão, terceiro ensaio (LVDT's L2 e L4).



Figura 5.20 – Carga versus deslocamento lateral da laje, terceiro ensaio (LVDT's L6 e L7).

A figura 5.21 apresenta o gráfico da deformação do perfil metálico na estrutura de laje mista do terceiro ensaio, com corrugações na alma do perfil a cada 100mm. Os valores foram obtidos a partir dos extensômetros 1 e 2 posicionados no meio do vão do perfil. Mais uma vez o escoamento não foi atingido durante o ensaio.



Figura 5.21 – Deformações do perfil metálico do terceiro ensaio.

A figura 5.22 apresenta os resultados do primeiro, segundo e terceiro ensaios realizados a flexão para as lajes mistas com 3,0m de comprimento de vão com corrugações na alma. Nestes três casos, além da adesão química, as corrugações na alma do perfil e a chapa lateral corrugada atuavam como responsáveis pela aderência concreto/perfil metálico. As medidas dos deslocamentos verticais foram tomadas por um relógio e um LVDT posicionados no meio do vão da estrutura ensaiada. O estado limite último para os três ensaios da laje, correspondeu ao rompimento por deslizamento entre o perfil metálico e a laje de concreto em uma das extremidades da laje ensaiada. Os deslocamentos relativos máximos medidos foram da ordem de 36mm.

A figura 5.23 contém o gráfico de comparação das deformações do perfil metálico nas lajes mistas de todos os ensaios com corrugações na alma do perfil. Os valores foram obtidos a partir dos extensômetros 1 e 2, posicionados no meio do vão do perfil. Pode-se constatar nos resultados que o escoamento não foi atingido durante todos os ensaios. Também não houve variações significativas nas deformações quando a distância entre as corrugações foi modificada.

A tabela 5.1 mostra uma comparação para o primeiro, segundo e terceiro ensaios com corrugações na alma do perfil, sendo que, o primeiro e o segundo a cada 50mm e o terceiro a cada 100mm, em termos de rigidez à flexão. Pode-se notar que não houve diferença significativa para os três ensaios da laje no regime elástico.

Isto já era esperado, pois estas medidas foram feitas a partir de informações no regime elástico, antes de qualquer deslizamento ter ocorrido.



Figura 5.22 – Carga versus deslocamento para as lajes ensaiadas.



Figura 5.23 – Carga versus deformação para todos os ensaios.

	EI (kN.mm2)	Carga última (kN)	Deformação
			Máx.(mm)
Ensaio 1	1,87E+09	29	13,77
Ensaio 2	1,80E+09	31	15,31
Ensaio 3	1,72E+09	33	36,21
Diferença 1 p/ 2	0,07E+09	2	1,54
Dif. % do 1 p/ 2	3,74	3,54	11,18
Diferença 2 p/ 3	0,08E+09	2	1,54
Dif. % do 2 p/ 3	4,65	3,54	136,51

Tabela 5.1 – Rigidez e carga de colapso para as lajes ensaiadas.

As figuras 5.24 e 5.25 apresentam a configuração de colapso para o terceiro ensaio realizado com 3m de vão com corrugações a cada 100mm. Nestas fotos pode-se observar o descolamento da chapa lateral do concreto e uma deformação acentuada devido ao carregamento total imposto a estrutura.

A figura 5.26 apresenta o estado limite último ocorrido de igual modo para os três ensaios, correspondente ao rompimento por deslizamento entre o perfil metálico e a laje de concreto em uma região próxima a extremidade livre da laje ensaiada. Os deslizamentos relativos máximos medidos foram da ordem de 10mm. A carga última por metro quadrado de laje foi de 24kN/m².



Figura 5.24 – Configuração das fissuras do terceiro ensaio.



Figura 5.25 - Descolamento do concreto, terceiro ensaio.



Figura 5.26 – Visualização do deslizamento típico na extremidade do vão das lajes mistas.

5.2. Ensaios do Tipo "Push Out"

Os ensaios do tipo "push out" foram executados com corrugações a cada 50mm na alma do perfil, com o mesmo perfil de aço utilizado para a laje, e teve

um comportamento rígido sem apresentar deslizamento até um nível de carga média de 45kN, quando houve o colapso por deslizamento entre o aço e o concreto.

Foram realizados três ensaios do tipo "push out", em todos os ensaios houve a mesma configuração de colapso das lajes. A instrumentação utilizada não detectou deslizamento durante o ensaio, devido a forma abrupta de colapso ocorrido, tabela 5.2.

Um calculo preliminar da tensão cisalhante na interface concreto/aço obteve o valor de 0,09MPa, sendo que, através dos dados obtidos pelos ensaios do "push out" é o dobro da tensão cisalhate na interface concreto/aço, devido as características do ensaio. Os valores encontrados foram maiores do que as sugeridas por Matthew [2], trabalho que apresenta as mesmas características deste trabalho.

As figuras 5.27 e 5.28 apresentam a configuração de colapso para o ensaio do tipo "push out" com corrugações a cada 50mm na alma do perfil metálico. Nestas fotos pode-se observar a ruptura do concreto e o descolamento total do concreto do perfil metálico. Na figura 5.29, pode-se notar que próximo a face reentrante do perfil e das corrugações houve um plano de deslizamento entre o concreto e o aço, como ocorrido com as lajes.

Push out	Carga última (kN)	Tensão cisalhante
		última(MPa)
1	51	0,24
2	44	0,21
3	41	0,19
Média	45,33	0,21
Desvio Padrão	5,13	0,025
Diferença 1 p/ 2	7	0,03
Dif. % do 1 p/ 2	15,9	14,28
Diferença 2 p/ 3	3	0,02
Dif. % do 2 p/ 3	7,31	10,52

Tabela 5.2 - Carga e tensão última do ensaio tipo "push out".



Figura 5.27 – Configuração de colapso do "push out".



Figura 5.28 - Fissura do ensaio tipo "push out".



Figura 5.29 – Visualização do descolamento do concreto do perfil metálico.

5.3. Comparação com os Resultados Obtidos por Takey [1]

A figura 5.30, apresenta o gráfico carga versus deslocamento no meio do vão referente a todos os ensaios deste trabalho (com lajes de três metros de vão e corrugações na alma do perfil cada 50 e 100mm), além dos ensaios feito por Takey [1]. No trabalho de Takey foram executados três ensaios com um perfil idêntico ao empregado neste trabalho, sendo que o primeiro ensaio foi feito com perfil liso, o segundo com conectores de parafusos auto-atarrachantes na mesa superior a cada 200mm e por fim o terceiro com conectores de parafusos auto-atarrachantes a cada 100mm.



Figura 5.30 – Comparação real dos ensaios deste trabalho com os do Takey.

Pode-se notar, na figura 5.30, que os ensaios feitos por Takey [1] são mais rígidos que os deste trabalho, em virtude da utilização de dois perfis metálicos resultando numa laje com uma largura aproximada de 1m, e cuja resistência do concreto resultante em 40MPa.

Para efeito de comparação de resultados, foi feita uma correção para menos 50% da carga do trabalho Takey [1], devido o fato deste ter utilizado dois perfis e o presente trabalho utilizada somente um perfil, ver figura 5.31.



Figura 5.31 – Comparação com redução de 50% da carga aplicada no trabalho de Takey.

Pode-se notar na figura 5.31, que os ensaios feitos por Takey [1], ainda são mais rígidos que o trabalho apresentado, em virtude da resistência do concreto ser 40MPa e a deste trabalho resultado em 25MPa.

Para melhor comparar os resultados, foi feito uma segunda correção do trabalho de Takey [1], devida a diferença de resistência dos concreto empregado, ver figura 5.32.

Foi usado um fator de correção para rigidez através da relação do módulo de elasticidade do concreto de acordo com a NBR6118. O módulo E é dada em MPa pela equação 5.4:

$$M = 0.9.6600.\sqrt{f_{ck} + 3.5} \tag{5.4}$$

Desta forma o valor da correção usada foi de:

$$Coreção = \frac{\sqrt{25+3,5}}{\sqrt{40+3,5}} = 0,809$$



Figura 5.32 - Comparação com redução de 19,1% da carga do trabalho Takey.

A tabela 5.3 mostra uma comparação entre todos os ensaios com corrugações na alma do perfil e o trabalho de Takey [1]. Pode-se notar que não houve diferença significativa em relação a rigidez para todos os ensaios da laje, quando os valores corrigidos são comparados.

Para o regime elástico até 15kN, todos os ensaios se comportaram de forma semelhante, sendo que, após esta carga os ensaios deste trabalho ficaram com maior resistência em relação ao ensaio com perfil liso, ou seja, sem conectores ou corrugações. Este aumento de resistência se deve a utilização das corrugações e da chapa lateral com mossas.

Quando compara-se o ensaio com conectores a cada 200mm com os ensaios deste trabalho, verifica-se uma grande semelhança até a carga de colapso. Isto se deve, mais uma vez, à utilização de corrugações na alma do perfil (substituindo os conectores), e à utilização da chapa lateral com mossas (substituindo o isopor e dando maior aderência química concreto/aço).

Para os ensaios com conectores a cada 100mm, a partir dos 15kN aumentou consideravelmente em relação aos ensaios deste trabalho, impossibilitando a utilização de perfil com corrugações, ou seja, sem mossas.

	EI (kN.mm2)	Carga última	Deformação
		(kN)	Máx.(mm)
Ensaio 1	1,87E+09	29	13,77
Ensaio 2	1,80E+09	31	15,31
Ensaio 3	1,72E+09	33	36,21
Liso	2,10E+09	28	29,82
Conectores c/200mm	2,13E+09	33	18,16
Conectores c/100mm	2,28E+09	56	30,97

Tabela 5.3 - Rigidez e carga de colapso para todos os ensaios.

A análise de todos estes resultados mostra que é viável a utilização do sistema estrutural apresentado neste trabalho, devido a economia de tempo, custo e trabalhabilidade em relação aos conectores e o isopor utilizado no trabalho de Takey [1].

5.4. Dinâmica (Impacto e Vibrações)

De modo geral, a vibração excessiva em pisos de edificações é bastante desagradável. Além disso, quando as excitações dinâmicas não são devidamente consideradas no dimensionamento do sistema estrutural, podem surgir problemas estruturais sérios, além do desconforto humano. Neste trabalho, alguns critérios simplificados são abordados, resumidamente, de forma a se levar em conta os efeitos dinâmicos percebidos por seres humanos.

No trabalho de pesquisa realizado, foram calculadas as frequências naturais associadas ao sistema estrutural desenvolvido e, em seguida, estes valores foram comparados com os limites propostos pela norma brasileira, NBR8800/1986 [6]. Na seqüência do texto, objetivando contribuir com informações técnicas sobre o assunto em questão, associado ao problema de vibrações excessivas em pisos de edificações, são feitos alguns comentários acerca de determinados limites impostos pela NBR8800/1986 [6].

Inicialmente, são apresentados na figura 5.33 limites de desconforto causados por vibrações em pisos de edificações residenciais, escolares e convencionais, devido ao caminhar de pessoas. A norma NBR8800/1986 [6] apresenta esses limites em função da aceleração de pico. Para os seres humanos, este limite varia em função da faixa de frequências entre 2Hz e 8Hz, na qual estes são mais sensíveis à vibração. Neste caso específico, o limite corresponde a

aproximadamente 0,5% da aceleração da gravidade "g". O limite de percepção definido de acordo com recomendações da NBR8800/1986 [6], mostrado na figura 5.35, pode ser usado como uma aproximação para um limite de desconforto de projeto, nos casos de residências, escolas e escritórios.



Figura 5.33 - Limites de desconforto causado por vibrações em pisos de edificações residenciais, escolares e comerciais, devido ao caminhar de seres humanos.

5.4.1. Considerações da NBR8800/1986 [8]

O texto a seguir apresenta como referência base a norma brasileira NBR8800/1986 [6], em seu anexo N.

No caso de pisos, pode-se utilizar o método da viga equivalente, mencionado na NBR8800 acima citada, para uma avaliação da freqüência natural destes. No caso do sistema estrutural ser simulado por uma faixa de uma viga biapoiada, com massa distribuída ao longo do vão da viga, tem-se a freqüência fundamental do piso dada por:

$$f_{01} = 1.57 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$$
(5.1)

Onde E é o módulo de elasticidade do material, I é o momento de inércia da seção em questão (seção da laje), L é o vão da laje e m é a massa da laje equivalente, por unidade de comprimento.

A NBR 8800 sugere evitar pisos de edificações com freqüências naturais menores que 5Hz submetidos a atividades humanas que possam causar vibrações exerssivas. Para pisos sujeitos a atividades rítmicas, tais como: dança e ginástica aeróbica, onde o impacto rítmico pode ocorrer a cada dois ciclos de vibração, deve-se evitar freqüências inferiores à 10Hz.

Percebe-se através da figura 5.33 que o limite de projeto de acelerações se eleva com o aumento do amortecimento. O limite de desconforto para um amortecimento de 12% é aproximadamente 10 vezes maior que o limite correspondente a 3% de amortecimento. Isto se deve ao fato do ser humano achar vibrações de longa duração muito mais desconfortáveis do que as vibrações de curta duração.

Vibrações contínuas causadas por atividades humanas podem ser um problema para os pisos residenciais leves ou para pisos com grandes vãos, utilizados para fins especiais, tais como dança ou esportes. Seres humanos sozinhos ou em grupo podem criar forças periódicas com freqüência na faixa de 1Hz a 4Hz aproximadamente, e, portanto, para tais atividades, freqüências naturais de pisos menores que 5Hz devem ser evitadas.

Vibrações indesejáveis devido ao impacto do caminhar de seres humanos podem ocorrer em sistemas de pisos com pouco amortecimento, em residências, escolas, escritórios e ocupações similares.

As vigas mistas ou não, mais sensíveis, têm geralmente vãos de 7,5m a 20m e freqüências na faixa de 4Hz a 15Hz. Para tais pisos, as divisórias, se localizadas adequadamente, proporcionam amortecimento mais do que suficiente para evitar vibrações excessivas. Por outro lado, as vibrações transientes podem ser um problema para pisos sem divisórias e com baixo amortecimento inerente, como é o caso da construção mista.

Para se avaliar a aceitabilidade de uma determinada vibração, é necessário o conhecimento da freqüência fundamental da estrutura, do amortecimento e da aceleração de pico devido ao impacto do calcanhar dos seres humanos. Como estes dados não foram obtidos de forma experimental, através dos ensaios realizados, estes parâmetros devem ser calculados segundo a NBR 8800/1986 [6].

5.4.2. Obtenção da Freqüência Fundamental da Estrutura Segundo a NBR 8800/1986 [8]

A freqüência fundamental da estrutura em Hertz (Hz) pode ser estimada, de acordo com a NBR 8800/1986 [6] considerando-se ação mista de interação total, mesmo para construções não mistas. Para um sistema simplesmente apoiado, com vigas em uma só direção, a freqüência f_{01} é dada em Hz pela equação 5.1:

$$f_{01} = 1.57 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$$
(5.1)

Para um fck = 25 MPa

$$f_{01} = 1,57 \sqrt{\frac{2,05 \times 10^{11} \times 3,531 \times 10^{-6}}{248,38.2,8^4}} = 10,81 \text{Hz}$$

Onde

 f_{01} = freqüência fundamental da estrutura (Hz)

 $E = m \acute{o} du lo de elasticidade do aço (E = 2,05 x 10⁵ MPa)$

 I_{tr} = momento de inércia da seção transformada (concreto transformado em aço), considerando a largura efetiva do concreto igual ao espaçamento entre vigas (m⁴)

$$I_{tr} = 3,531 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

L = vão da viga (m) (L = 2,8m)

m = massa da seção mista considerada, por unidade de comprimento, ao longo do vão (kg). (m = 248,38kg/m)

O resultado obtido referente à freqüência fundamental do sistema estrutural em estudo, ($f_{01} = 10,81$ Hz), para os dados imediatamente acima descritos, corresponde a um valor superior ao mínimo proposto pela NBR8800/1986 [8] que é igual a 5,0 Hz.

Na sequência do texto, apresenta-se na figura 5.34 o valor da frequência fundamental do modelo estrutural em estudo. Para tal, considera-se uma variação do vão da laje de acordo com a faixa de utilização de 2,0m a 4,5m.



Figura 5.34 – Frequência por unidade de comprimento variando de 2 a 4,5m.

Como era de se esperar, analisando-se os resultados obtidos foi constatado que quanto maior o comprimento da laje, menor será sua a freqüência fundamental. Para as características do sistema estrutural desenvolvido neste trabalho, os valores encontrados para a freqüência fundamental do modelo são considerados satisfatórios para uma faixa de comprimentos de vão da ordem de 2m a 3,8m, de acordo com recomendações da norma brasileira, NBR8800/1986 [NBR86].

Considerando-se o modelo desenvolvido por Takey [1], verifica-se que este apresentou uma frequência fundamental da ordem de 6Hz, para um vão de 3m.

Ressalta-se que, o sistema estrutural proposto na presente investigação apresentou uma frequência fundamental da ordem de 9Hz, indicando que o mesmo possui uma probabilidade menor de apresentar problemas de vibração excessiva conforme a norma, NBR8800/1986 [6].