

9.1**Considerações iniciais**

Neste capítulo, verifica-se o comportamento dinâmico de pisos mistos submetidos a excitações dinâmicas rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade), considerando os regimes de interação total e parcial existentes entre a laje de concreto e a viga de aço, no que tange ao desconforto ocasionado pelas vibrações.

Para tanto, foram realizadas análises de vibração forçada por meio do programa computacional Ansys [55]. Os resultados das análises de vibração forçada foram obtidos em termos de deslocamentos translacionais verticais e das acelerações de pico, provenientes da aplicação do modelo de carregamento II, descrito no capítulo 4, conforme a equação (4.9), como excitação dinâmica sobre o modelo computacional III (modelo com elementos sólidos Figura 6.13).

Em seguida, a fim de se verificar quantitativa e qualitativamente os resultados obtidos, segundo a metodologia proposta, as acelerações críticas (aceleração de pico) do modelo foram comparadas com os valores admissíveis sob o ponto de vista associado ao conforto humano. Desse modo, foram tomadas como base algumas recomendações técnicas disponíveis sobre a questão, a saber, ISO 2631 [70] e AISC [53]

A literatura técnica disponível sobre o assunto, ISO 2631 [70] e AISC [53] especifica uma série de valores-limite para a aceleração, no que diz respeito ao conforto humano. Esses valores são expressos, de forma geral, em função da aceleração da gravidade ($g = 9,81\text{m/s}^2$) e em termos percentuais (%g).

Não podemos deixar de mencionar que o valor da aceleração de pico é particularmente válido para indicação de impactos de curta duração, porém indicam somente a ocorrência do pico, não levando em consideração o histórico no tempo da onda. Por outro lado a aceleração em RMS (*Root Mean Square*) é uma medida mais relevante pois leva em consideração o histórico no tempo da onda e dá um valor de nível o qual é diretamente relacionado à média de energia contida no movimento vibratório.

9.2 Estudo do comportamento geral

Nesta seção, analisa-se o comportamento dinâmico do modelo estrutural investigado, associado a um piso misto aço-concreto, a partir da aplicação do modelo de carregamento II, descrito no capítulo 4 pela equação (4.9). Essa equação expressa uma função matemática utilizada para simular carregamentos rítmicos (ginástica aeróbica e saltos à vontade) induzidos por seres humanos. Esse modelo de carregamento foi desenvolvido em conformidade com os dados experimentais obtidos por Faisca [9].

Primeiramente, simulou-se a atividade rítmica referente a uma e a três pessoas, conforme as Figuras 9.1 e 9.2, para o estudo do comportamento geral de pisos mistos aço-concreto, obedecendo à taxa de ocupação de 0,25 pessoas/m² [119].

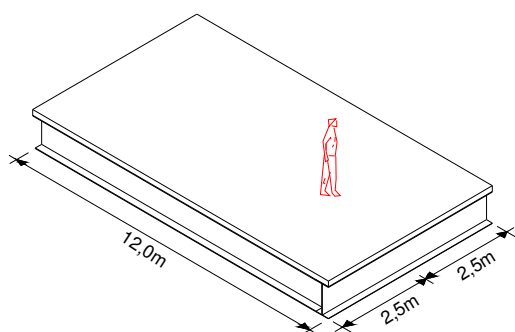


Figura 9.1 – Perspectiva referente a uma pessoa em atividade.

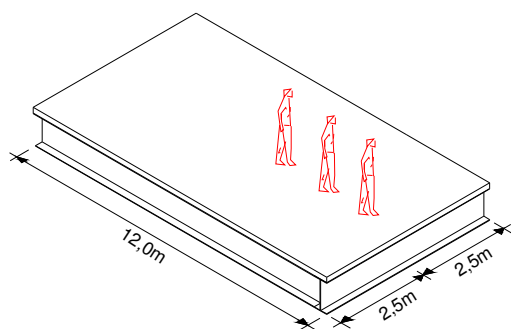


Figura 9.2 – Perspectiva referente a três pessoas em atividade.

Foram utilizados os seguintes parâmetros representativos da carga: $T_c = 0,34s$, $T_s = 0,10s$, $K_p = 2,78$, para ginástica aeróbica, e $T_c = 0,32s$, $T_s = 0,10s$, $K_p = 3,17$, para saltos à vontade. O valor do coeficiente de defasagem (CD) foi modificado de acordo com o número de pessoas sobre o piso misto aço-concreto

e de acordo com o tipo de atividade realizada (ginástica aeróbica e saltos à vontade).

A taxa de amortecimento utilizada foi a obtida a partir de ensaios experimentais realizados por OLIVEIRA [38] (1º modo – $\xi=0,95\%$ e 2º modo – $\xi=1,06\%$). Além disso, o intervalo de integração foi de 0,002s ($\Delta t = 0,002s$), o qual atende convenientemente às características dinâmicas dos modelos e à representação dos carregamentos propostos.

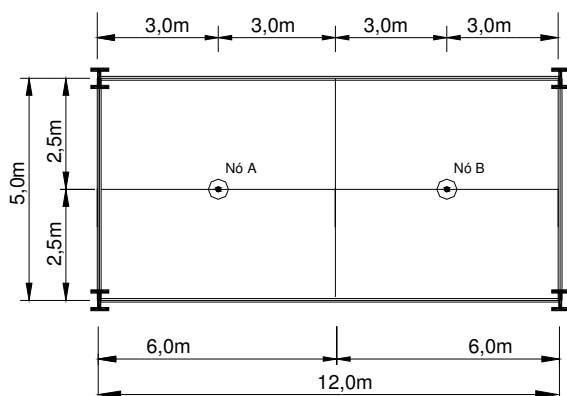


Figura 9.3 – Modelo genérico do piso misto aço-concreto investigado.

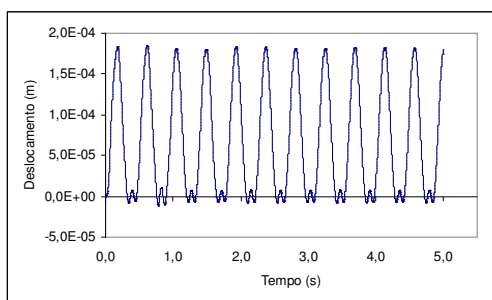
Em seguida, nos pontos A e B (Figura 9.3), obtiveram-se as respostas em termos de deslocamentos translacionais verticais e aceleração para o modelo de piso misto aço-concreto tanto no regime de interação total quanto no parcial.

Na seção a seguir, apresentam-se os resultados obtidos ao longo das análises de vibração forçada, as quais foram realizadas para o modelo estrutural de piso misto aço-concreto, modelo computacional III (modelo com elementos sólidos Figura 6.13), segundo os regimes de interação total e parcial existentes entre a laje de concreto e a viga de aço.

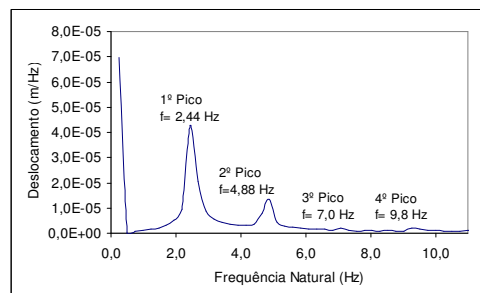
9.2.1 Interação total *versus* interação parcial

A partir da aplicação do modelo de carregamento II, descrito no capítulo 4 pela equação (4.9), como excitação dinâmica sobre o modelo estrutural de piso misto aço-concreto (modelo com elementos sólidos Figura 6.13), puderam-se obter as respostas em termos de deslocamento e aceleração nos pontos A e B (Figura 9.3).

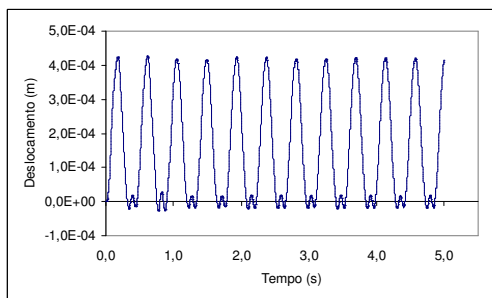
Esses sinais foram representados tanto no domínio do tempo quanto no da frequência pelas Figuras 9.4 a 9.11, considerando a interação total existente entre a laje de concreto e a viga de aço.



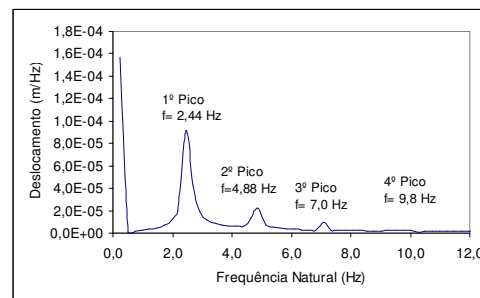
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

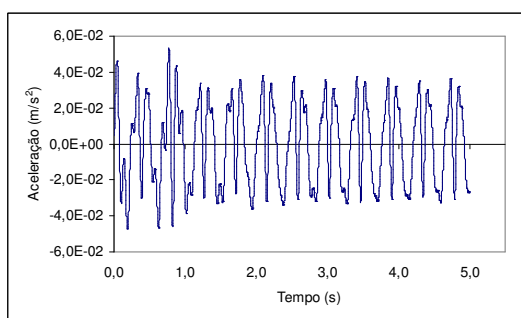


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

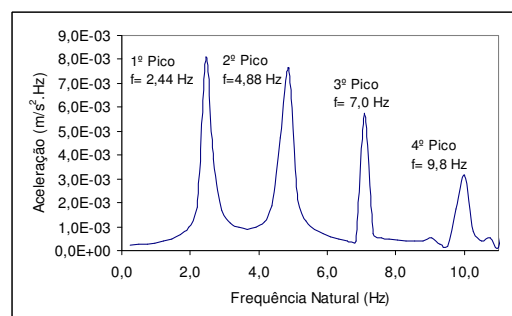


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

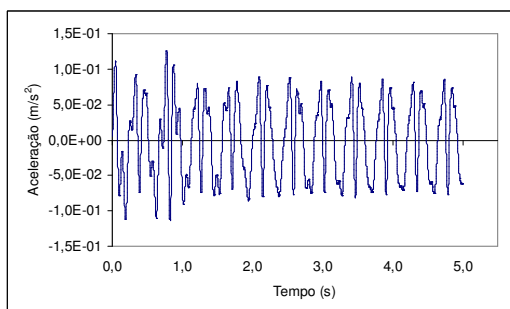
Figura 9.4 – Deslocamento referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (ginástica aeróbica – interação total).



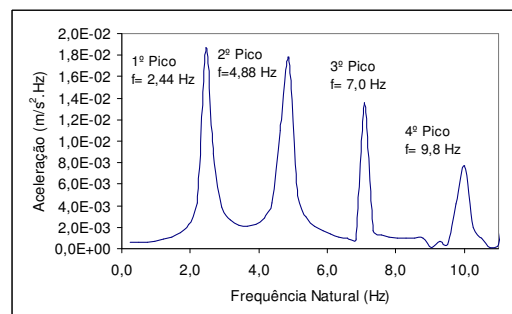
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

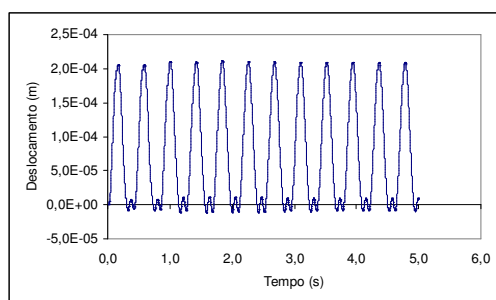


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

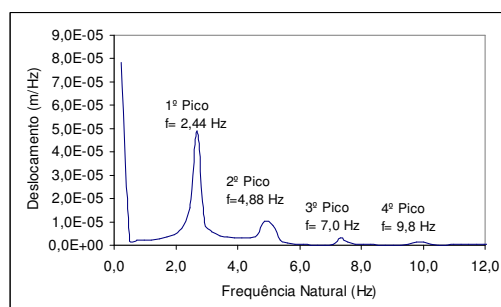


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

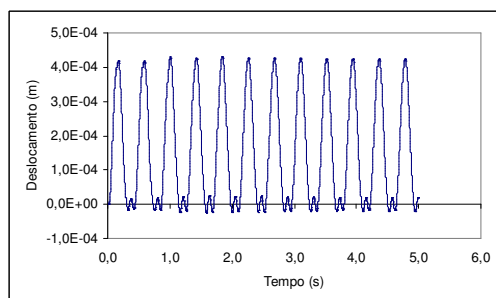
Figura 9.5 – Aceleração referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (ginástica aeróbica – interação total).



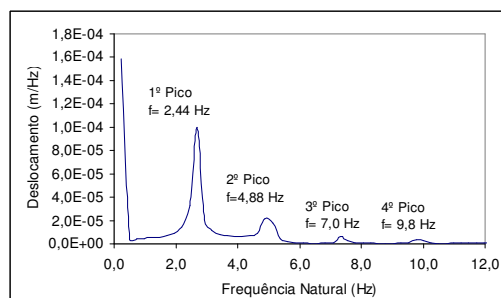
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

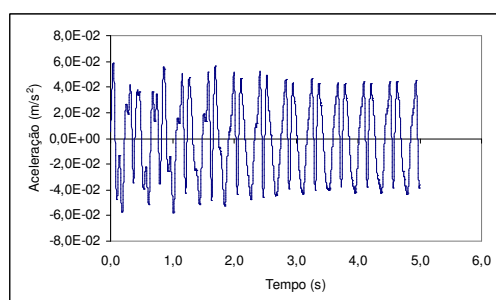


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

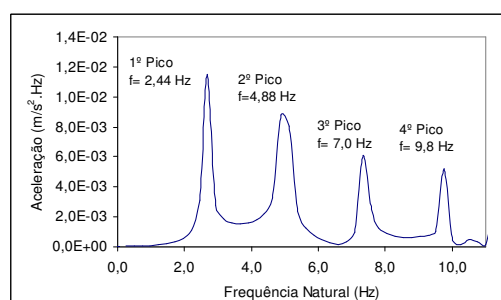


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

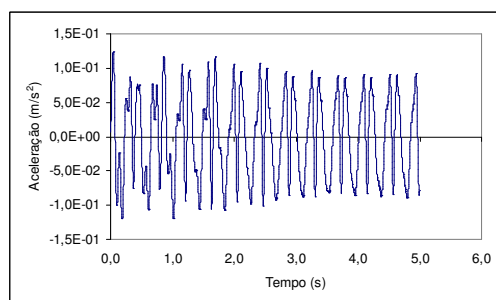
Figura 9.6 – Deslocamento referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (saltos à vontade – interação total).



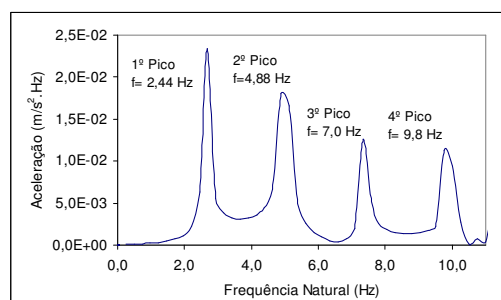
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

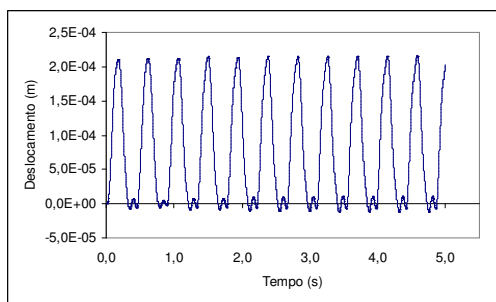


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

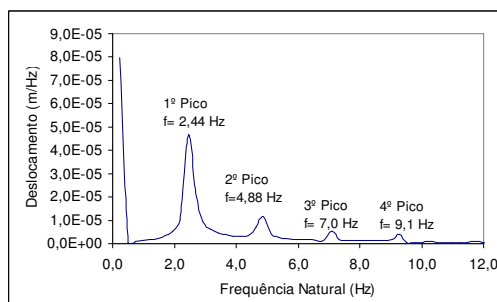


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

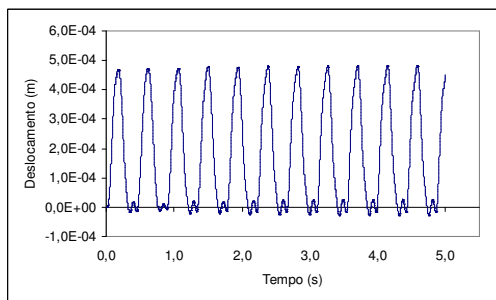
Figura 9.7 – Aceleração referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (saltos à vontade – interação total).



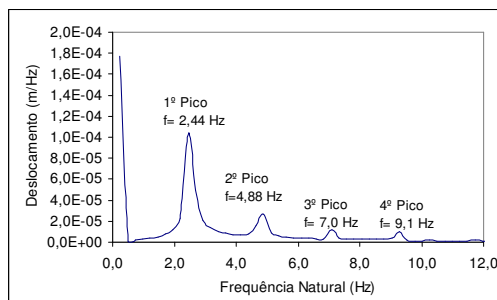
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

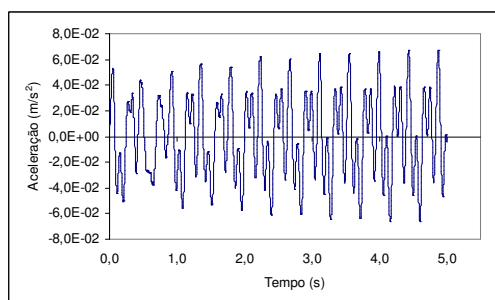


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

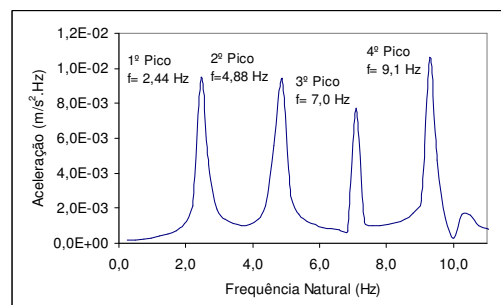


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

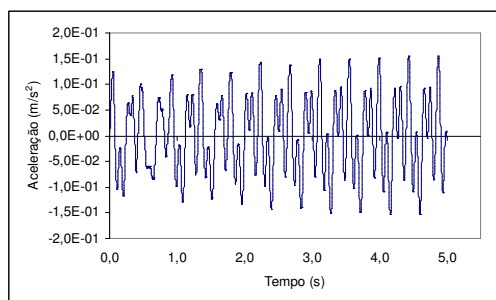
Figura 9.8 – Deslocamento referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (ginástica aeróbica – interação parcial).



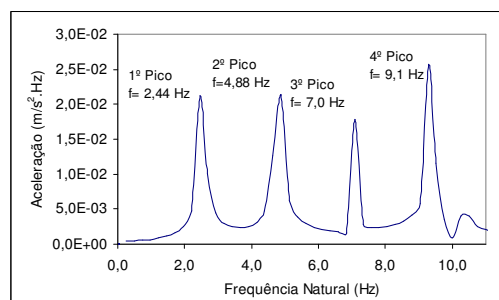
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

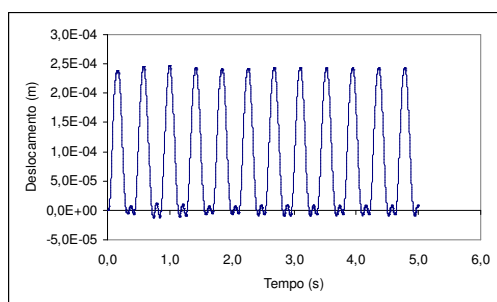


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

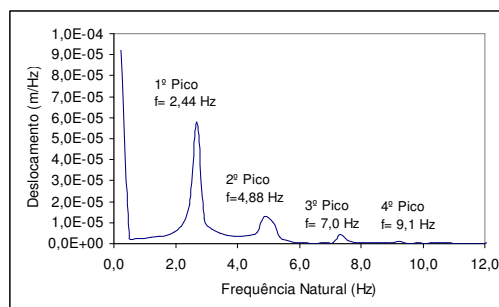


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

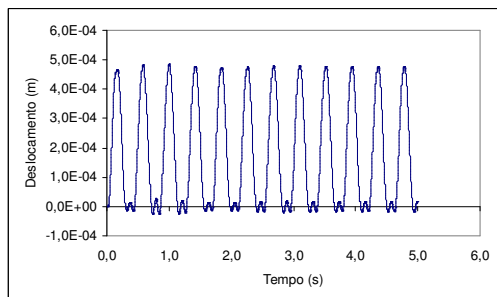
Figura 9.9 – Aceleração referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (ginástica aeróbica – interação parcial).



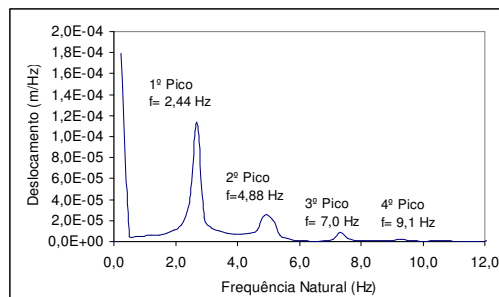
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)

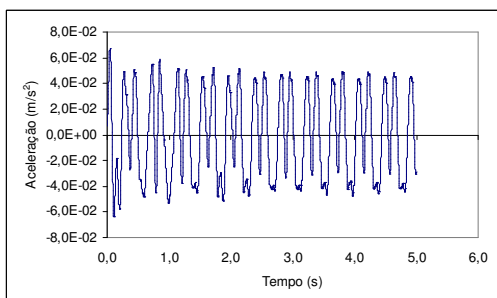


c) Domínio do tempo (3 pessoas)

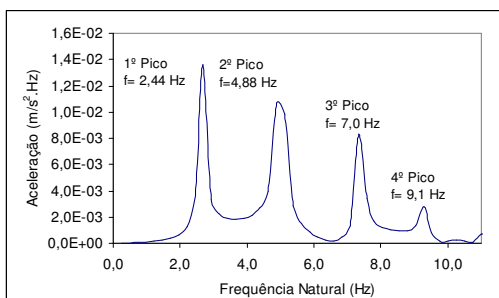


d) Domínio da frequência (3 pessoas)

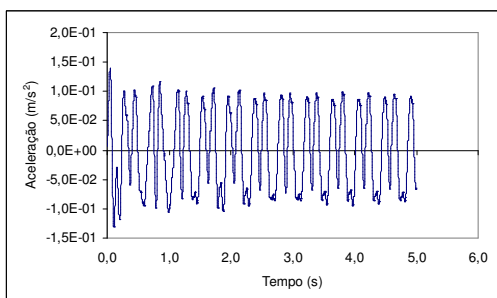
Figura 9.10 – Deslocamento referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (saltos à vontade – interação parcial).



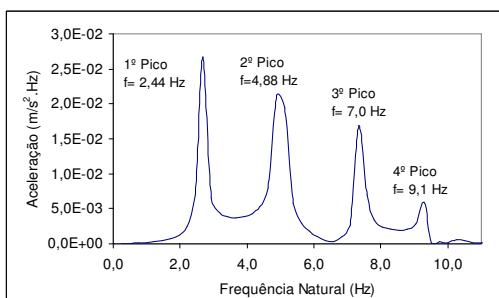
a) Domínio do tempo (1 pessoa)



b) Domínio da frequência (1 pessoa)



c) Domínio do tempo (3 pessoas)



d) Domínio da frequência (3 pessoas)

Figura 9.11 – Aceleração referente ao ponto A e B (Figura 9.3). Domínio do tempo e da frequência (saltos à vontade – interação parcial).

Em relação aos gráficos apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11, relativos a resposta da estrutura no domínio do tempo e da frequência, pode-se concluir os seguintes aspectos a saber:

a) Os sinais no domínio do tempo (Figuras 9.4 a 9.11), em termos de deslocamento translacional vertical e aceleração, apresentaram um trecho relativamente curto, da ordem de 1,0s, correspondente à fase transiente da resposta. Nesse trecho, alguns picos foram um pouco mais elevados, mas seu valor foi amortecido ao longo do tempo, e a fase permanente da resposta dos modelos foi rapidamente alcançada.

b) Pelos resultados obtidos nos gráficos das Figuras 9.4 a 9.11, os valores do deslocamento translacional vertical e da aceleração de pico cresceram à medida que o número de pessoas praticando atividades dinâmicas rítmicas aumentou, conforme esperado. Portanto, os efeitos dinâmicos causados por um grupo de pessoas em atividade devem ser levados em conta no projeto de estruturas desse tipo.

c) Nas análises dos gráficos apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11, percebeu-se que os três primeiros picos correspondem aos três harmônicos da excitação ($f=2,4\text{Hz}$, $f=4,88\text{Hz}$ e $f=7,0\text{Hz}$). Entretanto, os picos referentes à frequência fundamental dos modelos em regimes de interação total ($f_{01}=9,77\text{Hz}$) e parcial ($f_{01}=9,07\text{Hz}$), quarto pico dos gráficos, é também um dos principais responsáveis pela transferência de energia do sistema.

d) De forma geral, deve-se ressaltar que a análise no domínio da frequência e do tempo do piso misto aço-concreto investigado neste trabalho apresenta o mesmo quadro para todos os casos estudados ao longo desta tese. Dessa forma, como os gráficos apresentam a fase permanente da resposta ao longo de todo o período de aplicação da carga não serão aqui obtidos os valores das acelerações em rms (*root mean square*) e sim somente das acelerações de pico pois, os valores de pico de aceleração ocorrem a maior parte do tempo.

9.3 Estudo paramétrico

9.3.1 Efeito do número de pessoas sobre o piso

9.3.1.1 Introdução

Nesta seção, o comportamento dinâmico do modelo estrutural em estudo (piso misto) foi avaliado a partir da consideração de casos de carregamentos distintos, correspondentes a um número maior de pessoas (1, 3, 6, 9 e 12 pessoas) que pratica ginástica aeróbica e saltos à vontade sobre o piso misto (Figura 6.13), obedecendo a uma taxa de ocupação de $0,25 \text{ pessoas/m}^2$ [30]

Assim, o modelo de carregamento II, descrito no capítulo 4 pela equação (4.9), foi empregado para a representação da excitação dinâmica. Em se tratando dos parâmetros associados a este modelo, manteve-se constante o coeficiente de impacto para a ginástica aeróbica ($K_p = 2,78$) e saltos à vontade ($K_p = 3,17$). O período sem contato ($T_s = 0,10\text{s}$) também foi o mesmo para as duas atividades citadas. Já o período de contato (T_c), para a ginástica aeróbica, foi de $0,34\text{s}$ e, para os saltos à vontade, foi de $0,32\text{s}$. Por outro lado, o coeficiente de defasagem (CD) variou em função do número de pessoas e do tipo de atividade realizada. Nos pontos A e B apresentados na Figura 9.3, obtiveram-se as respostas em termos de deslocamento e aceleração para o modelo de piso misto tanto no regime de interação total quanto no parcial. As Figuras 9.12 a 9.16 demonstram os casos de carga desenvolvidos para a análise proposta.

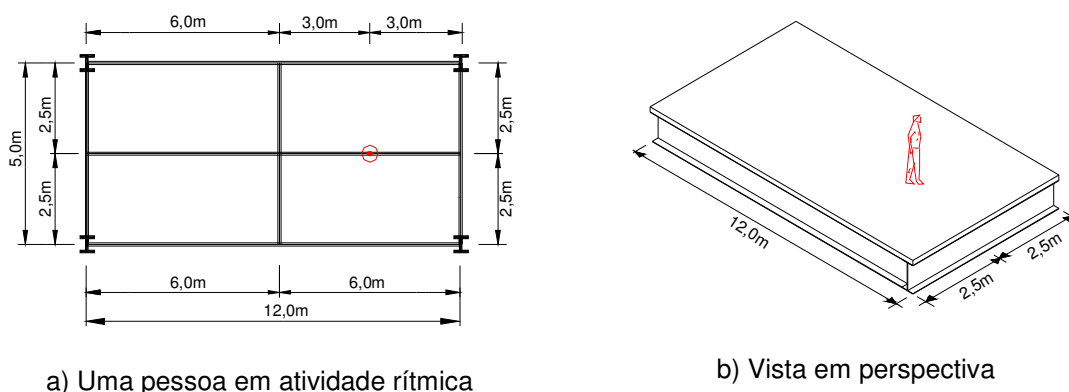
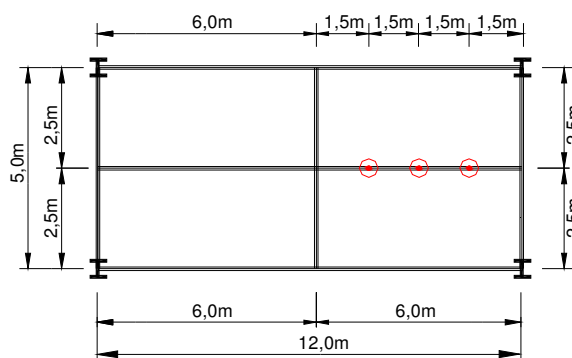
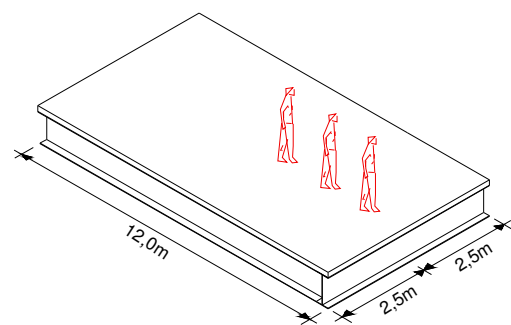


Figura 9.12 – Caso de carga 1.

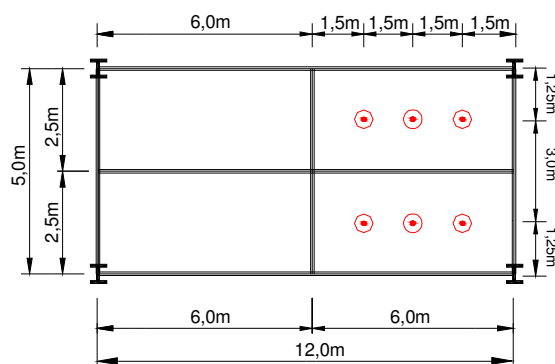


a) Três pessoas em atividade rítmica

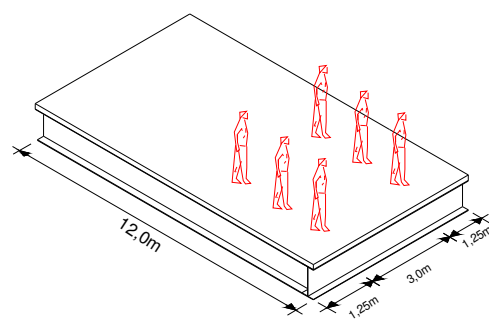


b) Vista em perspectiva

Figura 9.13 – Caso de carga 2.

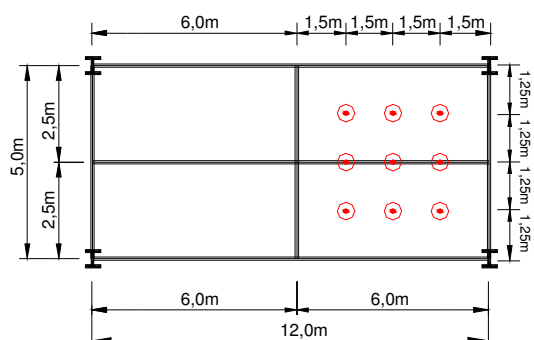


a) Seis pessoas em atividade rítmica

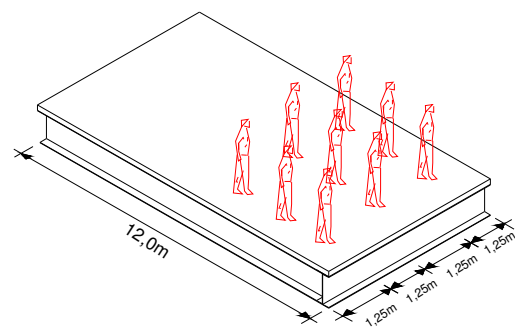


b) Vista em perspectiva

Figura 9.14 – Caso de carga 3.

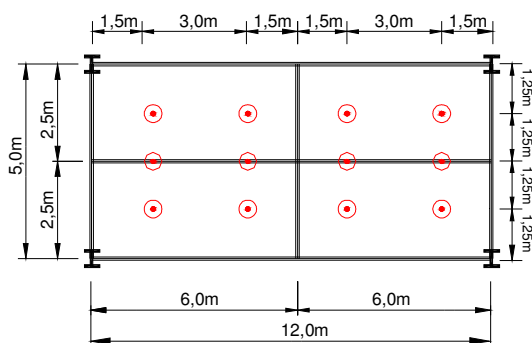


a) Nove pessoas em atividade rítmica

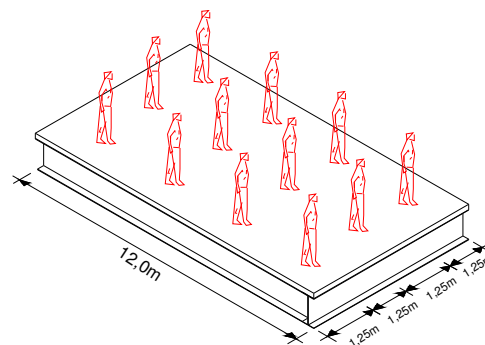


b) Vista em perspectiva

Figura 9.15 – Caso de carga 4.



a) Doze pessoas em atividade rítmica



b) Vista em perspectiva

Figura 9.16 – Caso de carga 5.

Os sinais de força no domínio do tempo e da frequência obtidos para estas análises, segundo alguns casos de carga (casos 3, 4 e 5), não foram apresentados por não possuírem mudanças significativas em seu comportamento quando comparados com os sinais apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11. De maneira geral, esses sinais são bastante semelhantes, variando apenas as amplitudes em termos de pico de aceleração devido à quantidade de pessoas que realizam as atividades rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade) sobre o modelo de piso misto aço-concreto (Figura 6.13).

Dessa forma, como os gráficos apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11 apresentam a fase permanente da resposta a maior parte do tempo, não serão aqui obtidos os valores das acelerações em rms (*root mean square*) mas sim as acelerações de pico, pois os valores de pico de aceleração ocorrem a maior parte do tempo.

9.3.1.2

Avaliação das acelerações de pico

Prosseguindo com as análises, nas Tabelas 9.1 e 9.2 são apresentados os valores das acelerações de pico obtidas nos pontos A e B (Figura 9.3), segundo a variação do número de pessoas sobre o modelo estrutural de piso misto aço-concreto segundo regime de interação parcial e total.

Os resultados da aceleração de pico (ap) obtidos nos pontos A e B (Figura 9.3) são comparados com o valor-limite recomendado para áreas sujeitas a atividades rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade). Esses limites de aceleração proposto pelo guia prático do AISC [53] associado ao conforto humano, são obtidos a partir de fatores multiplicadores baseado na curva base

da ISO 2631/2 [70]. Esses fatores multiplicadores (Tabela 3.5), são estabelecidos em função do tipo de ocupação, do período de tempo e do tipo de vibração.

Tabela 9.1 – Aceleração de pico em função da variação do número de pessoas.

Caso de carga	Interação total – a_p (m/s ²)				Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Ginástica aeróbica (T _c =0,34)		Saltos à vontade (T _c =0,32)		
	Ponto A	Ponto B	Ponto A	Ponto B	
Caso 1	0,053	0,026	0,058	0,033	0,5
Caso 2	0,125	0,073	0,123	0,072	
Caso 3	0,207	0,131	0,179	0,109	
Caso 4	0,325	0,200	0,268	0,160	
Caso 5	0,181	0,184	0,152	0,153	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas.					

Tabela 9.2 – Aceleração de pico em função da variação do número de pessoas.

Nº de pessoas	Interação parcial – a _p (m/s ²)				Limite recomendado* AISC [53], (m/s ²)
	Ginástica aeróbica (T _c =0,34)		Saltos à vontade (T _c =0,32)		
	Ponto A	Ponto B	Ponto A	Ponto B	
1	0,067	0,040	0,066	0,029	0,5
3	0,154	0,099	0,138	0,063	
6	0,276	0,181	0,204	0,101	
9	0,422	0,275	0,303	0,145	
12	0,187	0,190	0,160	0,162	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas.					

Em relação aos valores da aceleração de pico encontrados ao longo das análises, de acordo com o caso de carga considerado (Tabela 9.1 e 9.2), pode-se concluir:

a) Por meio da comparação entre o caso de carga I, o qual considera apenas um indivíduo que realiza atividade aeróbica sobre o painel do piso misto (Figura 9.12), e os casos de carga 2, 3, 4 e 5 (Figuras 9.13 a 9.16), os quais consideram três, seis, nove e doze pessoas, respectivamente, observa-se que os valores da aceleração de pico aumentam drasticamente à medida que se aumenta o número de indivíduos que realiza atividade rítmica sobre o modelo de piso misto

investigado nesta tese. Portanto, a quantidade de pessoas que compõem o carregamento afeta, de forma significativa, a resposta dinâmica do piso analisado. Dessa forma, o número de pessoas que pratica atividades rítmicas deve ser levado em conta no projeto de estruturas desse tipo, no que diz respeito aos estados-limite de utilização (vibração excessiva).

b) Os valores mais elevados de aceleração foram obtidos na atividade associada à ginástica aeróbica, de acordo com as Tabelas 9.1 e 9.2. Tal fato ocorreu em todos os casos de carga investigados. Explica-se essa diferença pelo fato de que a ginástica aeróbica é uma atividade mais sincronizada do que a atividade de saltos à vontade.

c) No que tange ao modelo de carregamento II, o valor máximo de aceleração encontrado foi da ordem de 0,42, associado à ginástica aeróbica com o piso em regime de interação parcial. Contudo, esse valor é da ordem de 0,30, referente ao mesmo modelo de piso misto aço-concreto, quando a atividade se refere a saltos à vontade. Esses valores estão muito próximos do limite permitido pelo guia prático do AISC [53].

d) Convém destacar que os valores da aceleração de pico, obtidos a partir da atuação de nove pessoas sobre os pisos e representativos de ações dinâmicas oriundas de atividades de ginástica aeróbica e saltos à vontade, são superiores àqueles obtidos com base no emprego de doze pessoas (Tabelas 9.1 e 9.2). Tal fato ocorreu em virtude da superposição dos modos de vibração, pois, no caso associado a doze pessoas, as ações dinâmicas estão mais distribuídas ao longo de todo o piso, conforme a relação de 0,25 pessoas/m² [30]. Já no caso de nove pessoas, somente um lado do piso é ocupado. Dessa forma, existe uma interação maior entre a excitação dinâmica proveniente do caso de carregamento associado a nove pessoas (Figura 9.15).

e) As acelerações de pico obtidas com o piso em regime de interação parcial foram sempre superiores quando comparadas ao modelo de piso misto aço-concreto em interação total. Isso demonstra que a variação do número de conectores na interface laje e viga influenciam diretamente a resposta dinâmica estrutural, o que deve ser considerado no projeto de estruturas deste tipo.

f) Em termos do comportamento geral, todas as acelerações máximas (aceleração de pico) na fase permanente foram inferiores ao limite especificado nas normas e recomendações de projetos ($a_{lim} = 0,5m/s^2$), AISC [53]. Assim, constatou-se que o sistema estrutural investigado, em função dos parâmetros considerados e do carregamento dinâmico aplicado, certamente não apresentará problemas referentes ao conforto humano para atividades rítmicas, de acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 9.1 e 9.2.

9.3.2

Variação do período de contato

9.3.2.1

Generalidades

Prosseguindo com o estudo, o comportamento dos pisos foi avaliado para diferentes valores do período de contato (T_c). Como os dados disponíveis são experimentais, o procedimento adotado foi realizar análises utilizando o valor médio, o valor médio mais o desvio-padrão e o valor médio menos o desvio-padrão.

Esses valores são apresentados na Tabela 4.4 e correspondem a atividades rítmicas, tais como a ginástica aeróbica e os saltos à vontade. Para estudar o comportamento dos pisos a partir da variação do período de contato, foram mantidos constantes outros parâmetros da carga, como, por exemplo, o coeficiente de impacto ($K_p = 2,78$ para a ginástica aeróbica e $K_p = 3,17$ para os saltos à vontade) e o período sem contato ($T_s = 0,10s$). Já o valor do coeficiente de defasagem (CD) variou de acordo com o número de pessoas em atividade, conforme o tipo de atividade.

Novamente, os sinais de força no domínio do tempo e da frequência obtidos para estas análises, segundo os casos de carga considerados, não foram aqui relatados, haja vista que não possuíram mudanças significativas em seu comportamento quando comparados com os sinais apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11. De maneira geral, esses sinais são bastante semelhantes à medida que variam apenas as amplitudes em termos de pico de aceleração, devido à variação do período de contato da pessoa com a estrutura. Desta forma, como os gráficos apresentados apresentam a fase permanente da resposta a maior parte do tempo, não serão aqui obtidos os valores das

acelerações rms (*root mean square*) mas sim as acelerações de pico pois, os valores de pico de aceleração ocorrem a maior parte do tempo.

9.3.2.2

Avaliação das acelerações de pico

Os resultados da aceleração de pico obtidos nos pontos A e B (Figura 9.3) são apresentados nas Tabelas 9.3 a Tabela 9.5, para os diferentes valores do período de contato, juntamente com o valor-limite recomendado para áreas sujeitas a atividades rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade).

Os limites de aceleração desse guia prático (AISC [53]) associados ao conforto humano, são obtidos a partir de fatores multiplicadores baseado na curva base da ISO 2631/2 [70]. Esses fatores multiplicadores dos limites de vibração (Tabela 3.5), são estabelecidos em função do tipo de ocupação, do período de tempo e do tipo de vibração

Tabela 9.3 – Aceleração de pico em função da variação do período de contato (ginástica aeróbica).

Nº de pessoas	Interação total						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Ginástica aeróbica a _p (m/s ²)						
	T _c =0,25		T _c =0,34		T _c =0,43		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,11	0,05	0,05	0,02	0,03	0,01	0,5
3	0,25	0,14	0,12	0,07	0,07	0,04	
6	0,41	0,26	0,20	0,13	0,12	0,07	
9	0,65	0,40	0,32	0,20	0,19	0,10	
12	0,39	0,39	0,18	0,18	0,11	0,11	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.4 – Aceleração de pico em função da variação do período de contato (saltos à vontade).

Nº de pessoas	Interação total						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Saltos à vontade a _p (m/s ²)						
	T _c =0,23		T _c =0,32		T _c =0,41		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,14	0,07	0,05	0,03	0,03	0,01	0,5
3	0,30	0,17	0,12	0,07	0,08	0,03	
6	0,43	0,26	0,17	0,10	0,11	0,05	
9	0,65	0,38	0,26	0,16	0,17	0,08	
12	0,34	0,34	0,15	0,15	0,09	0,09	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.5 – Aceleração de pico em função da variação do período de contato (ginástica aeróbica).

Nº de pessoas	Interação parcial						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Ginástica aeróbica a _p (m/s ²)						
	T _c =0,25		T _c =0,34		T _c =0,43		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,13	0,07	0,06	0,04	0,03	0,01	0,5
3	0,32	0,17	0,15	0,09	0,08	0,03	
6	0,53	0,30	0,27	0,18	0,13	0,06	
9	0,84	0,46	0,42	0,27	0,21	0,10	
12	0,39	0,40	0,18	0,19	0,11	0,12	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.6 – Aceleração de pico em função da variação do período de contato (saltos à vontade).

Nº de pessoas	Interação parcial						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Saltos à vontade a _p (m/s ²)						
	T _c =0,23		T _c =0,32		T _c =0,41		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,23	0,14	0,06	0,02	0,04	0,01	0,5
3	0,47	0,31	0,13	0,06	0,09	0,04	
6	0,72	0,50	0,20	0,10	0,13	0,06	
9	1,06	0,72	0,30	0,14	0,19	0,09	
12	0,38	0,39	0,16	0,16	0,10	0,10	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

No que se refere aos valores da aceleração de pico encontrados ao longo das análises, de acordo com o caso de carga considerado (Tabelas 9.3 à 9.6), pode-se concluir:

a) De acordo com as Tabelas 9.3 a 9.6, as acelerações máximas (aceleração de pico) foram obtidas para os casos de período de contato igual a 0,25 ($T_c = 0,25s$), conforme esperado, o que se refere a atividades rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade) mais intensas.

b) No regime de interação total e parcial, considerando os aspectos de conforto humano, a partir dos resultados apresentados nas Tabelas 9.3 a 9.6, no que se refere ao período de contato igual a 0,34s ($T_c = 0,34s$) e 0,43s ($T_c = 0,43s$) para ginástica aeróbica e 0,32s ($T_c = 0,32s$) e 0,41s ($T_c = 0,41s$) para saltos à vontade, o limite do guia prático, AISC [53], não foi ultrapassado em qualquer situação. Entretanto, no caso do período de contato igual a 0,25s ($T_c = 0,25s$) para ginástica aeróbica e 0,23s ($T_c = 0,23s$) para saltos à vontade, o limite previsto, AISC [53], foi ultrapassado ligeiramente apenas para o carregamento referente a seis e nove pessoas. Portanto, esse sistema estrutural de piso misto (aço-concreto) em regime de interação parcial e total é perfeitamente adequado para atividades menos intensas ($T_c = 0,43s$ e $T_c = 0,34s$).

c) As acelerações de pico obtidas com o piso em regime de interação parcial foram superiores quando comparadas ao modelo de piso misto aço-concreto em interação total. Isso demonstra que a variação do número de conectores na interface laje e viga influenciam diretamente a resposta dinâmica estrutural, mesmo considerando a variação do período de contato da pessoa com a estrutura.

d) No que tange ao modelo de carregamento II, o valor máximo de aceleração encontrado foi da ordem de 0,84, associado à ginástica aeróbica com o piso em regime de interação parcial. Contudo, esse valor é da ordem de 1,06, referente ao mesmo modelo de piso misto aço-concreto, quando a atividade se refere a saltos à vontade. Esses valores estão acima do limite permitido pela norma, AISC [53].

9.3.3

Variação do coeficiente de impacto

9.3.3.1

Introdução

Nesta seção, avaliou-se o comportamento de pisos mistos aço-concreto a partir da variação do coeficiente de impacto (K_p), para a atividade aeróbica e os saltos à vontade. Nesta análise, foram adotados os três valores de período de contato ($T_c = 0,25s$, $0,34s$ e $0,43s$ – ginástica aeróbica e $T_c = 0,23s$, $0,32s$ e $0,41s$ – saltos à vontade), variando, para cada valor de T_c , o coeficiente de impacto (K_p). Os coeficientes de impacto (K_p) adotados foram: o valor médio, o valor médio mais o desvio-padrão e o valor médio menos o desvio-padrão (Tabela 4.4). O valor de CD é variado de acordo com o número de pessoas e com o tipo de atividade. Por outro lado, o valor do período sem contato ($T_s = 0,10s$) foi mantido constante.

Não foram apresentados os sinais de força no domínio do tempo e da frequência obtidos para essas análises, segundo os casos de carga considerados, por não possuírem mudanças significativas em seu comportamento quando comparados com os sinais apresentados nas Figuras 9.4 a 9.11. De maneira geral, esses sinais são bastantes semelhantes, variando-se apenas as amplitudes em termos de pico de aceleração devido à variação do coeficiente de impacto.

Dessa forma, como esses gráficos apresentam a fase permanente da resposta a maior parte do tempo, não serão aqui obtidos os valores das acelerações rms (*root mean square*) mas sim as acelerações de pico, pois os valores de pico de aceleração ocorrem a maior parte do tempo.

9.3.3.2 Avaliação das acelerações de pico

Os resultados da aceleração de pico (a_p) obtidos nos pontos A e B (Figura 9.3) são apresentados nas Tabelas 9.7 a 9.10, bem como os diferentes valores do coeficiente de impacto, juntamente com o valor-limite recomendado para áreas sujeitas a atividades rítmicas (ginástica aeróbica e saltos à vontade).

Os limites de aceleração deste guia prático (AISC [53]) associados ao conforto humano, são obtidos a partir de fatores multiplicadores baseado na curva base da ISO 2631/2 [70]. Estes fatores multiplicadores dos limites de vibração (Tabela 3.5), são estabelecidos em função do tipo de ocupação, do período de tempo e do tipo de vibração.

Tabela 9.7 – Aceleração de pico em função da variação do coeficiente de impacto (ginástica aeróbica).

Nº de pessoas	Interação total						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Ginástica aeróbica						
	a _p (m/s ²)						
	K _p =2,18		K _p =2,78		K _p =3,38		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,08	0,04	0,10	0,05	0,12	0,07	0,5
3	0,19	0,11	0,25	0,14	0,30	0,17	
6	0,32	0,20	0,41	0,26	0,50	0,31	
9	0,51	0,31	0,65	0,40	0,79	0,48	
12	0,31	0,31	0,39	0,39	0,48	0,48	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.8 – Aceleração de pico em função da variação do coeficiente de impacto (saltos à vontade).

Nº de pessoas	Interação total						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Saltos à vontade a _p (m/s ²)						
	K _p =2,59		K _p =3,17		K _p =3,75		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,12	0,06	0,14	0,07	0,17	0,09	0,5
3	0,25	0,24	0,30	0,17	0,36	0,20	
6	0,35	0,21	0,43	0,26	0,51	0,30	
9	0,53	0,31	0,65	0,38	0,77	0,45	
12	0,28	0,28	0,34	0,34	0,40	0,40	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.9 – Aceleração de pico em função da variação do coeficiente de impacto (ginástica aeróbica).

Nº de pessoas	Interação parcial						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Ginástica aeróbica a _p (m/s ²)						
	K _p =2,18		K _p =2,78		K _p =3,38		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,10	0,05	0,13	0,07	0,16	0,08	0,5
3	0,25	0,13	0,32	0,17	0,39	0,21	
6	0,42	0,23	0,53	0,30	0,65	0,37	
9	0,65	0,36	0,84	0,46	1,02	0,56	
12	0,30	0,31	0,39	0,40	0,48	0,48	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

Tabela 9.10 – Aceleração de pico em função da variação do coeficiente de impacto (saltos à vontade).

Nº de pessoas	Interação parcial						Limite recomendado* AISC [53] (m/s ²)
	Saltos à vontade a _p (m/s ²)						
	K _p =2,59		K _p =3,17		K _p =3,75		
	A	B	A	B	A	B	
1	0,18	0,12	0,23	0,14	0,27	0,17	0,5
3	0,39	0,26	0,47	0,31	0,56	0,37	
6	0,59	0,41	0,72	0,50	0,86	0,59	
9	0,87	0,59	1,06	0,72	1,26	0,86	
12	0,31	0,32	0,38	0,39	0,45	0,46	
* Limite recomendado em locais submetidos a atividades rítmicas							

No que se refere aos valores da aceleração de pico encontrados ao longo das análises, de acordo com o caso de carga considerado (Tabelas 9.7 a 9.10), pode-se concluir:

a) Os resultados obtidos ao longo deste trabalho demonstram que quanto maior for a intensidade do coeficiente de impacto no piso, maior será o nível de amplificação da resposta dinâmica. Essas observações evidenciam o fato de que, para que se idealizem estruturas que não sejam suscetíveis ao desconforto provocado pelo caminhar de pedestres, é necessária a busca de alternativas como o caso da utilização de revestimentos de piso com materiais que promovam a absorção do impacto provocado em atividades rítmicas.

b) As acelerações de pico obtidas com o piso em regime de interação parcial foram sempre superiores quando comparadas ao modelo de piso misto aço-concreto em interação total. Isso demonstra que a variação do número de conectores na interface laje e viga influencia diretamente a resposta dinâmica estrutural, mesmo considerando a variação do período de contato da pessoa com a estrutura.

c) No que se refere ao modelo de carregamento II, o valor máximo de aceleração encontrado foi da ordem de 1,02, associado à ginástica aeróbica com o piso em regime de interação parcial. Contudo, esse valor é da ordem de 1,26, referente ao mesmo modelo de piso misto aço-concreto, quando a atividade se refere a saltos à vontade. Esses valores estão acima do limite permitido pela norma, AISC [53].

d) Convém destacar que os valores da aceleração de pico, obtidos a partir da atuação de nove pessoas sobre os pisos e representativos de ações dinâmicas oriundas de atividades de ginástica aeróbica e saltos à vontade, são superiores àqueles obtidos com base no emprego de doze pessoas (Tabelas 9.1 e 9.2). Tal fato ocorreu em virtude da superposição dos modos de vibração, pois, no caso associado a doze pessoas, as ações dinâmicas estão mais distribuídas ao longo de todo o piso, conforme a relação de 0,25 pessoas/m² [30]. Já no caso de nove pessoas, somente um lado do piso é ocupado. Dessa forma, existe uma interação maior entre a excitação dinâmica proveniente do caso de carregamento associado a nove pessoas (Figura 9.15) independente do valor do coeficiente de impacto utilizado.

No capítulo 10, são apresentadas as conclusões obtidas ao longo deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.