

AVALIAÇÃO DE NÍVEIS DE VIBRAÇÃO ADMISSÍVEIS EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS: AVALIAÇÃO DE CONFORTO HUMANO

EVALUATION OF ALLOWABLE VIBRATION LEVELS IN BUILDING STRUCTURES: HUMAN CONFORT ASSESSMENT

P. L. S. Santos¹, M. T. Braz-César², Y. F. Fonseca³

¹Aluno de Mestrado em Engenharia Industrial, ESTiG - Instituto Politécnico de Bragança

²Professor Adjunto, ESTiG - Instituto Politécnico de Bragança

³Professora Associada, UNIFACS – Universidade Salvador



RESUMO

No presente artigo foi realizada a avaliação dos níveis de vibração em uma laje aligeirada com vigotas pré-tensionadas. Este é um tipo de estrutura que sua maior problemática está relacionada com a vibração vinda do aumento de atividades rítmicas, resultante de utilizações participativas associadas a movimentos sincronizados. Devido a isto, utilizou-se os critérios de cálculos presentes no livro de Rui de Sousa Camposinhos e Afonso Serra Neves: “Lajes Aligeiradas com Vigotas Pré-Tensionadas” e realizou-se um ensaio prático, em 2020 na cidade de Bragança, com auxílio de um acelerômetro para associar a teoria e a prática.

ABSTRACT

Unwanted vibration levels in building structures either from machinery or human activities can affect the comfort of occupants and therefore they should be reduced or controlled to ensure that the adequate level of serviceability. In this paper vibration levels assessment of a beam and block floor are evaluated. This type of structural system is prone to vibrate due to the inherent flexibility and reduced mass when compared with reinforced concrete slabs. Numerical and experimental analyses were carried out to assess the vibration of an actual prefabricated beam and block floor. Although there was found some differences between the numerical and the experimental model, it was verified that the vibration level is within the allowable range to ensure the vibration serviceability regarding the comfort of the building occupants.

1. INTRODUÇÃO

A motivação de vibrações em estruturas não se encontra apenas após a sua finalização e, sim, desde o processo de construção. As máquinas que operam durante a obra podem afetar diversos elementos da estrutura tal como fundações, pedestais, ou membros estruturais (lajes e

vigas), e até todo edifício em varias maneiras com bastantes tipos diferentes de forças dinâmicas. Já as máquinas que atuam nas proximidades da construção também geram vibração sobre a mesma. Esse tremor é transmitido através do solo, e, por ele não ser homogêneo, dificulta saber sua total influência, sendo esse valor sempre

aproximado. As atividades que estão associadas a esse tipo de vibração podem ser:

- Veículos em canteiros de obras
- Empilhadeiras, estaca-prancha
- Compactação de vibração
- Consolidação dinâmica
- Escavação
- Explosão

Após a finalização da construção a ação dos ventos causam ruídos à estrutura e a própria utilização, como salas de dança e auditórios, acabam trazendo impactos à estrutura.

A problemática causada pelas vibrações nos edifícios está reunida em dois critérios: Estado Limite Último e de Serviço. Mesmo o Estado de Limite Último sendo o que traz mais preocupações aos cientistas devido ao abalo econômico e social, é o Estado de Limite de Segurança/Utilização que será o foco deste artigo.

No corpo humano, a vibração pode ser transmitida de duas maneiras distintas: pelo corpo inteiro ou parte dele. A primeira, como o próprio nome já insinua vai desde os pés (posição em pé) ou do assento (posição sentada), como é o caso de trabalhadores que operam máquinas, tratores e veículos que geram algum tipo de frequência (variando entre 0,5 a 80Hz), até a cabeça. Já a segunda é sentida em partes localizadas no corpo como, por exemplo, nas mãos e braços pelos trabalhadores que manuseiam britadeiras, furadeiras de impacto, ou seja, máquinas manuais vibrantes com frequência variando de 5 a 1.000 Hz [1].

O corpo humano sofre reações diversas às vibrações recebidas em diversas maneiras. A exposição ocupacional continuada das vibrações pode causar efeitos diretos sobre o corpo, podendo ser destacados os seguintes problemas: perda do equilíbrio e falta de concentração, desordens gastrointestinais, aumento da frequência cardíaca, perda do controle muscular de partes do corpo, distúrbios visuais com visão turva, descalcificação de

pequenas áreas dos ossos do corpo, lesões na coluna vertebral e degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso. Além disso, uma doença muito comum e reconhecida resultante da exposição prolongada das mãos à vibração e a impactos repetidos é a síndrome dos dedos brancos ou doença de Raynaud, causada pelo espasmo das artérias digitais, que limita o fluxo sanguíneo nos dedos, sendo que, em casos extremos, pode causar danos permanentes ou gangrena [1].

2. METODOLOGIA

Com o avanço da tecnologia e, conseqüentemente, da engenharia iniciou-se a busca por vencer vãos cada vez maiores através do pré-esforço e da resistência dos materiais. Uma das principais lajes geradas a partir desse avanço foi a laje de vigotas pré-fabricadas, porém apesar desta atender aos principais critérios estruturais, no quesito vibrações seu comportamento não é agradável. A maior problemática desta laje está relacionada com a vibração vinda do aumento de atividades rítmicas, resultante de utilizações participativas associadas a movimentos sincronizados. A normalização europeia prEN 1990 [2], relativa às bases de cálculo estrutural, indica que esta questão deve ser avaliada no contexto dos estados limites de utilização e remete o projetista para os critérios definidos na norma ISO 2631 [3], indicando, de forma sucinta, alguns parâmetros com vista à verificação dos valores-limite [4].

Devido às questões apresentadas o intuito desta tese é dimensionar uma laje de vigotas pré-fabricadas e compará-las as diversas normas internacionais a respeito dos níveis de vibrações aceitáveis para o conforto humano.

Vale ressaltar que as informações apresentadas abaixo foram retiradas do livro *Lajes Aligeiradas com Vigotas Pré-Tensionadas* [4].

Os limites de tolerância às vibrações em pisos são difíceis de definir, porque, além de variarem de indivíduo para indivíduo, variam também de acordo com as

circunstâncias para um mesmo indivíduo, seja em função do estado de concentração ou relaxamento. Por exemplo, o desfrutar de uma refeição ao som de uma orquestra junto a uma pista de dança pode corresponder a uma situação em que a tolerância às vibrações seja cerca de quatro vezes superior para o mesmo indivíduo quando trabalha em um escritório ou em repouso em sua casa. Um mesmo indivíduo participante num evento rítmico é cerca de dez vezes mais “tolerante” às vibrações provocadas do que quando é meramente um simples observador alheio ao referido evento [4]–[6].

Na análise da vibração faz-se necessário a comparação da deformação por vibração (δ_{vib}) em relação à deformação limite (δ_{lim}) e da frequência de vibração (f_{vib}) com a frequência limite (f_{lim}).

$$\delta_{vib} \leq \delta_{lim} \quad (1)$$

$$f_{vib} \leq f_{lim} \quad (2)$$

Como a laje em questão é bi-apoiada, a deformação por vibração é igual a deformação instantânea, ou seja:

$$\delta_{vib} = \delta_{inst} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384 \cdot EI} \quad (3)$$

O valor de w na expressão deve ser criteriosamente adotado, correspondendo ao valor médio das ações permanentes e a um valor reduzido da sobrecarga de utilização, cujo valor para habitações é de 0,25 KN/m² [4], [7].

A vibração limite é dada por:

$$\delta_{lim} = \frac{L}{400} \quad (4)$$

ou

$$\delta_{lim} = 1,5 \text{ cm} \quad (5)$$

Se existirem paredes sobre a laje, adota-se 1,5 cm.

A frequência própria f pode ser avaliada considerando separadamente as partes correspondentes à laje propriamente dita e aos apoios. No caso de sistemas simplesmente apoiados e sabendo que o

valor da flecha máxima, δ , a meio vão que ocorre por efeito da ação uniformemente distribuída, w , tem-se:

$$f = 0,179 \cdot \sqrt{\frac{g}{\delta_{vib}}} \quad (6)$$

Para definir limites para a frequência própria tem-se: introduzindo-se um fator k , em função do tipo de atividades, tem-se:

$$f_{lim} \geq n \cdot f_{step} \cdot \sqrt{1 + \frac{k}{a_0/g} \cdot \frac{\alpha_n \cdot w_p}{w_t}} \quad (7)$$

onde o k varia de acordo ao tipo de atividade e, para habitações, foi utilizado o valor de 1,2. Já os valores do fator de aceleração (a_0/g) e da frequência do passo encontram-se na Tabela 1 e os do harmónico n e coeficiente dinâmico α_n na Tabela 2.

Tabela 1 - Valores-limite para o fator de aceleração em pavimentos

Utilização	Fator de aceleração a_0/g (%)
Habitações, escritórios e igrejas	0,50%
Centros comerciais	1,50%
Passadiços interiores	1,50%
Passadiços exteriores	5,00%

Tabela 2 - Frequências e coeficientes dinâmicos, segundo Murray

Harmónico (n)	Andar		Exercícios aeróbicos		Dança em grupo	
	f (Hz)	α_n	f (Hz)	α_n	f (Hz)	α_n
1	1,6 - 2,2	0,5	2,0 - 2,75	1,5	1,5 - 3,0	0,5
2	3,2 - 4,4	0,2	4,0 - 5,5	0,6	-	-
3	4,8 - 6,6	0,1	6,0 - 8,25	0,1	-	-
4	6,4 - 8,8	0,05	-	-	-	-

Já o valor da sobrecarga devido aos participantes w_p é de 0,5 KPa para habitações e o carregamento total w_t é necessário acrescer ao valor de w_p o peso próprio da laje.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Sabendo do comprimento da laje ensaiada, 6,50 metros, e da sua especificação [8], considerou-se valores para as cargas permanentes e variáveis (Tabela 3) e, dessa forma, foi possível calcular os resultados esperados para a análise da vibração (Tabela 4). A Fig 1 representa a seção transversal da laje utilizada.

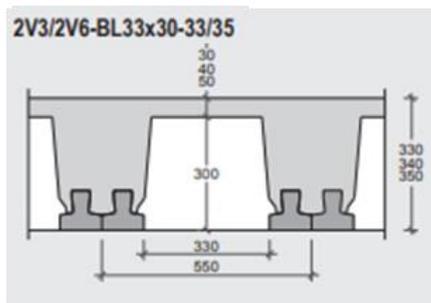


Fig 1 - Seção transversal da laje utilizada

Tabela 3 - Cargas permanentes e variáveis do estudo prático

	PP Laje (KN/m ²)	Revestimentos (KN/m ²)	Paredes divisórias (KN/m ²)	G _{tot} (KN/m ²)	Sobrecarga (KN/m ²)
	(G1)	(G2)	(G3)		(Q)
L	5,06	1,50	0,75	7,31	2,00

Tabela 4 - Resultados esperados da vibração no estudo prático

Laje	Comprimento (m)	Vigota	Vibração					
			f _{vb}	f _{lm}	Verificação	δ _{vb} (cm)	δ _{lm} (cm)	Verificação
L	6,50	V3 - 350 (2V3/2V6-BL33x30-33/35)	5,60	6,87	sim	0,0094	1,50	sim

As frequências da tabela acima foram calculadas considerando os dados das lajes e a as equações já apresentadas neste trabalho.

Espera-se para uma laje bi-apoiada e com este carregamento, uma frequência de vibração de 5,60 Hz e limite de 6,87 Hz.

Em busca de comparar a teoria à prática, foi realizado o ensaio de frequência com o auxílio de um acelerômetro. O mesmo foi realizado na localidade de Bragança, em uma obra de casas que utilizaram como lajes as com vigotas pré-tensionadas.

O ensaio foi realizado em uma laje contínua de 6,47 metros de comprimento. O acelerômetro foi colocado no meio da laje, a seguir, provocou-se uma vibração através de pancadas na mesma e, por fim, computou-se os dados da frequência em relação ao tempo.

Com auxílio do programa SignalExpress, gerou-se um gráfico aceleração x tempo (Fig 2) e, a partir dele, gerou-se outro de magnitude x frequência (Fig 3). A partir deste último, obteve-se a frequência onde a magnitude gerada pela excitação feita ao pavimento foi máxima.

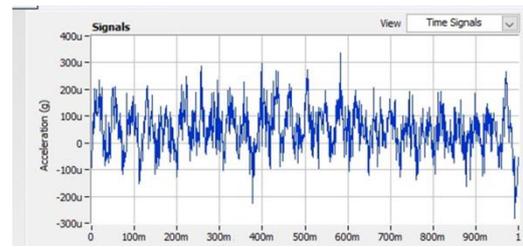


Fig 2 - Resultado do ensaio Aceleração x Tempo

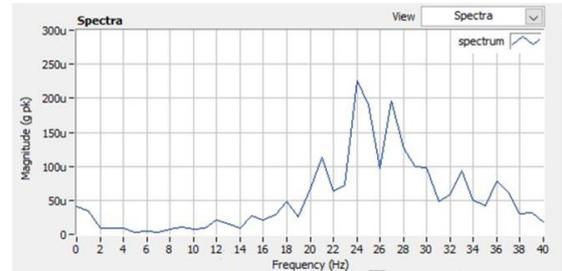


Fig 3 - Resultado do ensaio Magnitude x Frequência

Ao analisar o gráfico presente na Fig 3, constatou-se que a frequência com a maior magnitude foi a de 24 Hz.

4. CONCLUSÕES

Com o ensaio realizado observou-se que a frequência real foi superior à determinada nas verificações. Isso ocorre devido ao fato da laje ensaiada ser contínua e não bi-apoiada como a calculada, ou seja, sua rigidez é maior, fazendo com que a vibração seja maior em comparação à dimensionada.

REFERÊNCIAS

- [1] E. da S. Lopes, "Os efeitos da vibração na saúde do trabalhador," 2015. [Online]. Available: <http://www.mundohusqvarna.com.br/coluna/os-efeitos-da-vibracao-na-saude-do-trabalhador/>.
- [2] EN 1990, "EN 1990." 1990.
- [3] ISO 2631, "Mechanical Vibration and Shock - All Body Vibration Exposure Assessment - Part 1: General Rules," no. 112, pp. 5–13, 1997.
- [4] Rui de Sousa Camposinhos e Afonso Serra Neves, *Lajes Aligeiradas com Vigotas Pré-Tensionadas*.
- [5] International Organizations for Standards,

- “ISO 2631-1.” 1985. *Eng.*, vol. 12, 1985.
- [6] International Organizations for Standards, “ISO 2631-2.” 1985.
- [7] J. H. Allen, D. E.; Rainier, “Vibrations for Assembly Occupancies,” *Can. J. Civ.*
- [8] LNEC, “PAVIMENTOS ALIGEIRADOS DE VIGOTAS PREFABRICADAS DE BETÃO PRÉ-ESFORÇADO,” no. 23. 2018.