



**ESTUDO SOBRE A TRANSMISSÃO DE RUÍDO EM LAJES DE
APARTAMENTOS RESIDENCIAIS**

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranutunes@yahoo.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Cima, R. T.

CIMA Engenharia Empreendimentos Ltda.
R. Eduardo Marquês 434, Osvaldo – Uberlândia - MG – 38400-442
Cima@triang.com.br

Resumo. *Com o advento da moderna tecnologia do concreto armado, tornou – se possível construir edifícios cada vez maiores e com menor custo. Como malefício, as lajes ficaram cada vez mais finas de modo que os níveis de ruídos transmitidos devido a impactos sobre os pisos aumentaram consideravelmente. Uma maneira de contornar o problema das lajes finas e leves é a utilização de medidas de controle de vibrações via aplicação de materiais viscoelásticos entre as lajes e os contrapisos. Porém, como toda medida de controle na área de vibrações e acústicas, se esta aplicação for feita sem nenhum critério, seus efeitos poderão ser nulos ou piorar a situação. Portanto, uma maneira eficaz de diminuir os níveis de ruídos via excitação da laje é aumentar o tempo de contato da força excitadora com o piso, ou amortecendo os níveis de vibrações transmitidos. Visando a minimização destes problemas, neste trabalho foi proposta uma metodologia simplificada para previsão de perdas de transmissão em amostras de lajes tratadas. Foram utilizadas aplicações de vários materiais entre lajes e contrapisos, sendo feita uma análise de sensibilidade da transmissão do ruído em função do tipo de tratamento utilizado.*

Palavras-chave: ruído, laje, vibração.

1. INTRODUÇÃO

A cada dia são lançados novos produtos no mercado e uma maior procura pôr serviços de acústica. Muitos dos trabalhos realizados hoje pelos acústicos é na área curativa, isto é, na solução de problemas apresentados na edificação, enquanto que o mais coerente seria para aplicação de medidas preventivas, na fase de projetos como mostra Brondani (1998).

As grandes cidades têm como modelo de urbanização, a verticalização, ou seja: ocupa - se cada vez mais edifícios de multi - pavimentos, por diversas razões que vão desde transporte e segurança, até a centralização da economia em regiões específicas, gerando com isso, um aumento demográfico nestas áreas.

De acordo com Souza (2000), o ruído aumenta a duração dos estágios superficiais do sono, quase inúteis, enquanto o tempo total de sono, e os estágios necessários para o descanso, são reduzidos drasticamente. O despertar costuma ocorrer mais devido a picos de ruído, de 8 a 19 dB(A) sobre o nível de fundo ou seja, em um edifício moderno com apartamentos com lajes relativamente esbeltas, e com grande área, um simples caminhar num apartamento durante à noite pode virar uma tragédia para o descanso do vizinho de baixo.

Um dos maiores índices de reclamações devido a transmissão de ruído através de lajes advêm do ruído do tipo impulsivo, resultante do caminhar, ou queda de objetos, sobre as lajes, principalmente no período noturno.

De acordo com Kiss (1999), o conceito de “lajes zero” na construção civil implica em lajes cada vez mais finas e, conseqüentemente, com propriedades acústicas sofríveis vindo na contramão do grau de exigência de conforto acústico que prevê um CTSA (Classe de Transmissão de Som Aéreo e Classe de Transmissão de som de Impacto) de pelo menos 50 para pisos entre unidades superpostas, conforme sugerido por Baring (2000).

De uma maneira geral, o Nível de Potência Sonora NWS irradiada por uma estrutura genérica pode ser aproximada pela Eq.(1).

$$NWS = 10.\log 10\|F(f)\| + 10.\log 10(V) + 10.\log 10\left(\frac{A.\sigma_{rad}}{f}\right) + 10.\log 10(S) - 10.\log 10(M) - 10.\log 10(\eta_s) + C \quad (1)$$

onde:

S é o perímetro da estrutura,

A é a área,

V é a amplitude da velocidade média, temporal e espacial, quadrática,

f é a frequência analisada,

F é a amplitude da força de excitação [N],

σ_{rad} é o coeficiente de eficiência de irradiação da superfície vibrante,

η_s é o fator de amortecimento estrutural,

C é uma constante dependente do meio de propagação do som.

Uma vez que a excitação é do tipo transiente (impulsivo), a magnitude de F(f) depende do tempo de contato da força excitadora com o piso. Quanto mais duro for o contato, maior será a banda em frequência excitada e conseqüentemente maior o incômodo causado pelo

ruído, uma vez que o ouvido funciona como um filtro passa altas. Portanto, uma maneira eficaz de diminuir os níveis de ruído via excitação da laje é aumentar o tempo de contato da força excitadora com o piso, o que é conseguido pela utilização de pisos macios como carpetes por exemplo. Apesar da solução ser interessante, a mesma tem aplicação limitada devido a problemas de saúde e de modismos. Infelizmente, devido à praticidade, e ao calor, a tendência no Brasil é o uso de cerâmicas, que do ponto de vista de geração de ruído é a pior das opções. Para analisar o efeito da velocidade, de modo simplificado, assume-se um modelo de um grau de liberdade para a estrutura. Neste caso, para uma excitação do tipo impulso unitário, a amplitude máxima de velocidade de vibração é inversamente proporcional a massa M e ao fator de amortecimento η_s . Com o desenvolvimento da tecnologia do concreto, a utilização de lajes cada vez mais esbeltas, e leves, bate de frente com o isolamento do ruído via impulso em lajes, principalmente se considerarmos o termo $-10 \cdot \log_{10}(M)$ da Eq.(1).

A influência negativa da área A e do perímetro S explica o fato de que o problema do ruído devido a impactos no piso aumenta com o aumento da área do apartamento, para um mesmo tipo de laje.

Vários trabalhos (Gerges, 1992; Lenzi, 2000) mostram que coeficiente de eficiência de irradiação σ_{rad} pode ser aproximada pelas Eq.(2), Eq.(3) e Eq.(4).

$$\sigma_{rad} \approx \frac{4 \cdot A}{c^2} \cdot f_c \quad (2)$$

$$\sigma_{rad} \approx \sqrt{\frac{P \cdot f_c}{2 \cdot c}} \quad (3)$$

$$\sigma_{rad} \approx 1. \quad (4)$$

onde:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8 \cdot e \cdot c_l}$$

c é a velocidade de propagação do som no meio fluido,
 c_l é a velocidade de propagação da onda longitudinal no sólido,
 e é a espessura da placa.

Da análise das Eq. (2) e Eq. (3), observa-se que a eficiência de irradiação aumenta com a frequência de coincidência (a frequência de coincidência ocorre quando K_{som} é igual ao K_{laje} , onde K é o número de ondas do som) da estrutura, e conseqüentemente com a diminuição da espessura da mesma para uma mesma rigidez, em resumo: quanto mais fina a laje, maior a eficiência de radiação na banda de áudio. Outra observação interessante é o efeito negativo do aumento da área A e do perímetro P sobre os níveis de ruídos gerados.

Com o avanço da tecnologia e devidos aos custos relativamente baixos, os edifícios estão sendo construídos com lajes finas e com propriedades acústicas sofríveis. Para contornar o problema das lajes cada vez mais leves e finas, os construtores utilizam mantas asfálticas, isopor, vermiculita e mantas viscoelásticas aplicadas com o objetivo de aumentar o coeficiente de amortecimento da estrutura de modo a contrabalançar o efeito da diminuição da massa e da espessura da laje, de acordo com Kiss (1999). Porém, em alguns casos, o efeito pode ser completamente contrário do esperado, como observado por Maldaner (2001), em função de se ter uma placa mais fina (contrapiso) vibrando de forma independente, da laje principal, e acoplada à cavidade acústica, representada pelo ambiente inferior, pelas vigas e paredes da construção, as quais são uma via significativa de propagação do ruído, de acordo com Schmitz et al (2000).

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é o de apresentar um procedimento experimental relativamente simples para a avaliação da perda de ruído em amostras de lajes in situ.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta consiste em avaliar a eficiência de irradiação de uma amostra da laje estudada e posteriormente avaliar o Nível de Potência Sonora emitido pela laje quando excitada pontualmente por um martelo instrumentado.

Para estimar a eficiência de irradiação da amostra, primeiramente submete a mesma a um campo sonoro do tipo ruído branco de potência conhecida. Na aplicação deste trabalho, mediu-se o nível de pressão sonora (NPS) de uma fonte de ruído branco (20-4000 Hz) em campo livre e a seguir calculou-se o Nível de Potência Sonora irradiada em bandas de 1/3 de oitava centradas entre 20 e 4000 Hz (Eq. (4)).

$$NPS = 10 \cdot \log_{10}(Q/4 \cdot (R^2) - NPS) \quad [dB(A)] \quad (4)$$

Onde: NPS é o Nível de Pressão Sonora da fonte de potência sonora [dB].

Q=2, pois a fonte está sobre uma superfície plana.

R é o raio, ou seja a distância entre a fonte e o medidor de pressão sonora [m]

Após calculado o NWS irradiada pela fonte (110 dBA), liga-se a mesma à uma distância de 2m da amostra de laje (placa) e através da Eq.(5) pode-se calcular a intensidade sonora à qual a placa está submetida.

$$I = \frac{10^{\frac{NWS}{10}}}{2\pi r^2} \quad [W/m^2] \quad (5)$$

Onde: NWS é o Nível de Potência Sonora irradiada pela fonte para a amostra [dB].

R é a distância da fonte à placa [m].

Calculada a Intensidade, a Potência Sonora à qual a placa está submetida é obtida via Eq.(6).

$$W_{irr} = I \cdot A \quad [W] \quad (6)$$

Onde: I é a intensidade da placa calculada anteriormente [W/m^2].
 A é a área da amostra [m^2].

Sob o efeito do campo sonoro mede-se a velocidade de vibração média quadrática, temporal e espacial, da placa, e a eficiência de radiação é definida pela Eq.(7).

$$\sigma_{\text{rad}} = \frac{W_{\text{rad}}}{(\rho_0 \cdot C \cdot S) \cdot V^2} \quad (7)$$

Onde: W_{rad} é a potência acústica (Watts) irradiada
 S é a área (m^2) do componente da estrutura
 V^2 é a velocidade quadrada, média temporal e espacial (m/s).

Observa-se na Eq. 7 que para a determinação experimental da eficiência de radiação é necessário a velocidade média espacial e da potência sonora irradiada (reciprocidade) da placa.

Para a determinação da velocidade, mede-se os sinais de aceleração em vários pontos distribuídos ao longo da superfície, para em seguida converter o valor médio em velocidade, para cada faixa de frequência (Eq.(8) e Eq.(9)).

$$\langle V^2 \rangle = \frac{1}{W^2} \langle a^2 \rangle \quad (8)$$

Onde: $\langle a^2 \rangle$ é a aceleração média quadrática, média temporal e espacial em m/s^2 .

$$W = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot c \quad (9)$$

Onde : f é a frequência de central da faixa em Hertz.

De posse do valor da eficiência de radiação, pode-se analisar cada material utilizado como entrepiso através de sua potência irradiada, bastando obter apenas o valor da velocidade média da placa, quando tratada com o respectivo material. Deve-se primeiramente medir as acelerações para posteriormente converter em velocidade média. Estas acelerações são medidas por um acelerômetro fixado na laje (concreto), devido a impactos na placa (piso) por um martelo de impacto.

3. APLICAÇÃO:

Para a realização do experimento de validação da metodologia proposta, construiu-se uma amostra de laje de apartamento, constituído de concreto armado, segundo a norma NBR 6118. Esta amostra possui dimensões de $1 \times 1 \text{ m}^2$, com regularização de 2 cm e espessura de 8 cm. Sobre a laje, foi assentado piso soalho de madeira com espessura de 8 mm. A amostra foi pendurada na vertical simulando condições de contorno livre-livre e dividida imaginariamente em 49 nós.

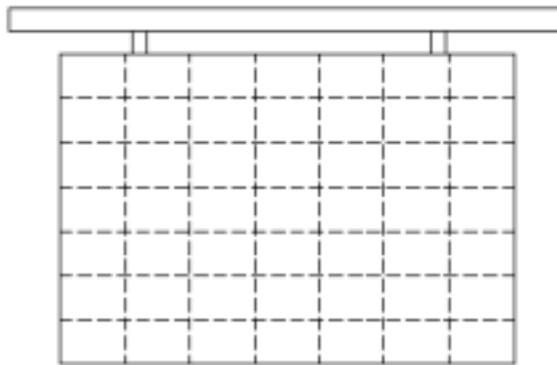


Figura 1. Amostra da laje dividida em 49 nós.

A experimentação constituiu de Analisador de Ruído em Tempo Real de dois canais 2260-102 da B&K, 01 Sonda de Intensidade Sonora, 02 Acelerômetros 4371-S da B&K, 01 Martelo de Impacto e 01 Fonte de Potência Sonora do tipo 4224 da B&K.

Os materiais resilientes utilizados como recheio nas composições foram basicamente os seguintes: plástico bolha, carpete, borracha asfáltica e borracha asfáltica com furos de 3 cm de diâmetro em 50% de sua área, a fim de que possa haver uma expansão do elastômetro na direção radial. A espessura de cada material girou em torno de 5 mm. Deve ser ressaltado que a laje sem “recheio”, somente com o concreto e o piso de madeira, foi analisado também.

Para facilitar o trabalho de avaliação da potência radiada em cada configuração foram estimadas as FRF (estimador H1) entre as acelerações dos 49 pontos demarcados na placa e as acelerações do ponto 23 (0,4 m do lado esquerdo e 0,3 m do lado de cima da placa). A partir de então medindo-se a aceleração do ponto 23 tornou-se possível calcular a aceleração média espacial nos 49 pontos da placa. Para calcular as FRF utilizadas para avaliação do Nível de Potência Sonora radiada pela placa foram utilizadas como entrada as forças de impacto no piso de madeira, e como saída as acelerações da placa no lado do concreto (ponto 23). As FRF foram avaliadas via média de 100 impactos adquirindo-se 2048 pontos por amostra com uma frequência de aquisição de 12000 Hz.

4. RESULTADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 1 mostra os Níveis de Potência Sonora NWS total (ponderação A) para as cinco configurações piso/material de isolamento testadas.

Da análise da Tab. (1) observa-se que a melhor combinação testada foi a combinação Laje + plástico bolha + piso de madeira, o que é um bom resultado em função do custo. A combinação com carpete (Ensaio 3) teve o segundo melhor desempenho, ficando 3 dB(A) acima do plástico bolha. As combinações envolvendo borracha não apresentaram resultados animadores, nem mesmo quando a mesma teve a possibilidade de deformar lateralmente, o que aumenta as suas propriedades de dissipação de energia vibratória.

Em Brondani (1998) foi analisado a performance acústica para ruídos de impacto com vários materiais de entremeio em lajes. Então, o mesmo foi utilizado a fim de comparações com os materiais utilizados neste trabalho juntamente com a norma ISO 140. De acordo com Brondani (1998) o melhor material que reduz os ruído de impacto em lajes é a lã de

vidro (resinada), utilizado tanto com piso de madeira quanto cerâmica. O resultado obtido com a lã de vidro, utilizada como “recheio” entre a laje e o piso de madeira, foi 50 dB(A). Enquanto que neste trabalho, o melhor resultado foi 47 dB(A) utilizando o plástico bolha. Observa-se então, um ganho de 3 dB(A) em relação à lã de vidro. Os resultados obtidos para os outros materiais são compatíveis com os resultados mensurados por Brondani (1998) e listados na ISO 140, o que valida a metodologia proposta e confirma a hipótese do controle do ruído impulsivo via amortecimento de vibrações, uma vez que as dimensões e condições de contorno da laje analisada neste trabalho são muito diferentes da estudada por Brondani (1998).

Tabela 1. Apresentação dos resultados dos ensaios

Nº do Ensaio	Composição do modelo	NWS (dB(A))
1	Laje (osso) + piso de madeira	73
2	Laje + plástico bolha + piso de madeira	47
3	Laje + carpete + Piso de madeira	50
4	Laje + borracha asfáltica + piso de madeira	57
5	Laje + borracha asfáltica furada + piso de madeira	62

O desempenho do material plástico bolha pode ser observado na Fig.(1), que mostra a potência sonora irradiada pela placa em bandas de 1/3 de oitava, para uma excitação impulsiva, onde pode-se observar uma forte queda nos níveis de potência sonora nas frequências acima de 1000 Hz. Os níveis baixos de potência sonora radiados na região de 100 Hz podem ser creditados à região de antirressonância da placa e não à eficiência

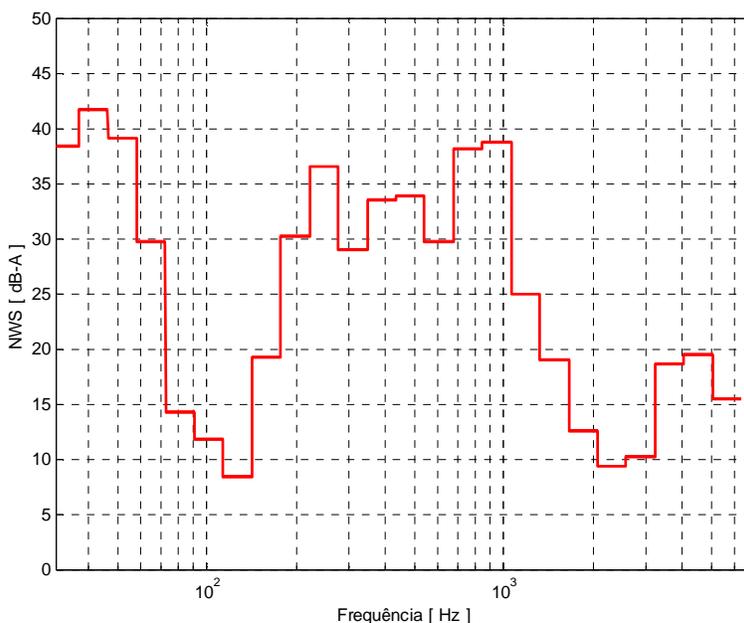


Figura 1. Curva do Nível de Pressão Sonora NWS (dB(A)), em função das bandas de oitavas medidas na amostra.

5. CONCLUSÕES

O controle de ruído oriundo de excitação impulsiva em lajes é bastante complexo e soluções padrões não conduzem necessariamente a bons resultados. Devido a esta complexidade, concluímos que FRF estimadas em situ Maldaner et al (2001) mostraram uma ferramenta interessante para a avaliação de possíveis soluções para o problema do ruído transmitido via impacto em lajes.

Os números apresentados na Tab.(1) nos dá o desempenho de cada material submetido ao teste. Nestas condições sobressai-se o plástico bolha com o melhor resultado obtido, embora exija novas pesquisas relativas a sua resistência quando submetido a carregamentos por longo tempo.

Dentre os materiais alternativos ensaiados, uma das preocupações se devia ao custo dos mesmo, pois se pretendia um bom isolador à ruídos de impacto e que ao mesmo tempo seria barato. Contudo o material satisfatório citado anteriormente tem um custo bem inferior se comparado com materiais acústicos isoladores presentes no mercado.

6. AGRADECIMENTOS

À CIMA Engenharia Empreendimentos Ltda e seus funcionários por todo apoio logístico necessário para o desenvolvimento deste trabalho. À FAPEMIG pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- Baring, J. G. A., 2000, “A Qualidade Acústica dos Edifícios e a Contribuição das Paredes de gesso Acartonado”, Revista de Tecnologia de Construção téchne, N.º 47, jul./ago., pg. 69 – 73.
- Brondani, S. A., 1998, “Pisos Flutuantes: Análise da Performance Acústica para Ruídos de Impacto”, I Congresso Ibero-americano de Acústica, Florianópolis-SC.
- Gerges, S. N. Y., 1992, “Ruído: Fundamentos e Controle”, ISBN 85-900046-01-X.
- Kiss, P., 1999, “Muito Barulho por Tudo”, revista de Tecnologia de Construção téchne, n.º 43, nov./dez, pg. 30 – 33.
- Lenzi, A., 2000, “Análise Estatística Energética”, notas de aula - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, Florianópolis, SC.
- Maldaner, S. M, Duarte, M. V. and Rosi Mari T. C., 2001, ‘A Methodology to Measure in Situ Efficiency Noise Isolation of Flagstones in Residential Buildings’, submetido ao COBEM-2001.
- Schmitz, A. and Méier, A ., 2000, “Total Loss Factor in Building Acoustics, Measurement and Application”, Acústica e Vibrações, nº 25, julho 2000, pg. 18 – 34.
- Souza, F. P., 2000, “Efeito do Ruído no Homem Dormindo e Acordado”, Acústica e Vibrações, Nº 25, julho 2000, pg. 2-17.

STUDY ABOUT TRANSMISSION OF NOISE IN FLAGGING OF RESIDENTIAL APARTMENT

Nunes, M. A. A.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mariaalziranutunes@yahoo.com.br

Duarte, M. A. V.

Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica
Av. João Naves de Ávila, 2160 – Bloco 1M – Campus Santa Mônica Uberlândia – MG
CEP 38400-902
mvduarte@mecanica.ufu.br

Cima, R. T.

CIMA Engenharia Empreendimentos Ltda.
R. Eduardo Marquês 434, Osvaldo – Uberlândia - MG – 38400-442
Cima@triang.com.br

***Abstract.** With the approach of modern technology of the armed concrete, it turned possible to build buildings big and low price. On the other hand, the flaggings turned thinner, so the noises levels due to impacts above the floor up. One thing to do is the utilization of vibration control due to application of viscoelastics substances between slates and the floor. Then, like all control in the vibration and acoustic area, if this application was done without criterion, their effects can be null or to aggravate the situation. So, one good way to reduce the noises levels due the excitation of the flagging is to increase the time of contact of the excitation force with the floor. Seeking the reduce of these problems, in this research was studying many materials applied between the cement slab and the floor in order to quantify de acoustic power transmitted for each mode. It was done an analysis of sensitivity of the transmission of noise in function of the kind of treatment.*

***Keywords.** Noise, flagging, vibration..*