XXVII ENCONTRO DA SOBRAC
Sociedade Brasileira de Acústica
O SOM NO ESPAÇO URBANO
28 a 31 de maio de 2017 | Brasília/DF
www.sobrac2017.com.br

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA METODOLOGIA DE ENSAIO DE CAMPO PARA A ESTIMATIVA DO DESEMPENHO DE LAJES AO RUÍDO DE IMPACTO SEGUNDO A ISO 16283-2: 2015

CROCE, Bruna Del Priore[1]; NUNES, Maria Alzira de Araújo [1]; COELHO, Fabiana Curado[2]; MOURA, Nayara de Farias[2]; PIRES, Jhennyfer Loyane Gama[3]

(1) Universidade de Brasília-Faculdade UnB Gama; (2) Síntese Acústica Arquitetônica; (3) Centro Universitário EuroAmericano.

RESUMO

A revisão da ISO140-7:1998 pela ISO16283-2:2015 contempla aditamento relativo à metodologia de ensaio de campo para avaliação do desempenho ao ruído de impacto de lajes, conforme caracterização do sistema de piso ensaiado. A ISO16283-2:2015 determina quantidades mínimas de posição de fontes e microfones, consoante às áreas respectivas das salas emissora e receptora. Esta revisão sinaliza aspectos relevantes quanto à sensibilidade da metodologia para avaliação do desempenho ao ruído de impacto de sistemas de piso distintos às lajes maciças em concreto armado convencionais. Neste estudo, o sistema ensaiado constitui-se de laje nervurada bidirecional com a presença de viga em concreto armado, que representa 17% da área total da laje. O interesse da pesquisa demonstra-se na ocorrência de diferenças nos mecanismos de transmissão sonora devido à heterogeneidade do sistema descrito. O método de ensaio de campo de ruído de impacto de lajes recorre ao uso de máquina de impacto padronizado (MIP) que, ao ser transmitido por meio sólido, provoca vibrações nos elementos constitutivos do edifício. A partir de um planejamento fatorial completo de 2 níveis, a pesquisa trata de estimar a influência da quantidade e posicionamento de fontes e microfones em dois dormitórios alinhados verticalmente e separados pelo sistema de piso descrito, nos valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado ($L'nT,w$) e do nível de pressão sonora médio obtido pela média das posições de microfone de cada ensaio (L). Nota-se que a excitação provocada pela MIP em diferentes quantidades e regiões da laje tem influência nas estimativas de desempenho. Nota-se, ainda, a influência pouco significativa da quantidade de microfones na sala receptora, nos resultados dados pelos valores de $L'nT,w$ e L.

Palavras-chave: Ruído de impacto. ISO 140-7:1998. ISO 16283-2:2015. Planejamento Fatorial. Laje nervurada.

ABSTRACT

The revision of ISO140-7:1998 by ISO16283-2:2015 added new elements to the procedures for field measurement of impact sound insulation, according to the type of partition floor. ISO 16283-2:2015 determines minimum quantities of impact source and microphone positions, with respect to the area of source and receiving rooms. This indicates significant aspects with regard to the sensitivity of procedures for assessing impact sound insulation of floor systems that differ from conventional solid reinforced concrete partitions. The floor system analysed in this study is composed by bidirectional ribbed concrete floor slab with the presence of concrete beam that represents 17% of the system's total area. The interest of this research lies on the occurrence of differences on sound transmission

mechanisms due to the heterogeneity of the described system. Field measurement methodology of impact sound insulation resort to the use of standard tapping machine that, transmitting sound energy through solid means, leads to vibrations in the constituting elements of the building. Through the accomplishment of a two-level full factorial design, the study aims to estimate the influence of quantity and positioning of impact source and microphone in two dormitories vertically aligned and separated by the floor system, in terms of values of weighted standardized impact sound pressure level ($L'nT,w$) and medium sound pressure level obtained by the average of microphone positions of each measurement (L). Excitation caused by the machine in different quantities and parts of the partition influences the estimates of performances. Moreover, the measured results, given by the values of $L'nT,w$ and L, are not significantly influenced by the quantity of microphone positioning in the receiving room.

Keywords: Impact sound. ISO 140-7:1998. ISO 16283-2:2015. Factorial design. Ribbed slab.

1. INTRODUÇÃO

Em um contexto de adensamento urbano e verticalização das construções, o aparecimento de novos materiais, métodos e sistemas construtivos no setor da construção civil, refletem a busca pela otimização de processos construtivos e recursos financeiros. Paralelamente, diante da entrada em vigor da versão mais recente da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), conhecida como “norma de desempenho”, a qualidade e desempenho acústico das edificações aparecem como atributos de crescente relevância no segmento da construção civil brasileira.

A publicação da quarta edição da NBR 15575 (ABNT, 2013) em 2013, delega o compromisso às empresas do setor da construção civil de adequação às exigências de parâmetros técnicos para requisitos importantes de edificações habitacionais, dentre os quais, o desempenho acústico. A adequação aos parâmetros da norma deve garantir as condições de conforto acústico do usuário de edificações habitacionais de pavimentos múltiplos no período pós-ocupação. Para tanto, o conhecimento do comportamento acústico dos materiais e sistemas construtivos disponíveis no mercado assume fundamental importância.

No caso de sistemas de piso, o comportamento acústico é avaliado conforme as formas de transmissão sonora em edificações, que podem ocorrer por vias aérea ou estrutural. O ruído aéreo consiste em sucessivas ondas de pressão ou vibrações que são geradas pela fala ou autofalantes e que são transmitidas pelo ar (NUNES et al., 2014). Já o ruído de impacto, foco deste trabalho, consiste na excitação mecânica de superfícies rígidas, sendo transmitido por meio sólido.

Lajes do tipo nervurada, moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, são lajes compostas por nervuras na zona de tração e por uma mesa maciça de concreto na zona de compressão (DUTRA, 2005). Este tipo de laje reflete o interesse das construtoras por sistemas construtivos capazes de vencer grandes vãos livres e carregamentos especiais (PEREYRON, 2008), e apresentar viabilidade econômica e de execução (BOCCHI, 1995; STRAMANDINOLI, 2003; SILVA, 2005). No entanto, devido à espessura destas lajes, assim como à sua rigidez de flexão, a propagação do ruído pela estrutura é facilitada, e o isolamento ao ruído de impacto pode apresentar-se como uma desvantagem (MELO; PATRICIO, 2004). Costa e Araújo (2014) indicam a complexidade em avaliar o comportamento dinâmico de lajes do tipo nervurada, que têm seu funcionamento entre placa (mesa), grelha (nervuras) e chapa (mesa e nervuras). Desta forma, afirmam que o comportamento dinâmico da laje depende de fatores como a espessura da mesa, da nervura e o espaçamento entre as nervuras.

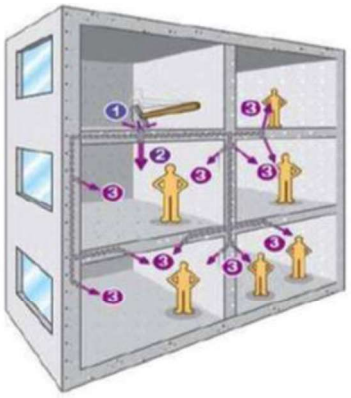
Considerando a utilização frequente de lajes nervuradas em edificações de uso residencial e comercial, entende-se necessário contribuir com dados que possibilitem analisar o seu comportamento acústico, visando assegurar a qualidade oferecida ao consumidor final. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar e analisar a sensibilidade da metodologia de ensaio de campo, segundo a ISO 16283-2 (ISO, 2015), na avaliação do desempenho ao ruído de impacto de um sistema de piso heterogêneo: laje nervurada bidirecional com a presença de viga em concreto armado.

A análise leva em consideração a influência de três fatores na metodologia dos ensaios de campo: quantidade de posições de MIP na sala emissora (F), quantidade de posições de MIP sobre a viga na sala emissora (Fv) dentre o número de posições estabelecidas pelo fator F, e quantidade de posições de microfone na sala receptora (M). Os resultados dos ensaios foram analisados a partir de planejamento fatorial completo de dois níveis.

2. TRANSMISSÃO SONORA POR VIA ESTRUTURAL

Em se tratando de ruído de impacto, a energia sonora da excitação mecânica aplicada em um sistema de piso é transmitida diretamente no elemento estrutural excitado, bem como por via indireta, distribuindo-se pelos elementos construtivos que estão em contato direto com ele (vigas e paredes), conforme a Fig. 1. Estes elementos em contato com o elemento ensaiado são denominados flancos.

Segundo Rindel (2007), em edifícios com sistemas construtivos em concreto ou alvenaria, a transmissão através dos flancos significa aproximadamente 50% da transmissão sonora entre ambientes com uma partição divisória em comum. Neste sentido, a avaliação do desempenho acústico de lajes ao ruído de impacto sofre influência do tipo de vínculo existente entre o elemento ensaiado e os elementos em contato, além das suas características.



1. Ruído de impacto
2. Transmissão Sonora Direta
3. Transmissão Sonora Indireta

Figura 1: Ruído de impacto e transmissão sonora vias direta e indireta

Fonte: Schuch, 2013

Em ensaios de campo para avaliação do comportamento acústico de lajes, a simulação dos exemplos mais comuns de ruído de impacto em edifícios residenciais – queda de objetos, caminhar de pessoas, arrastar de cadeiras, etc. – é realizada por meio da MIP, chamada Tapping Machine. Os valores do nível de pressão sonora de impacto padronizado ($L'nT$), dados por frequência em bandas de 1/3 de oitava, e de L, são então aferidos a partir de microfones posicionados na sala receptora. O valores de $L'nT$, obtidos na sala receptora, são calculados a partir da Eq. 01.

$$L'nT = L_2 - 10\log\frac{T}{T_0} \quad \text{[Eq. 01]}$$

Sendo: L_2 o nível de pressão sonora médio na sala receptora, em bandas de 1/3 de oitava, em dB. T é o tempo de reverberação medido na sala receptora, em segundos (s). T_0 o tempo de reverberação de referência (T_0= 0,5s).

De acordo com a ISO 3382-1 (ISO, 2009), o tempo de reverberação (T) foi avaliado com base em uma faixa dinâmica menor que 60 dB. Para obtenção do $L'nT,w$, os valores de $L'nT$ são ponderados, conforme procedimento descrito na ISO 717-2 (ISO, 2013). Os resultados calculados do nível de pressão sonora de impacto padronizado são ajustados à curva padrão da norma. O ajuste consiste no deslocamento, em passos de 1dB, da curva padrão em direção à curva medida, até que o somatório da diferença dos valores positivos entre os resultados ensaiados e a curva ajustada seja o maior possível, porém não superior a 32 dB. Após este procedimento, o valor único adotado para o $L'nT,w$ é o valor obtido na frequência de 500 Hz.

Os valores de $L'nT,w$ estimados são comparados com critérios estabelecidos na NBR 15575 (ABNT, 2013), sendo estabelecidos os níveis de desempenho: mínimo (M), intermediário (I) e superior (S). A Tab.1 mostra os valores de $L'nT,w$ para o caso de sistemas de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.

Tabela 1: Conforme Tabela E.1 – ABNT NBR 15.575-3: 2013; página 40

Características	L'nT,w	Nível de desempenho
Sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionados em pavimentos distintos	66 a 80 56 a 65 ≤ 55	M I S

Fonte: ABNT NBR 15.575-3: 2013; página 40

3. METODOLOGIA

Para determinação do desempenho ao ruído de impacto de sistemas de piso a partir de ensaios de campo, a norma brasileira NBR 15575 (ABNT, 2013) remete às normas internacionais ISO 140-7 (ISO, 1998) e sua versão revisada, ISO 16283-2 (ISO, 2015). Para obtenção dos valores de $L'nT,w$, que é o valor comparável com os níveis de desempenho determinados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), segue-se os procedimentos de ponderação estabelecidos pela ISO 717-2 (ISO, 2013).

As normas ISO 16283-2 (ISO, 2015) e ISO 140-7 (ISO, 1998) indicam que as medições devem ser realizadas em ambientes de pavimentos sequenciais, separados por laje de piso, a qual divide a sala emissora (localizada no pavimento superior), da sala receptora (localizada no pavimento inferior). Para avaliação do isolamento acústico do sistema de piso, que constitui o elemento ensaiado, recorre-se ao uso de MIP, posicionada na sala emissora. Ao ser transmitido por meio sólido, o ruído de impacto padronizado provoca vibrações nos elementos construtivos do edifício. O desempenho do sistema de piso ao ruído de impacto é então aferido por meio de microfones posicionados na sala receptora.

A ISO 140-7 (ISO, 1998) apresenta a metodologia de medição de isolamento de ruído de impacto, especificando a quantidade mínima de 4 posições de MIP distribuídas aleatoriamente no elemento ensaiado. A distância mínima das posições de MIP em relação às paredes da sala emissora deve ser de 0,5 metros. Em relação ao posicionamento de microfones na sala receptora, define a combinação mínima de 4 posições de microfone para 4 posições de MIP. Os microfones devem estar posicionados à uma distância mínima de 0,5 metros em relação às paredes, 0,7 metros entre si e 1,0 metros em relação à laje ensaiada.

A ISO 16283-2 (ISO, 2015) mantém a definição do dimensionamento mínimo dos equipamentos no ambiente ensaiado determinada pela ISO 140-7 (ISO, 1998). Define, no entanto, a quantidade mínima de posições de MIP e microfones de acordo com o tipo e a área do sistema de piso ensaiado. Segundo a norma, a quantidade de posição de microfones na sala receptora deve ser igual à quantidade de posições de MIP na sala emissora (quantidade mínima), ou múltiplos inteiros desse valor. Para salas emissoras e receptoras com área menor do que 20 m^2 e menor ou igual a 50 m^2, respectivamente, em que a quantidade mínima de posições de MIP é 4, a quantidade mínima de posições de microfone é de mesmo valor.

Esta pesquisa resulta da análise e processamento de dados de um conjunto de medições de campo realizadas em dormitórios de pavimentos sequenciais de edifício residencial de seis pavimentos localizado no Setor Noroeste, em Brasília - DF. Os dormitórios escolhidos para medição do ruído de impacto estão em uma obra finalizada, não ocupada ou mobiliada, e possuem a mesma área e volume, de 11,83m^2 e 29,57m^3, respectivamente. As paredes de ambos os ambientes são em alvenaria de bloco cerâmico, rebocadas em ambas as faces. O sistema de piso ensaiado, que separa as unidades autônomas, consiste em laje do tipo nervurada bidirecional em concreto armado, com espessura de mesa de 5 cm, espaçamento entre eixos de nervura de 61 cm, altura das nervuras de 21 cm e altura total de 26 cm, contrapiso de argamassa de aproximadamente 3 cm e piso em porcelanato.

O sistema de piso ensaiado conta com a presença de viga em concreto armado, que representa 17% da área total da laje. As medições foram realizadas no dia 27 de outubro de 2016 pelo mesmo operador. Cada medição teve duração de 6 segundos. Durante as medições, as janelas e portas dos ambientes emissor e receptor permaneceram fechadas, como na Fig. 2.



Figura 2: Equipamentos utilizados (esq.: MIP na sala emissora. Dir.: microfone posicionado na sala receptora).

Fonte: Acervo pessoal

Os equipamentos de medição foram utilizados conforme recomendações da ISO 16283-2 (ISO, 2015), sendo os seguintes: medidor Integrador de Nível Sonoro, modelo Blue Solo, fabricante 01 dB, com certificado RBC1-9632-416 dentro do prazo de validade,

conforme a NBR 10151 (ABNT, 2000), e MIP, modelo Tapping Machine MAC 01, fabricante 01dB.

Para determinação do tempo de reverberação na sala receptora, foi utilizado o método de ruído impulsivo a partir do estouro de balões em seis combinações diferentes de microfone e fonte, conforme a ISO 3382-2 (ISO, 2008). Foram respeitados os limites mínimos de 2,0 metros entre os pontos de microfone e 1,0 metros entre os pontos de microfone e as paredes do ambiente. Os balões foram posicionados a 0,5 metros das paredes, em regiões periféricas do ambiente. Os microfones foram posicionados em duas localizações, havendo, para cada posição de microfone, três posições diferentes de balão. Para medição do som residual, o microfone foi posicionado em três posições diferentes no ambiente receptor. As posições escolhidas foram as mais centrais possíveis.

O processamento de dados das medições foi realizado pela utilização do software dBBati32®, a partir das funções de nível de pressão sonora de impacto, tempo de reverberação e som residual. Para análise da sensibilidade ao ruído de impacto do sistema de piso ensaiado, procedeu-se aos ensaios sempre nos mesmos apartamentos e, portanto, mantendo o mesmo volume, características dos ambientes e o tempo de reverberação da sala receptora. Foram respeitadas as quantidades mínimas de posição de MIP e microfones para ambientes emissor e receptor com áreas respectivamente menores do que 20m^2 e menores ou iguais a 50m^2, conforme a ISO 16283-2 (ISO, 2015). A ISO 16283-2 (ISO, 2015) define ainda que, para partições ensaiadas em madeira, em concreto com nervuras ou vigas e partições em concreto sólido com espessura menor do que 100 mm, ao menos uma posição de MIP deve estar posicionada sobre a viga, com ângulo de 45º orientado para a direção da viga.

Para fins desta pesquisa, foram variados os seguintes fatores de influência na avaliação do desempenho da laje ensaiada ao ruído de impacto: quantidade de posições de MIP na sala emissora (F), quantidade de posições de MIP sobre a viga na sala emissora (Fv) dentre o número de posições estabelecidas pelo fator F e quantidade de posições de microfone na sala receptora (M). A análise da significância da influência destes fatores foi realizada a partir de um planejamento fatorial completo de dois níveis, no qual determinou-se o valor dos efeitos estudados considerando as respostas dadas pelos valores de $L'nT,w$ e L. A Tab. 2 apresenta a relação dos fatores estudados e seus respectivos níveis, onde o sinal negativo refere-se ao nível inferior dos fatores no planejamento fatorial e o sinal positivo ao nível superior.

Tabela 2: Fatores de influência

Fatores	-	+
Quantidade de posições de MIP, no ambiente emissor (F)	4	6
Quantidade de posições de MIP sobre a viga, no ambiente emissor (Fv)	1	2
Quantidade de posições de microfone, no ambiente receptor (M)	Mínima	Múltiplo inteiro

Fonte: Autores, 2017

Para obtenção dos valores de L, procedeu-se à correção do som residual conforme a ISO 16283-2 (ISO, 2015), a partir da subtração logarítmica:

$$L = 10\lg(10^{\frac{Lsb}{10}} - 10^{\frac{Lb}{10}}) \quad [\text{Eq. } 02]$$

Sendo: L o nível de sinal corrigido, em dB. L_{sb} o nível de sinal e o som residual combinados, em dB. L_b o nível de som residual, em dB.

4. RESULTADOS

As respostas da Tab. 3 foram obtidas a partir da utilização do software dBBati32®.

Tabela 3: Matriz de Planejamento Fatorial

Ensaios	Fatores			Resposta (y_1) em $L'nT, w$	Resposta (y_2) em L
	F	Fv	M		
1	4	1	Mínima	74	80,86
2	6	1	Mínima	73	80,59
3	4	2	Mínima	73	79,97
4	6	2	Mínima	73	80,37
5	4	1	Múltiplo Inteiro	74	80,91
6	6	1	Múltiplo Inteiro	73	80,59
7	4	2	Múltiplo Inteiro	73	79,99
8	6	2	Múltiplo Inteiro	73	80,36

Fonte: Autores, 2017

A partir das respostas obtidas em função de y_1, nota-se que, em todos os ensaios realizados, o sistema de piso ensaiado atende ao desempenho mínimo segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), conforme mostrado na Tab. 1. Obtém-se a tabela de coeficientes de contraste, Tab. 4, onde os efeitos principais estão representados pelas colunas dos fatores F, Fv e M, e os efeitos de interações binária e ternária estão representados pelas demais colunas.

Tabela 4: Matriz de Coeficientes de Contraste

Ensaios	Fatores							Resposta (y_1) em $L'nT, w$	Resposta (y_2) em L
	F	Fv	M	FFv	FM	FvM	FFvM		
1	-	-	-	+	+	+	-	74	80,86
2	+	-	-	-	-	+	+	73	80,59
3	-	+	-	-	+	-	+	73	79,97
4	+	+	-	+	-	-	-	73	80,37
5	-	-	+	+	-	-	+	74	80,91
6	+	-	+	-	+	-	-	73	80,59
7	-	+	+	-	-	+	-	73	79,99
8	+	+	+	+	+	+	+	73	80,36

Fonte: Autores, 2017

A determinação dos efeitos para o planejamento em função das respostas y_1 e y_2 é dada inicialmente pela Eq. 03:

$$R = X^T \cdot y \quad [\text{Eq. } 03]$$

Sendo: X^T a matriz transposta de coeficientes de contraste mostrada na Tab. 4. Dividindo o primeiro termo do vetor R, referente à média, por 8 e os demais termos por 4, tem-se os valores dos efeitos (NETO et al., 2001), para ambas as respostas, como mostrado na Tab. 5. A

análise por meio de gráficos normais permite distinguir, nos resultados do planejamento, os efeitos significativos e os desprezíveis, conforme os Graf. 1 e 2 gerados no software Matlab®.

Gráfico 1: Gráfico normal em função de y_1

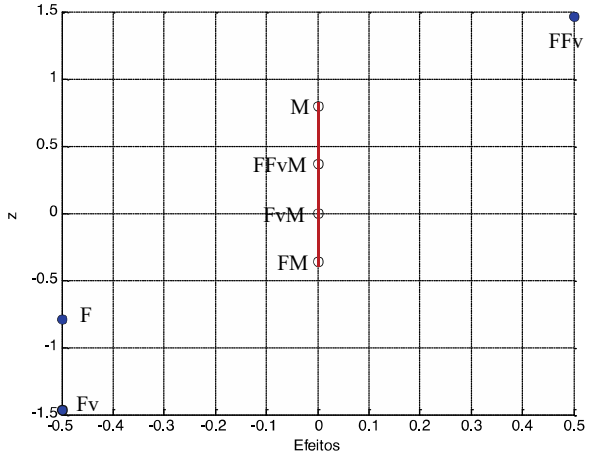
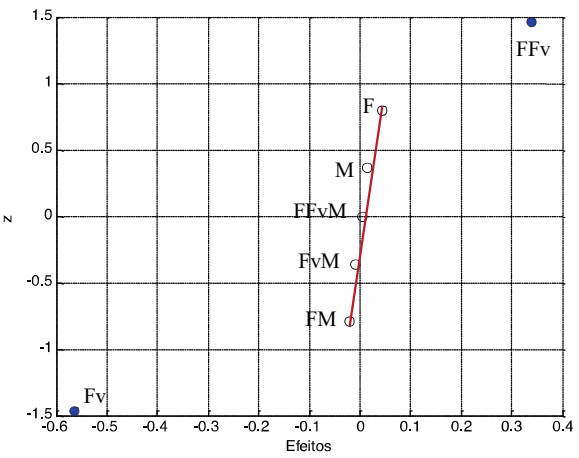


Gráfico 2: Gráfico normal em função de y_2



No Graf.1, o efeito M, correspondente à quantidade de posições de microfones na sala receptora, e os efeitos de interação binária e ternária FM, FvM e $FFvM$, aproximam-se de uma reta passando pelo ponto $(x, z) = (0, 0)$. Logo, faz sentido considerar esses pontos como vindos de uma população normal de média zero, ou seja, eles representam efeitos sem nenhum significado físico. Já os efeitos não contidos na reta, de primeira ordem F e Fv e o efeito de interação binária FFv, são considerados significativos, não sendo portanto pertencentes da mesma população normal de média zero que produziu os pontos centrais.

No Graf. 2 a situação é semelhante: a reta passando pelo ponto $(x, z) = (0, 0)$ contém os efeitos desprezíveis FM, FvM e $FFvM$ e os efeitos de primeira ordem F e M. Nota-se que, em ambos os casos, o efeito M revela-se realmente insignificante, levando todas as interações de primeira e segunda ordem que o contém para um valor próximo de zero. Para os resultados do planejamento em função de y_2, admitindo que os efeitos principal Fv e de interação binária FFv bastam para descrever adequadamente a superfície de resposta, pode-se usar os demais efeitos para obter uma estimativa do erro experimental. Inicialmente, elevando cada valor ao quadrado, teremos uma estimativa da variância de um efeito, e a média dos cinco valores nos dará uma estimativa conjunta, com 5 graus de liberdade, conforme a Eq. 04.

$$V(e) = \frac{(v_1 \cdot {s_1}^2 + v_2 \cdot {s_2}^2 + \cdots + v_N \cdot {s_N}^2)}{v_1 + v_2 + \cdots + v_N} = 5{,}55\ x\ 10^{-4} \qquad [\text{Eq. } 04]$$

Sendo: $v_i = n_i - 1$ é o número de graus de liberdade de ${s_i}^2$, a estimativa da variância do *i-ésimo* ensaio. Finalmente, calcula-se o erro padrão por:

$$Ep = \sqrt{V(e)} = 0{,}023 \qquad [\text{Eq. } 05]$$

Para o planejamento em função de y_1, tendo em vista que os efeitos não significativos M, FM, FvM e $FFvM$ possuem valor igual a zero, conforme mostra a Tab. 5, o erro padrão dos efeitos será igualmente zero.

Tabela 5: Cálculo dos Efeitos e Erros padrão

Ensaios	Resposta (y_1) em $L'nT, w$	Resposta (y_2) em L
Média	73,250 ± 0,000	80,455 ± 0,023
Efeitos principais		
F	-0,500 ± 0,000	0,045 ± 0,023
Fv	-0,500 ± 0,000	-0,565 ± 0,023
M	0,000 ± 0,000	0,015 ± 0,023
FFv	0,500 ± 0,000	0,340 ± 0,023
FM	0,000 ± 0,000	-0,020 ± 0,023
FvM	0,000 ± 0,000	-0,010 ± 0,023
FFvM	0,000 ± 0,000	0,005 ± 0,023

Fonte: Autores, 2017

O intervalo de confiança para os efeitos com 95% de confiança pode ser calculado por:

$$|Efeito| > t_v \,.\, s(efeito) \qquad \text{[Eq. 06]}$$

Para o planejamento em função de y_2, no nível de 95% de confiança o valor de *t* com 5 graus de liberdade é 2,571. A partir do resultado da Eq. 06, verifica-se o valor limite para a significância de um efeito será de 0,059. Ao observar os valores dos efeitos da Tab. 5, comprova-se que apenas os efeitos Fv e FFv, cujos módulos são superiores a este valor, são significativos neste nível de confiança. Já no caso do planejamento em função de y_1, o valor limite para significância de um efeito é zero, confirmando os dados obtidos no Graf. 1, que contém os efeitos F, Fv e a interação FFv como significativos. A interpretação geométrica desses resultados está mostrada nas Fig. 3 e Fig. 4. Nota-se que os efeitos principais e de interação se dão por contrastes entre faces opostas e entre planos diagonais, respectivamente.

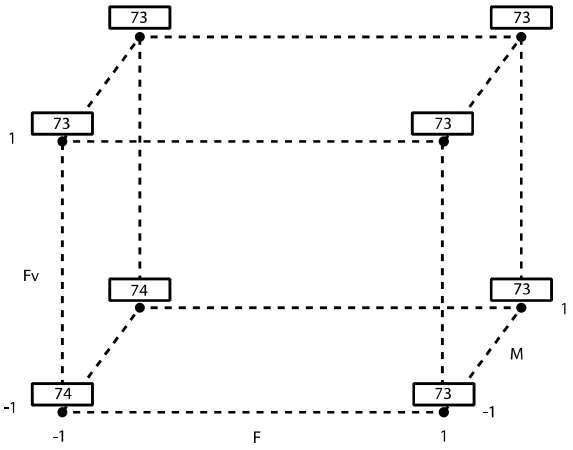


Figura 3: Interpretação geométrica em função de y_1

Fonte: Acervo pessoal

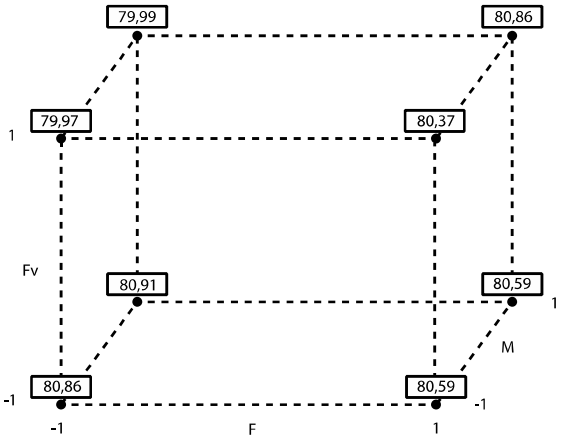


Figura 4: Interpretação geométrica em função de y_2

Fonte: Acervo pessoal

5. CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado a partir da aplicação de técnicas de planejamento fatorial de dois níveis visando analisar a sensibilidade da medição de campo para estimativa do comportamento acústico de sistemas de piso ao ruído de impacto. Considerando a ocorrência de diferenças nos mecanismos de transmissão sonora devido à heterogeneidade do sistema ensaiado, e as consequentes diferenças na estimativa de seu comportamento, o estudo teve

como propósito verificar a existência de sensibilidade na interpretação da norma. Para os devidos fins, foram realizados ensaios de campo de um sistema de piso específico - laje do tipo nervurada bidirecional com a presença de viga em concreto armado -, variando fatores de possível influência na estimativa do desempenho acústico do elemento ensaiado.

Os dados obtidos a partir dos ensaios foram analisados em função dos valores de $L'nT,w$ e de L. Para o planejamento realizado em função dos valores de $L'nT,w$, verificou-se que apenas os efeitos dos fatores de primeira ordem F e Fv, correspondentes à quantidade de posições de MIP total e sobre a viga na sala emissora, bem como a interação entre estes fatores, são realmente significativos. Neste caso, a significância dos demais efeitos pôde ser desprezada. Já no planejamento em função dos valores de L, verificou-se comportamento semelhante, com exceção do efeito do fator F, correspondente à quantidade de posições de MIP na sala emissora, que aparece como efeito estatisticamente não significativo. Em ambos os casos, descarta-se a significância do efeito relativo à quantidade de posições de microfone na sala receptora, além de todas as interações que contêm este fator.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT (2013).

____. **10151: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.** Rio de Janeiro: ABNT (2000).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-7: Acoustics – Measurement of sound insulation in building elements – Part 7: Field measurements of impact sound insulation of floors** (1998).

____. **ISO 16283-2: Acoustics – Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation** (2015).

____. **ISO 717-2: Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 2: Impact sound insulation** (2013).

____. **ISO 3382-2: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms** (2008).

____. **ISO 3382-1: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces** (2009).

DUTRA, C. **Análise teórica e experimental de lajes cogumelo nervuradas e, escala reduzida**. 2005. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (2005).

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. 5th edition, John Wiley & Sons, Inc. (2001).

NETO, B; SCARMINIO, I; BRUNS, R. **Como fazer experimentos. Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Editora da UNICAMP, Campinas (2001).

NUNES, M. F; ZINI, A; PAGNUSSAT, D. **Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto**. In: XXIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, Campinas. **Anais...** Campinas: SOBRAC (2014).

RINDEL, J.H. **Sound insulation of buildings**. In: THE INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING, 36, 2007, Istanbul. Proceedings... Istanbul (2007)

SCHUCH, A. M. **Avaliação experimental do isolamento do ruído de impacto nas frequências de 80 a 400 Hz**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (2013).