INDÍCIOS DE ISOLAMENTO ACÚSTICO DE RUÍDO DE IMPACTO SOCIALMENTE ESTRATIFICADO EM MINAS GERAIS

Victor Mourthé Valadares (1); Liliane Fernandes Maciel (2); Hugo Sampaio Líbero (3)

(1) Doutor em Ciências, Mestre em Engenharia Civil, Arquiteto e Urbanista, vmares.bhz@gmail.com , Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo, Rua Paraíba 697, sl. 319 Funcionários, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP 30.130- 141, + 55 31 9 8896 – 9801

(2) Mestre em Arquitetura e Uranismo, Arquiteta e Urbanista, lilianef@fasa.edu.br Faculdades Santo Agostinho – Montes Claros (FASA- MOC), Avenida Osmane Barbosa, 937, Montes Claros, Minas Gerais, CEP 39.404 – 006, +55 9 31 9 9762 1414

(3) Mestre em Engenharia de Estruturas , Engenheiro de Controle e Automação, hugo.libero@gmail.com, Faculdades Santo Agostinho – Montes Claros (FASA- MOC) , Avenida Osmane Barbosa, 937, Montes Claros, Minas Gerais, CEP 39.404 – 006, +55 38 9 9915 0505

RESUMO

A norma de desempenho NBR 15.575 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, mobilizou o setor habitacional da indústria da construção civil nacional para se informar a respeito do nível de desempenho dos sistemas construtivos praticados na atualidade. Nesse contexto, este trabalho objetivou, através de um estudo exploratório de campo dentro e fora da região metropolitana de Belo Horizonte, verificar o desempenho de lajes de entrepisos de unidades habitacionais autônomas em termos do parâmetro L'_{nTw} descritor do isolamento acústico de ruído de impacto. Como resultado, é apontado o indício de que as classes sociais de menor poder econômico na sociedade mineira não habitam edificações recentemente construídas com desempenho de isolamento de ruído de impacto em conformidade com a exigência da norma técnica vigente sobre o tema.

Palavras-chave: medições acústicas, isolamento acústico de ruído de impacto, desempenho acústico de laje de entrepisos.

ABSTRACT

Standard NBR 15.575 published by the Brazilian Technical Standard Association ABNT gave rise to investigations in the housing sector of the national civil building industry, which is looking for information on the acoustic performance of building floors and other subjects. In this context, the purpose of this paper is to present data on impact noise insulation of floors of some new buildings in the Minas Gerais state, in Brazil, inside and outside metropolitan zone of Belo Horizonte city. The data is necessary in order to verify if there is accordance with standard criteria. Results pointed at the fact that lower social class in Mina Gerais is living in new apartaments which do not agree with the standard criteria, revealing a possible social stratification in impact noise insulation.

Keywords: acoustic measurements, impact sound insulation, floor acoustic performance.

1. INTRODUÇÃO

Com a vigência da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2003) surgiu a necessidade do setor habitacional da indústria da construção civil nacional se informar a respeito do nível de desempenho dos sistemas construtivos praticados, inclusive do ponto de vista da privacidade acústica, em termos dos parâmetros acústicos de avaliação globais de diferença de nível "D" por exemplo - para ruído de origem aérea - e nível de pressão sonora de ruído de impacto "L" - para ruídos de origem estrutural.

A importância de tal informação, desde então, consistiu em conscientizar os projetistas sobre a eventual exigência de ajuste tecnológico nos sistemas construtivos vigentes das vedações verticais de fachadas ou partições entre recintos das unidades habitacionais, de seus pisos e suas coberturas, no intuito de atender às prescrições de desempenho acústico preconizadas pela norma em tela.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo verificar a diferença de desempenho de isolamento acústico de ruído de impacto e sua ordem de grandeza em relação aos entrepisos de pavimentos edilícios de unidades habitacionais distintas praticados em empreendimentos habitacionais mineiros. A quantidade descritora de isolamento de ruído de impacto consistiu no nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw}. O trabalho consistiu de investigação exploratória, cujo o universo amostral abrangeu exemplares edilícios selecionados por amostragem intencional dentro e fora da região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Tais exemplares foram referentes a extratos sociais de menor poder econômico na sociedade brasileira, focado na demanda da baixa classe média (EHBCM) e para os extratos de poder econômico maior, da alta classe média (EHACM)[1].

2. OBJETIVO

Obtenção do parâmetro L'_{nTw} em uma amostra restrita de EHBCM e EHACM, fora e dentro da RMBH, em ambientes de quarto e sala de estar, para comparação entre si e avaliação de desempenho conforme a NBR - 15.575, parte 3 (ABNT, 2003).

3. MÉTODO

O método deste trabalho foi dividido em três etapas principais:

1. Identificação de dois exemplares edilícios EHBCM e dois EHACM, sendo um de cada dupla dentro da RMBH e o outro fora dela.

2. Medições acústicas de nível de pressão sonora espaço-temporal e medições de campo do isolamento de ruído de impacto de pisos, em um dos EHBCM selecionados para comparação entre os valores de L'_{nTw} calculados ora com o Tempo de Reverberação medido (TR_m), ora com o Tempo de Reverberação estimado (TR_e), de modo a otimizar a atividade experimental, admitindo, conforme assegurasse o resultado experimental, obter L'_{nTw} aplicando o fator de correção baseado no TR_e e não no TR_m.

3. Cálculo dos valores de L'_{nTw} de entrepisos dos quartos e salas selecionados e avaliação de desempenho de isolamento de ruído de impacto.

3.1. Seleção dos exemplares edilícios para EHBCM e EHACM

A amostragem utilizada para tal seleção foi de natureza intencional, proporcionada, por questões de ordem prática, dentro do âmbito de relações profissionais dos pesquisadores com construtoras que demandavam informações sobre o desempenho de isolamento de ruído de impacto de entrepisos de sistemas construtivos praticados nos empreendimentos imobiliários habitacionais recentemente produzidos.

Dentro da RMBH foram selecionados dois edifícios habitacionais, um deles de três pavimentos para compor o grupo EHBCM e o outro com mais de três pavimentos para compor o grupo EHACM. Fora da RMBH foram selecionados dois edifícios habitacionais, um deles também de três pavimentos para compor o grupo EHBCM e o outro também com mais de três pavimentos para compor o grupo EHACM. Não consta aqui informações das localidades e fotos desses edifícios por uma questão de sigilo informacional que se estenderá inclusive à descrição de detalhes dos sistemas construtivos praticados, de forma a não expor as construtoras e as comunidades edilícias, tendo em vista a ausência de autorização para socializar tais informações. É suficiente informar que os edifícios selecionados foram produzidos por construtoras mineiras

[1] Estratificação segundo *Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE) e livro "Estratificação Socioeconômica e Consumo no Brasil" a partir de* http://g1.globo.com/economia/seu-dinheiro/noticia/2013/08/veja-diferencas-entre-conceitos-que-definem-classes-sociais-no-brasil.htmlde 20/08/2013 07h19 – Atualizado em 11/11/2014 16h08.

do contexto da indústria da construção civil em Minas Gerais, atendendo demanda atual habitacional de edificações por parte das camadas mais populares e mais elitizadas da sociedade desse estado brasileiro. Todos os cômodos estavam vazios, com piso revestido, com apartamento na situação de pronta-entrega.

3.2. Medições acústicas de nível de pressão sonora de ruído de impacto

Os ambientes de emissão de ruído de impacto consistiram daqueles de Quarto (Q) e Sala de Estar (S) dos apartamentos em pavimento superior disponíveis à época dos ensaios nos exemplares edilícios dos grupos EHBCM e EHACM. Os ambientes de imissão consistiram daqueles correlatos no pavimento inferior de unidades habitacionais distintas: fonte sobre o piso de um Q em pavimento superior exercendo ruídos percussivos através de gerador de ruído impacto sobre a laje de teto do Q correlato da outra unidade habitacional no pavimento inferior; fonte sobre o piso da S em pavimento superior exercendo ruídos percussivos através de gerador de ruído impacto sobre a laje de teto da S da outra unidade correlata habitacional no pavimento inferior. Os

O gerador de ruído de impacto consistiu de um Tapping Machine Generator Calpest – one *01dB* Calp 03/11-09/09/B161. Na Figura 1 consta um croqui da planta de um ambiente quarto, com a distribuição de pontos de locação do gerador de ruído de impacto no ambiente fonte, a qual foi a mesma adotada para locação do analisador de ruído Investigator 2260 – *B&K*, no ambiente fonte receptor. Na Figura 2 consta um croqui do corte ilustrando os posicionamentos do gerador de ruído de impacto no centro do ambiente e do analisador de ruído percorrendo os pontos de medição definidos durante os experimentos de coleta de dados acústicos.



Figura 1 - Croqui de locação dos pontos de medição acústica nos quartos superior e inferior do EHBCM_1, dentro da RMBH.

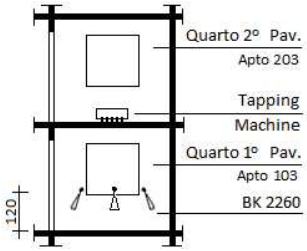


Figura 2 - Croqui de locação dos pontos de medição acústica no pavimento superior e inferior do EHBCM_1, dentro da RMBH.

Para cada posição do gerador de ruído de impacto no ambiente fonte, o analisador de ruído coletou níveis de pressão acústica equivalente-contínuo em cinco pontos no ambiente receptor, produzindo uma média espaço-temporal de níveis de pressão acústica de ruído de impacto em terços de oitava (Li) num intervalo espectral entre 100 Hz e 3,15 kHz. Os procedimentos experimentais de coleta dos dados acústicos foram baseados na norma ISO 140, parte VII. Desse conjunto de dados acústicos de primeira ordem - valores de Li nesses cinco pontos por ambiente receptor - foi possível criar uma base de dados acústicos secundária - valores de nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado (L'nT) referente à transmissão através da laje de entrepisos entre Q ou S nos exemplares edilícios - de modo a ser possível definir os valores de nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado (L'nTw) ou seja os dados acústicos de terceira ordem desse trabalho.

Como os dados acústicos de segunda ordem aqui produzidos dependem de informações sobre o tempo de reverberação (TR) em cada Q e S receptores, fez-se uma avaliação sobre a pertinência de se adotar valores estimados de TR (TR_e) ao invés de se basear em valores medidos (TR_m). Através de um estudo de correlação linear entre TR_m e TR_e, foi obtido um coeficiente de correlação forte ($r^2 \sim 0,9$) resultando em diferença de 1 dB nos valores de L'nTw baseados em valores de TR_e substituindo TR_m, o que validou a ideia dessa substituição. Isto foi necessário tendo em vista otimizar a atividade experimental e sua logística, diante das restrições impostas de permanência nos ambientes liberados para os experimentos.

3.3. Cálculo do L'nT e avaliação de desempenho quanto ao ruído de impacto

O cálculo dos valores dos descritores acústicos L'nT também foram baseados na norma ISO 140, parte VII. A partir do ajuste da posição da curva de valores de referência de ruído de impacto dessa norma (CRI) sobre a curva de valores calculados de L'nT, o valor do parâmetro acústico nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado ponderado, L'_{nTw}, foi definido conforme a ISO 717 em 500Hz sobre a CRI. A partir desses valores, foi feita a comparação entre eles nos grupos EHBCM e EHACM: i. dentro de cada grupo específico; ii. entre os grupos. A avaliação de desempenho quanto ao ruído de impacto baseou-se na

comparação dos valores definidos de L'_{nTw} com o critério definido na Tabela 6 da NBR 15.575, parte 3, ou seja, o limite de 80 dB: o atendimento ao critério preconizado pela norma se dá quando L'_{nTw} definido a partir do ensaio é igual ou inferior ao critério da referida tabela da norma ($L'_{nTw} \leq 80$ dB).

4. RESULTADOS E SUA ANÁLISE

Os resultados obtidos neste trabalho são referentes ao final do segundo semestre de 2018 e início do primeiro semestre de 2019. A partir de sua apresentação por meio da sequência de quadros, tabelas e figuras aqui reunidas, procedeu-se concomitantemente à sua análise e avaliação. No Quadro 1 constam características arquitetônicas dos ambientes de Q e S dos exemplares edilícios de EHBCM e EHACM.

Quadro 1 – Características arquitetônicas dimensionais dos ambientes objeto de ensaios acústicos nos exemplares edilícios

Grupo	Na RMBH	Tipo do Ambiente	Pé-direito [m]	S_{PS} [m^2]	S_T [m^2]	S_{ALV} [m^2]	S_{VDR} [m^2]	S_{PRT} [m^2]	Volume [m^3]
EHBCM_1	X	Quarto	2,69	9,14	9,14	31,49	1,92	1,68	26,49
		Sala	2,70	16,45	16,45	47,78	1,70	1,68	47,50
EHBCM_2		Quarto	2,69	8,43	8,43	28,33	1,48	1,45	22,67
		Sala	2,68	16,86	16,86	47,76	1,46	1,43	45,17
EHACM_1	X	Quarto	2,69	11,67	11,67	53,53	1,32	1,26	32,09
		Sala	2,85	28,76	28,76	44,96	8,00	6,51	81,96
EHACM_2		Quarto	2,68	8,98	8,98	28,82	1,72	1,43	24,15
		Sala	2,63	33,00	33,00	64,09	3,16	5,12	88,44

Siglas: S_{PS} : área do piso; S_T : área do teto; S_{ALV} : área de alvenaria; S_{VDR} : área de janela; S_{PRT} : área de porta.

4.1. Diferença no valor de L'nTw segundo modos de estimativa de Tempo de Reverberação

No ambiente Q do EHBCM_1 foi feito o estudo da influência do modo de estimativa do TR sobre o parâmetro L'nTw. Na Figura 3 é apresentada a forte correlação entre os resultados de TR obtidos por meio de medição acústica e por seu cálculo (VALADARES, 2002) com r^2 da ordem de 0,9. Cada ponto do gráfico contido na dita figura consiste numa média de 3 medidas.

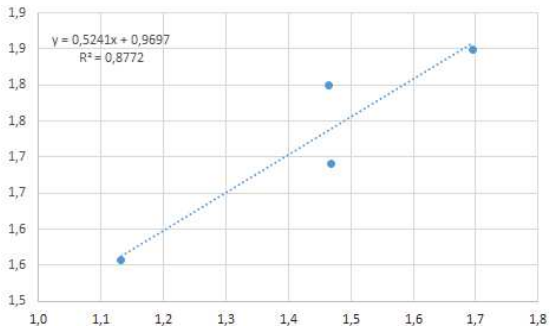


Figura 3 – Correlação obtida entre valores medidos e valores estimados de tempo de reverberação para estimativa de L'nt,w

Nas tabelas 1 e 2 são apresentados os dados acústicos de primeira, segunda e terceira ordens relativo ao ambiente Q do EHBCM_1, obtidos com TR_m e TR_e, respectivamente. Embora já nessas tabelas conste o valor definido do parâmetro em foco, nas figuras 4 e 5 é apresentado o procedimento visualizado destas definições, cujos resultados foram L'nTw = 88 dB com base em TR_m e L'nTw = 87 dB com base em TR_c, ou seja, resultando numa variação de 1 dB. Dessa constatação, optou-se pela definição dos valores de L'nTw nos demais ambientes desse estudo nos EHBCM e EHACM com base nos valores de TR_e.

Na sequência de colunas desse modelo de tabela apresentada neste texto, temos as frequências da abordagem espectral (F) indicadas na 1ª coluna. Valores de TR do ambiente considerado constam na 2ª coluna. Cada coluna da série das cinco seguintes reúne valores espectrais mensurados de nível de pressão sonora espaço-temporal no ambiente receptor por ponto de posicionamento do gerador de ruído de impacto (GRI) no ambiente fonte correlato (Li). Na coluna seguinte dessa série de colunas de dados de Li constam valores de L'nt. Na antepenúltima coluna estão os valores da curva de referência de ruído de impacto da norma ISO 717 (CRI), curva esta que teve seus valores ajustados presentes na penúltima coluna (CRIAj, valor do ajuste indicado a lado, em dB) segundo condições da norma verificadas na última coluna (Δ, razão

entre a soma dos desvios desfavoráveis ≤ -2 ou desvio geral; e desvio máximo desfavorável numa banda de frequência específica de - 8 dB, desvio específico).

Tabela 1 - Dados para obtenção do L'nt,w, no ambiente Quarto, no EHBCM_1, na RMBH, com TR medido

F	TR_m	Li $_{Q_GRI_P1}$	Li $_{Q_GRI_P2}$	Li $_{Q_GRI_P3}$	Li $_{Q_GRI_P4}$	Li $_{Q_GRI_P5}$	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: 28	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	4,3	67	74	75	70	75	82	62	90	-8
125	3,3	80	78	79	79	79	87	62	90	-3
160	2,4	81	79	82	80	82	88	62	90	-2
200	1,7	80	82	81	79	81	86	62	90	-4
250	1,7	82	84	83	82	83	88	62	90	-2
315	1,9	83	82	83	83	83	88	62	90	-2
400	2,1	82	83	84	84	84	90	61	89	1
500	1,5	86	84	86	86	86	90	60	**88**	2
630	1,2	87	89	87	90	87	92	59	87	5
800	1,3	86	88	87	88	87	91	58	86	5
1k	1,5	84	83	84	85	84	89	57	85	4
1,25 k	1,4	84	84	84	86	84	89	54	82	7
1,6 k	1,2	85	85	85	87	85	89	51	79	10
2 k	1,1	84	85	85	86	85	88	48	76	12
2,5 k	1,1	84	84	84	86	84	88	45	73	15
3,15 k	1,1	83	83	83	84	83	86	42	70	16
									ADG, [dB]:	-1

Siglas: L'nt,w : nível de pressão sonora de ruído de impacto padronizado ponderado; EHBCM_1: empreendimento habitacional para baixa classe média "1"; F: frequência; TR_m: tempo de reverberação medido; Li $_{Q_GRI_Pn:}$ nível de pressão sonora de ruído de impacto espaço-temporal no ambiente quarto para GRI posicionado em certo ponto de medição "n" = 1,2,3,4 e 5; GRI: gerador de ruído de impacto; L'nt: nível de pressão sonora de ruído de impacto normatizada; CRI: curva de valores de referência de ruído de impacto da ISO 717; CRI_{Aj} : curva de valores de referência de ruído de impacto ajustada; Δ, desvio desfavorável; ADG, avaliação do Δ geral.

Tabela 2 - Dados para obtenção do L'nt,w, ambiente Quarto, no EHBCM_1, na RMBH com TR calculado

F	TR_e	Li $_{S_GRI_P1}$	Li $_{S_GRI_P2}$	Li $_{S_GRI_P3}$	Li $_{S_GRI_P4}$	Li $_{S_GRI_P5}$	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: 27	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	3,2	67	74	70	75	72	81	62	89	-8
125	2,7	80	78	79	79	77	86	62	89	-3
160	2,2	81	79	80	82	80	87	62	89	-2
200	1,8	80	82	79	81	79	86	62	89	-3
250	1,9	82	84	82	83	82	89	62	89	0
315	2,0	83	82	83	83	84	88	62	89	-1
400	2,1	82	83	84	84	84	90	61	88	2
500	1,7	86	84	86	86	85	91	60	**87**	4
630	1,6	87	89	90	87	87	93	59	86	7
800	1,6	86	88	88	87	86	92	58	85	7
1k	1,7	84	83	85	84	83	89	57	84	5
1,25 k	1,7	84	84	86	84	84	90	54	81	9
1,6 k	1,6	85	85	87	85	85	90	51	78	12
2 k	1,6	84	85	86	85	84	90	48	75	15
2,5 k	1,5	84	84	86	84	84	89	45	72	17
3,15 k	1,5	83	83	84	83	82	88	42	69	19
									ADG, [dB]:	-1

Siglas: TR_e, Tempo de reverberação calculado. Para outras siglas, consultar Tabela 1.

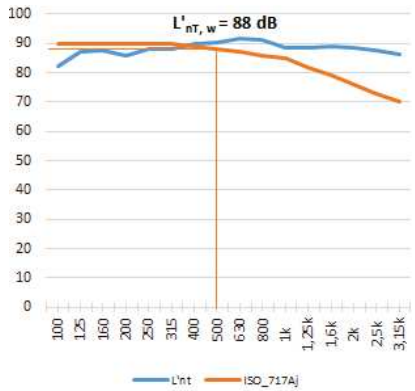


Figura 4 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHBCM_1, quarto, fora da RMBH e TR_m.

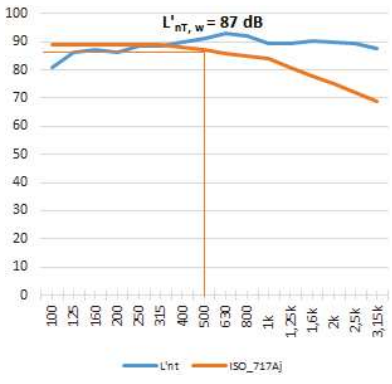


Figura 5 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHBCM_1, quarto, fora da RMBH e TR_e.

4.2. Dados acústicos coletados e valores calculados de L'nT e definidos de L'nTw

Nas tabelas 3 e 4 constam dados acústicos de todas as ordens, para Q e S, respectivamente no EHACM_1, dentro da RMBH. Nas figuras 6 e 7 está apresentado o procedimento visualizado de definição de L'nTw , cujo valor foi de 64 dB para o ambiente Q e 57 dB para o ambiente S.

No caso específico do ambiente S deste apartamento, tendo em vista o piso acabado ser de mármore, o gerador de ruído de impacto danificou o referido piso em alguns pontos, o que levou a equipe a eliminar registro de dados de Li num dos pontos de medição para diminuir o prejuízo com o reparo do piso. Este aspecto deve ser observado no planejamento do experimento caso se recorra ao uso da *tapping machine*. Para evitar tais eventuais danos, a avaliação de desempenho deveria ser feita sobre a laje antes do piso acabado e o critério da norma ajustado a esta circunstância. No Quadro 2 constam dados de L'nTw e suas variações no EHBCM_1 dentro da RMBH.

Tabela 3 - Dados para obtenção do L'nt,w, ambiente Quarto, no EHACM_1, dentro da RMBH com TR_e

F	TR_e	Li $_{Q_GRI_P1}$	Li $_{Q_GRI_P2}$	Li $_{Q_GRI_P3}$	Li $_{Q_GRI_P4}$	Li $_{Q_GRI_P5}$	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: 4	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	1,7	53	53	53	54	55	59	62	66	-7
125	1,6	54	55	54	57	54	60	62	66	-6
160	1,5	56	56	56	56	57	61	62	66	-5
200	1,4	55	55	57	58	54	61	62	66	-5
250	1,4	58	56	59	58	57	62	62	66	-4
315	1,4	58	55	58	57	57	62	62	66	-4
400	1,5	57	58	61	59	60	64	61	65	-1
500	1,4	57	56	60	58	59	63	60	**64**	-1
630	1,4	58	56	61	59	59	63	59	63	0
800	1,4	58	57	61	60	58	63	58	62	1
1k	1,4	61	59	63	62	62	66	57	61	5
1,25 k	1,4	61	60	63	62	61	66	54	58	8
1,6 k	1,4	62	60	63	62	62	66	51	55	11
2 k	1,3	62	61	63	62	62	66	48	52	14
2,5 k	1,3	63	62	64	63	62	67	45	49	18
3,15 k	1,3	62	60	62	61	61	66	42	46	20
									ADG, [dB]:	-2

Siglas: EHACM_1, empreendimento habitacional para alta classe média "1". Para outras siglas, consultar Tabela 1.

Tabela 4 - Dados para obter o L'nt,w, Sala, no EHACM_1, dentro da RMBH com TR_e

F	TR_e	Li $_{S_GRI_P1}$	Li $_{S_GRI_P2}$	Li$_{S_GRI_P3}$	Li $_{S_GRI_P4}$	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: -3	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	1,7	50	50	57	55	60	62	59	1
125	1,6	72	65	64	68	73	62	59	14
160	1,5	66	61	62	61	67	62	59	8
200	1,4	63	61	62	60	66	62	59	7
250	1,4	64	60	61	61	66	62	59	7
315	1,4	62	58	60	60	64	62	59	5
400	1,5	61	58	60	59	64	61	58	6
500	1,4	55	55	56	53	59	60	**57**	2
630	1,4	51	49	48	48	53	59	56	-3
800	1,4	46	45	45	45	49	58	55	-6
1k	1,4	43	43	41	41	46	57	54	-8
1,25 k	1,4	42	41	40	40	45	54	51	-6
1,6 k	1,4	42	41	40	42	45	51	48	-3
2 k	1,3	40	40	39	40	43	48	45	-2
2,5 k	1,3	39	38	37	38	41	45	42	-1
3,15 k	1,3	38	36	38	39	41	42	39	2
								AD, [dB]:	-2

Siglas: EHACM_1, empreendimento habitacional para alta classe média "1". Para outras siglas, consultar Tabela 1.

Quadro 2 – Resultados parciais de isolamento acústico de ruído de impacto e suas variações absolutas e percentuais

Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	L'nTw	(Variação Q – S)$_A$		Variação Q - Q		Variação S - S		(Variação Q – S)$_B$	
		[dB]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]
EHACM_1	Quarto	64	7	10,9	24	37,5	30	52,6	1	1,1
	Sala	57								
EHBCM_1	Quarto	88								
	Sala	87								

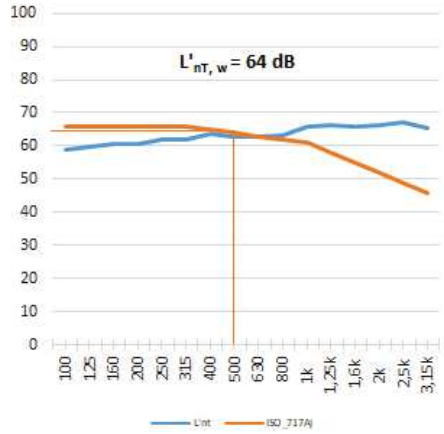


Figura 6 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHACM_1, quarto, dentro da RMBH e TR_e.

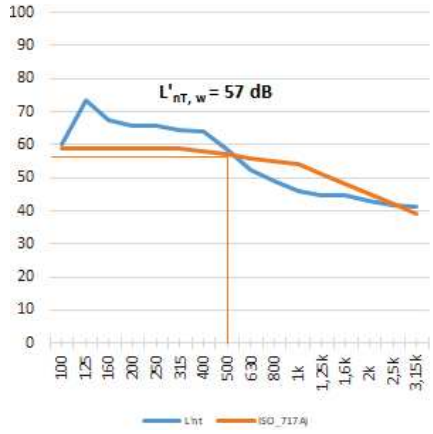


Figura 7 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHACM_1, sala, dentro da RMBH e TR_e.

Nas figuras 8 e 9 constam o procedimento visualizado de definições do L'nTw de Q e S, respectivamente, no EHACM_2, fora da RMBH. As tabelas 5 e 6 apresentam a base de dados para tais definições, nos referidos Q e S respectivamente, cujos resultados foram L'nTw = 79 dB para o ambiente Q e L'nTw = 82 dB para o ambiente S. No Quadro 3 constam dados de L'nTw no grupo EHACM e suas variações.

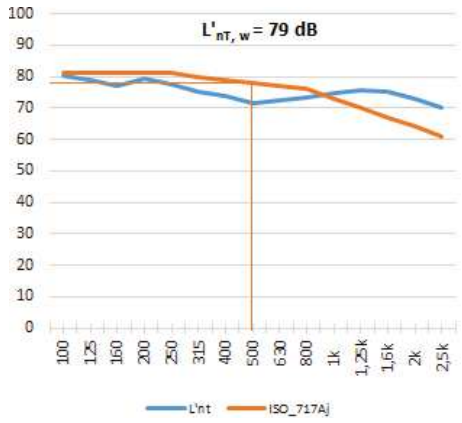


Figura 8 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHACM_2, quarto, fora da RMBH e TR_e.

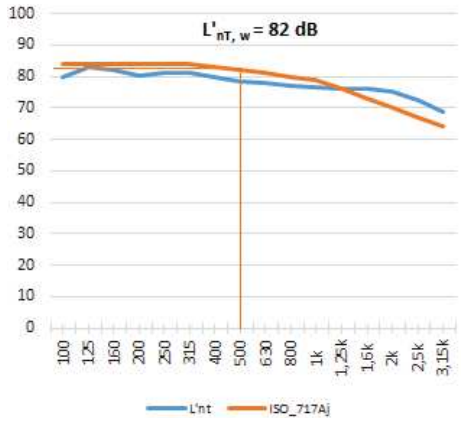


Figura 9 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHACM_2, sala, fora da RMBH e TR_e.

Tabela 5 - Dados para obter o L'nt,w, Quarto, no EHACM_2, dentro da RMBH com TR_e

F	TR_e	Li Q_GRI_P1	Li Q_GRI_P2	Li Q_GRI_P3	Li Q_GRI_P4	L i Q_GRI_P3	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: 18	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	2,3	66	70	72	71	70	77	62	81	-4
125	1,9	71	74	76	74	71	80	62	81	-1
160	1,5	71	74	75	74	71	79	62	81	-2
200	1,2	72	72	71	73	74	77	62	81	-4
250	1,3	74	74	73	75	77	80	62	81	-1
315	1,3	73	72	72	72	72	77	62	81	-4
400	1,4	69	69	69	71	72	75	61	80	-5
500	1,2	68	68	68	70	72	74	60	**79**	-5
630	1,0	67	67	67	68	69	72	59	78	-6
800	1,1	65	68	70	69	68	73	58	77	-4
1k	1,2	65	68	70	70	69	73	57	76	-3
1,25 k	1,1	68	70	72	71	70	75	54	73	2
1,6 k	1,1	68	71	73	72	72	76	51	70	6
2 k	1,0	69	71	72	72	71	75	48	67	8
2,5 k	1,0	68	69	70	70	70	73	45	64	9
3,15 k	1,0	65	66	67	67	67	70	42	61	9
									ADG, [dB]:	-2

Siglas: EHACM_2: empreendimento habitacional para alta classe média "2". Para outras, Tabela 1.

Tabela 6 - Dados para obter o L'nt,w, Sala, no EHACM_2, dentro da RMBH com TR_e

F	TR_e	Li S_GRI_P1	Li S_GRI_P2	Li S_GRI_P3	L i S_GRI_P4	Li S_GRI_P5	L'nt	CRI	CRI_{Aj}:21	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	5,6	72	66	69	69	68	80	62	84	-4
125	4,5	70	73	74	73	75	83	62	84	-1
160	3,5	71	75	72	76	74	82	62	84	-2
200	2,7	72	76	72	73	70	80	62	84	-4
250	2,7	71	77	71	75	74	81	62	84	-3
315	2,9	74	75	72	75	73	81	62	84	-3
400	3,2	71	73	71	73	70	80	61	83	-3
500	2,5	70	72	70	73	71	78	60	**82**	-4
630	2,1	70	73	71	72	72	78	59	81	-3
800	2,3	70	72	69	71	70	77	58	80	-3
1k	2,5	70	71	68	70	69	76	57	79	-3
1,25 k	2,4	70	71	68	69	68	76	54	76	0
1,6 k	2,2	70	70	69	70	69	76	51	73	3
2 k	2,1	70	70	69	69	69	75	48	70	5
2,5 k	2,0	67	67	66	66	66	72	45	67	5
3,15 k	2,0	63	63	63	63	63	69	42	64	5
									ADG, [dB]:	-2
Siglas: consultar Tabela 1.										

Quadro 3 – Resultados parciais de isolamento acústico de ruído de impacto e variações absolutas e percentuais para EHACM										
Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	L'nTw	(Variação Q – S) 1		Variação Q - Q		Variação S - S		(Variação Q – S) 2	
		[dB]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]
EHACM_1	Quarto	64	7	10,9	15	23,4	25	43,9	3	3,8
	Sala	57								
EHACM_2	Quarto	79								
	Sala	82								

A partir do Quadro 3, tomados os valores médios de L'nTw, geral ou parcial (entre quartos, salas, ou entre quartos e salas) em EHACM, praticamente atenderam ao critério de desempenho mínimo da NBR 15.575, uma vez que possuem valores igual ou inferiores a 80 dB. Dentro da RMBH, os valores obtidos de L'nTw foram menores, resultando num desempenho de isolamento acústico de ruído de impacto melhor.

Nas tabelas 7 e 8 constam dados acústicos de todas as ordens para Q e S, respectivamente no EHBCM_2, fora da RMBH. Nas figuras 10 e 11 está apresentado o procedimento visualizado de definição de L'nTw , cujo valor foi de 90 dB para o ambiente Q e 88 dB para o ambiente S. No Quadro 4 constam dados de L'nTw e suas variações no EHBCM_2 fora da RMBH.

Tabela 7 - Dados para obtenção do L'nt,w, ambiente Quarto, no EHBCM_2, fora da RMBH com TR_e

F	TR_e	$Li_{Q_GRI_P1}$	$Li_{Q_GRI_P2}$	$Li_{Q_GRI_P3}$	$Li_{Q_GRI_P4}$	$Li_{Q_GRI_P5}$	L'nt	CRI	CRI_{Aj}: 30	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	3,4	66	63	63	65	61	72	62	92	-20
125	2,8	71	67	69	70	83	84	62	92	-8
160	2,3	82	81	80	80	77	87	62	92	-5
200	1,8	78	79	78	80	80	85	62	92	-7
250	1,8	86	85	86	83	82	90	62	92	-2
315	1,9	84	84	84	83	85	90	62	92	-2
400	2,1	82	82	83	83	84	89	61	91	-2
500	1,7	83	82	82	82	86	88	60	**90**	-2
630	1,5	83	82	83	82	84	87	59	89	-2
800	1,6	82	82	82	82	83	87	58	88	-1
1k	1,7	82	82	82	82	83	88	57	87	1
1,25 k	1,6	82	82	82	82	83	87	54	84	3
1,6 k	1,5	82	81	81	82	83	86	51	81	5
2 k	1,5	81	80	81	81	82	86	48	78	8
2,5 k	1,4	81	79	80	81	81	85	45	75	10
3,15 k	1,4	78	76	76	78	78	82	42	72	10
									ADG, [dB]:	-2
Siglas: consultar Tabela 1.										

Tabela 8 - Dados para obtenção do L'nt,w, ambiente Sala, no EHBCM_2, fora da RMBH com TR_e

F	TR_e	$Li_{Q_GRI_P1}$	$Li_{Q_GRI_P2}$	$Li_{Q_GRI_P3}$	$Li_{Q_GRI_P4}$	$Li_{Q_GRI_P5}$	L'nt	DRI	CRI_{Aj} :28	Δ
[Hz]	[seg.]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
100	6,1	75	71	78	74	73	86	62	90	-4
125	4,9	77	74	71	78	75	86	62	90	-4
160	3,7	76	75	74	75	77	84	62	90	-6
200	2,7	78	79	79	77	78	85	62	90	-5
250	2,7	80	78	81	80	77	87	62	90	-3
315	2,9	78	80	81	80	79	87	62	90	-3
400	3,2	77	78	79	80	79	87	61	89	-2
500	2,4	77	78	78	79	80	86	60	**88**	-2
630	2,0	78	79	80	80	79	85	59	87	-2
800	2,2	79	78	80	80	79	85	58	86	-1
1k	2,4	78	79	80	80	79	86	57	85	1
1,25 k	2,3	78	78	80	80	79	86	54	82	4
1,6 k	2,1	78	78	79	79	79	85	51	79	6
2 k	2,0	77	78	79	79	78	84	48	76	8
2,5 k	1,9	77	76	78	78	77	83	45	73	10
3,15 k	1,8	74	73	75	76	74	80	42	70	10
									ADG, [dB]:	-2

Siglas: consultar Tabela 1.

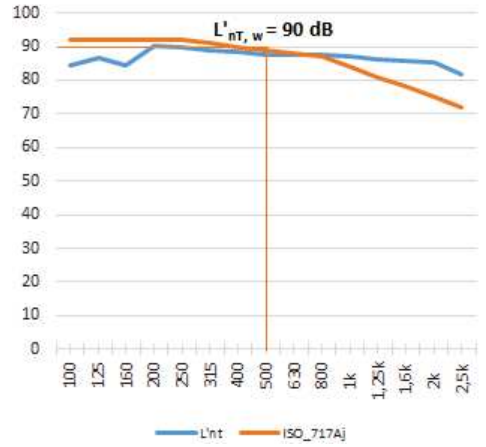


Figura 10 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHBCM_1, quarto, fora da RMBH e TR_e.

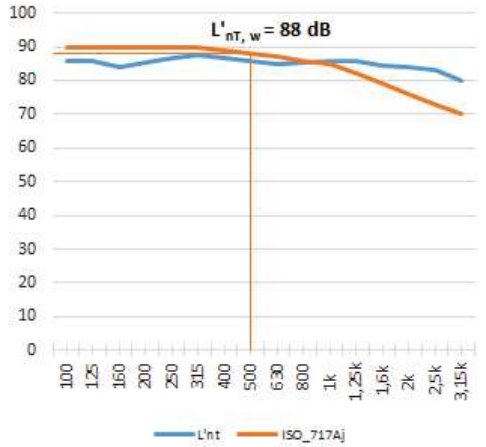


Figura 11 - Parâmetro L'nt,w segundo a ISO 717, em EHBCM_1, sala, fora da RMBH e TR_e.

Quadro 4 – Resultados parciais de isolamento acústico de ruído de impacto e suas variações absolutas e percentuais para EHBCM

Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	L'nTw	(Variação Q – S) 1		Variação Q - Q		Variação S - S		(Variação Q – S) 2	
		[dB]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]
EHBCM_1	Quarto	88	1	1,1	2	2,3	1	1,2	2	2,3
	Sala	87								
EHBCM_2	Quarto	90								
	Sala	88								

A partir do Quadro 4, tomados os valores médios de L'nTw, geral ou parcial (entre quartos, salas, ou entre quartos e salas) em EHBCM, estes não atenderam ao critério de desempenho mínimo da NBR 15.575, uma vez que possuem valores sempre maiores a 80 dB. Fora da RMBH, os valores obtidos de L'nTw foram maiores, resultando num desempenho de isolamento acústico de ruído de impacto pior. No Quadro 5 constam dados de L'nTw e suas variações no EHBCM_2 dentro da RMBH.

Quadro 5 – Resultados parciais de valores de isolamento acústico de ruído de impacto e suas variações absolutas e percentuais

Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	L'nTw	$(Variação Q – S)_A$		Variação Q - Q		Variação S - S		$(Variação Q – S)_B$	
		[dB]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]	[dB]	[%]
EHACM_2	Quarto	79	3	3,8	11	13,9	6	7,3	2	2,2
	Sala	82								
EHBCM_2	Quarto	90								
	Sala	88								

No Quadro 6 constam valores médios parciais e gerais de L'nTw por grupo exemplar edilício comparados ao critério vigente na NBR -15575, Parte 3. Por fim o Quadro 7 apresenta os valores absolutos e percentuais entre esses valores médios parciais e gerais de isolamento acústico de ruído de impacto e o critério estabelecido pela referida norma.

Quadro 6 – Resultados médios de isolamento acústico de ruído de impacto por grupo de exemplar edilício comparados ao critério

Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	L'nTw [dB]	Critério NBR 15575 - 3	L'nTw [dB]	Tipo de Ambiente	Grupo de Exemplar Edilício
EHACM_média	Parcial Quarto	72	80	89	Parcial Quarto	EHBCM_média
	Parcial Sala	70		88	Parcial Sala	
	Geral	71		89	Geral	

Quadro 7 – Diferenças absolutas e percentuais entre o critério de isolamento acústico de ruído de impacto e médias de L'nTw

Grupo de Exemplar Edilício	Tipo de Ambiente	Diferença [%]	Diferença [dB]	Critério NBR 15575 - 3	Diferença [dB]	Diferença [%]	Tipo de Ambiente	Grupo de Exemplar Edilício
EHACM_média	Parcial Quarto	10	-8	80	+ 9	11,3	Parcial Quarto	EHBCM_média
	Parcial Sala	12,5	- 10		+ 8	10	Parcial Sala	
	Geral	11,3	- 9		+ 9	11,3	Geral	

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos de valores de L'nTw predominantemente inferiores aos critérios de desempenho mínimo determinados pela NBR 15.575, parte 3, em EHBCM e predominantemente superiores quando se tratando de EHACM são indícios de estratificação de isolamento acústico de ruído de impacto no contexto habitacional da indústria da construção civil mineira.

No caso de imóveis habitacionais destinados às classes de maior poder aquisitivo, na RMBH houve um desempenho de isolamento acústico melhor do que fora dela. Tal variação de desempenho não foi observada em imóveis habitacionais destinados às classes de menor poder aquisitivo. Tal uniformidade de baixo desempenho em EHBCM pode ser explicada por uma contingência de homogenização de soluções tecnológicas para cumprir com o requisito de baixo custo requerido na produção de edifícios residenciais para atender a demanda dessa classe social de menor poder aquisitivo.

Esse indício identificado de isolamento acústico de ruído de impacto socialmente estratificado em Minas Gerais, por se tratar de um estudo exploratório, requer uma investigação mais aprofundada sobre o desempenho dos sistemas de lajes de entrepisos praticados na indústria de construção civil mineira do setor habitacional e, uma vez constado tal fenômeno de estratificação, a indústria da construção civil do setor habitacional em minas gerais deve envidar esforços no sentido de modo corrigir tal fenômeno por inovações tecnológicas para o atendimento à NBR 15.575 – 3 independente da classe social. Tal inovação tecnológica também deve estar preparada para responder aos aumentos vindouros no nível de desempenho requerido pela referida norma para isolamento acústico de ruído de impacto, hoje estabelecido como mínimo.

Por fim, os dados disponibilizados neste artigo em termos de conteúdo e forma de disposição nas tabelas e gráficos apresentados também podem ser uteis ao uso didático na formação de profissionais em arquitetura e engenharia interessados em atuar no campo da acústica edilícia mediante sua formação através dos cursos de graduação, pós-graduação disponíveis para tal, seja em território nacional ou global.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que direta e indiretamente tornaram possíveis o desenvolvimento deste trabalho, com destaque à Faculdade Santo Agostinho – Montes Claros - MG, especialmente na pessoa de seu Diretor Geral Antônio Augusto Pereira Moura, assim como ao Prof. Hani Camille Yehia do Departamento de Engenharia Eletrônica da UFMG que auxiliou na readequação da instrumentação para medições envolvidas neste trabalho e parcialmente na coleta de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 15575-3: Edificações residenciais - Desempenho Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2003.

ISO 140 - *Measurement of sound insulation in buildings and buildings elements.* Part 7, 1978, 1998.

ISO 717 - *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements.* Part 2, 1968, 1982, 1996, 2006, 2013.

Nakahara, Yuki; Yutaka Kaneda (2015) *'Effective measurement method for reverberation time using a constant signal noise-to-noise ratio swept sine signal'* Acoust. Soc. & Tech. vol. 36(4).