

Área: Sustentabilidade | Tema: Cidades Sustentáveis e Inteligentes

**COMPARATIVO ACÚSTICO E DO CONSUMO DE MATERIAIS SOB O VIÉS SUSTENTÁVEL DE
DIFERENTES TIPOLOGIAS DE LAJES NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**COMPARATIVE ACOUSTICS AND CONSUMPTION OF MATERIALS UNDER SUSTAINABLE VIEWS
OF DIFFERENT TYPOLOGIES OF CIVIL CONSTRUCTION**

Willian Magalhães De Lourenço, Camila Taciane Rossi, Joao Luiz Dobrovolski Tochetto, Betina Pituco e

Joaquim Cesar Pizzutti Dos Santos

RESUMO

Após a modernização dos métodos e materiais construtivos advindos da revolução industrial, gerou impactos preponderantes para a reflexão crítica do modo como a engenharia e arquitetura se relacionam com as edificações e seu comportamento. Frente a isso, algumas dessas modernizações trouxeram impactos degradantes para o meio ambiente e para a qualidade de vida dos usuários e também das edificações, esta pesquisa aborda dois parâmetros: acústico e a sustentabilidade sob o viés do consumo de materiais adotados. Faz-se uma análise crítico-comparativa do desempenho acústico de lajes versus o consumo de materiais em lajes, elencando sete tipologias para traçar comparativos. O desempenho acústico é caracterizado pela NBR 15575 e pelas normas ISO 16283 para as medições acústicas e a norma ISO 717-2 para o tratamento de dados numéricos. O consumo de materiais é desenvolvido pelo estudo de Albuquerque (1999) que permite dialogar com a questão sustentável das lajes utilizadas na construção civil. Tais análises permitem refletir que dentre as sete tipologias em estudo, a laje pré-fabricada com vigotas treliçadas apresenta os menores valores de consumo de aço e formas de madeira, e seu desempenho acústico está dentre os três melhores resultados (63 dB). Ainda em comparativo, a laje nervurada apresenta seu desempenho acústico em 62 dB e o menor volume de uso de concreto para sua execução. Este estudo aborda a relevância da interdisciplinaridade crítica frente as questões de desempenho e meio ambiente sob o viés da construção civil.

Palavras-Chave: Acústica, Sustentabilidade, Construção Civil

ABSTRACT

After the modernization of construction methods and materials resulting from the industrial revolution, it generated major impacts for the critical reflection of the way engineering and architecture relate to buildings and their behavior. Given this, some of these modernizations brought degrading impacts on the environment and the quality of life of users and buildings, this research addresses two parameters: acoustic and sustainability from the consumption of materials adopted. It is made a critical-comparative analysis of the acoustic performance of slabs versus the consumption of materials in slabs, listing seven typologies to draw comparatives. Acoustic performance is characterized by NBR 15575 and ISO 16283 standards for acoustic measurements and ISO 717-2 for numerical data processing. The consumption of materials is developed by the study by Albuquerque (1999) that allows dialogue with the sustainable issue of slabs used in civil construction. These analyzes allow to reflect that among the seven typologies under study, the prefabricated slab with lattice joists presents the lowest consumption values of steel and wood forms, and its acoustic performance is among the three best results (63 dB). Also in comparison, the ribbed slab has its acoustic performance at 62 dB and the lowest volume of concrete use for its execution. This study addresses the relevance of critical interdisciplinarity regarding performance and environment issues from the perspective of civil construction.

Keywords: Acoustics, Sustainable, Construction

COMPARATIVO ACÚSTICO E DO CONSUMO DE MATERIAIS SOB O VIÉS SUSTENTÁVEL DE DIFERENTES TIPOLOGIAS DE LAJES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no país tem um lento crescimento em relação à modernização das técnicas de construção, acarretando em um baixo controle de qualidade e em um grande desperdício de materiais. Segundo Fundação Getúlio Vargas Projetos; LCA Consultoria (2010), há uma perspectiva de que até o ano de 2020 o setor de construção civil chegue a dobrar de tamanho no Brasil. Essa suposição, concomitantemente com a negligência dos impactos ambientais gerados pela construção civil, tornará o setor um dos mais poluentes.

De acordo com (COSTA, 1997) a evolução do processo construtivo começa pela qualidade dos projetos, e entre os projetos elaborados para a construção civil, destaca-se o estrutural. O projeto estrutural, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção (15% a 20% do custo total).

Segundo (FERREIRA, 2010) sustentabilidade é definida como “a qualidade de manter constante ou estável algo que podemos desenvolver durante certo período”. A partir disso, vem à tona a preocupação quanto o uso desenfreado de recursos naturais e não renováveis assim como o grande desperdício de materiais que tem um longo tempo de degradação. A industrialização da construção permite que os erros durante a execução de alguma estrutura diminuam, já que o controle da qualidade nestas situações é consideravelmente maior.

Um exemplo comum nas obras de pequeno porte é a produção de argamassa e concreto in loco, que gera um maior desperdício de materiais devido à estocagem não ideal dos mesmos, além do traço volumétrico que gera imprecisão, em relação ao correto armazenamento e ao traço em massa que é permitido pela industrialização. Outro fator que implica em uma má gestão de materiais é a falta de qualidade na execução das obras, que implica em retrabalho e maior utilização de materiais para a correção de erros, sendo, portanto, medidas que não favorecem à sustentabilidade.

Visto que, na construção civil existem diversos tipos de estruturas que serão adequadas para cada situação também existem diferentes tipos de execuções e diferentes funções. Como exemplo, lajes são estruturas que realizam a interface entre pavimentos de uma edificação, podendo dar suporte a contrapisos ou funcionar como teto. Usualmente, não esquecendo das específicas, encontram-se principalmente cinco tipos principais de lajes:

- Laje maciça: composta por uma placa de concreto armado possui a finalidade de resistir à tração e a compressão, geralmente utilizada em pequenos vãos onde a espessura em concreto armado não necessita grande demanda de compressão.

- Laje nervuradas: geralmente conjuntos de vigas “T”, podendo haver nervuras em uma ou duas direções, recomendadas quando se deseja vencer grandes vãos sem pilares e vigas intermediários, dando maior flexibilidade aos ambientes.

- Laje cogumelo: possuem apenas pilares e capitéis, apresenta a vantagem de trazer maior liberdade de iluminação e ventilação ao pavimento, pois é eliminado o elemento viga no perímetro do edifício, o inconveniente está no trabalho maior de execução destes elementos se comparados ao sistema tradicional.

- Laje com vigota pré-fabricada: são um tipo de laje pré-fabricadas que envolvem vigotas de concreto com armadura em formato de treliça, podem ser de vigotas treliçadas, vigotas de concreto protendido e vigotas de concreto armado, onde apresentam menor peso próprio e como dispensam a utilização de fôrmas diminuem a geração de resíduos.

- Laje alveolar: tipo de laje pré-fabricada que elimina a necessidade de cimbramento, apresenta a vantagem de tornar mais enxuto o cronograma de execução, melhorando a gestão do empreendimento de construção.

Além dos gastos com materiais relativos com técnicas construtivas, o sistema estrutural da edificação é responsável por grande gasto com materiais, como concreto, aço, formas e escoramento. Portanto, a escolha adequada do sistema estrutural de acordo com a demanda edificação, principalmente em relação ao tipo de laje, permite que os custos com materiais sejam consideravelmente diminuídos.

As lajes constituídas por elementos pré-fabricados apresentam um demasiado potencial visto que possuem rigor de qualidade industrial, além de serem compostas por elementos inertes, que podem ser maciços ou vazados, utilizados de maneira intercalada entre as vigotas, tendo como função reduzir o volume de concreto utilizado, reduzindo assim o peso próprio da laje, e servir como forma para o concreto complementar segundo a NBR 14859-2 (ABNT, 2016).

As vigotas são constituídas de concreto estrutural e podem ser de concreto armado (VC) com armadura principal passiva, concreto protendido (VP) com armadura principal ativa, ou com armadura treliçada (VT) cuja armadura é eletrossoldada e pode apresentar armadura inferior passiva se necessário conforme a NBR 14859-1 (ABNT, 2016). A Figura 1 representa os três tipos de vigotas.

Figura 1 – Tipologias de vigotas de lajes pré-fabricadas.



Fonte: (MERLIN, 2002, p.7).

2 METODOLOGIA

Primeiramente foram realizados ensaios para este estudo, que estão de acordo com as seguintes normativas técnicas: NBR 15575 (ABNT, 2013) para a classificação de desempenho das amostras, ISO 16283-3 (ISO, 2018) para medições acústicas e ISO 717-2 (ISO, 2013) para a determinação do valor único de desempenho. Segundamente traça-se um comparativo de diferentes amostras de lajes pelo viés acústico e terceiramente o impacto ambiental e a sustentabilidade de cada técnica construtiva baseado no estudo de Albuquerque (1999).

2.1 NBR 15575:2013 DESEMPENHO ACÚSTICO

A normativa NBR 15575:2013 (ABNT, 2013) é intitulada “Edificações habitacionais: desempenho” e estabelece requisitos de desempenho, critérios e avaliações para os diversos sistemas construtivos de uma edificação, este trabalho utiliza-se da parte 3 intitulada: “requisitos para sistemas de pisos”. Para a questão de ruído de impacto em pisos a norma corrobora segundo a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de avaliação ao ruído de impacto nos sistemas de pisos

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Sistemas de Pisos

Fonte: ABNT NBR 15 575-3:2013, Tabela 5, p. 20.

Dadas as devidas descrições e aplicações, o método de avaliação ao ruído de impacto é atribuído à norma ISO 140-7 (que foi revisada para a ISO 16283:2018), proveniente de situações cotidianas como caminhar, queda e colisão de objetos entre unidades habitacionais. Frente a isso, a norma de desempenho caracteriza o desempenho mínimo, critério e nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado $L'_{nT,w}$. De acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Desempenho mínimo para ruído de impacto estipulado pela norma

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB
Sistema de piso separado unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	≤ 80
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginásticas, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	≤ 55

Fonte: ABNT NBR 15 575-3:2013, Tabela 6, p. 21.

E para atribuição de desempenhos além do mínimo (M), a norma também especifica os desempenhos intermediário (I) e superior (S), de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do nível de desempenho para pressão sonora de impacto-padrão ponderado, $L'_{nT,w}$

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de Desempenho
Sistema de pisos separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos.	66 a 80	M
	56 a 65	I
	≤ 55	S
Sistema de piso de áreas de uso coletivo (atividades de lazer e esportivas, como home theater, salas de ginásticas, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas) sobre unidades habitacionais autônomas.	51 a 55	M
	46 a 50	I
	≤ 45	S

Fonte: ABNT NBR 15 575-3:2013, Anexo E, Tabela E.1, p. 40.

2.2 ISO 16283-3:2018 ENSAIO ACÚSTICO

As câmaras de testes estão situadas na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no conjunto de laboratórios do Centro de Tecnologia, pertencentes ao laboratório de acústica. Este local de ensaio se caracteriza por duas câmaras adjacentes sobrepostas (compartimentação vertical), com as seguintes configurações de acordo com a Tabela 4:

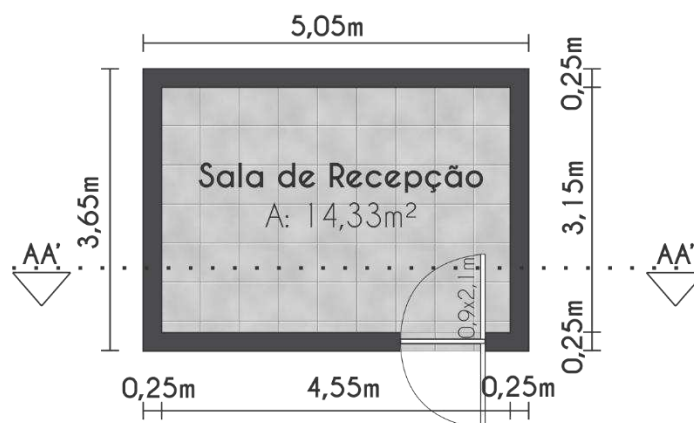
Tabela 4 - Dimensões, Áreas e volumes do local de ensaio

	Dimensões	Área	Volume
Sala de Recepção	3,15 m x 4,55 m	14,33 m ²	56,32 m ³
Sala de Emissão	3,15 m x 4,55 m	14,33 m ²	-

Fonte: Do autor.

As salas de recepção e emissão são configuradas com paredes de 25cm de espessura, e possuem as seguintes configurações conforme as Figura 2 e a Figura 3.

Figura 2 - Planta Baixa da sala de recepção



Fonte: Do autor.

Figura 3 - Corte Longitudinal AA' do local de ensaio



Fonte: Do autor.

Por meio do laboratório de acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), foram disponibilizados os seguintes materiais e equipamentos necessários para a execução do estudo, conforme o Quadro 1.

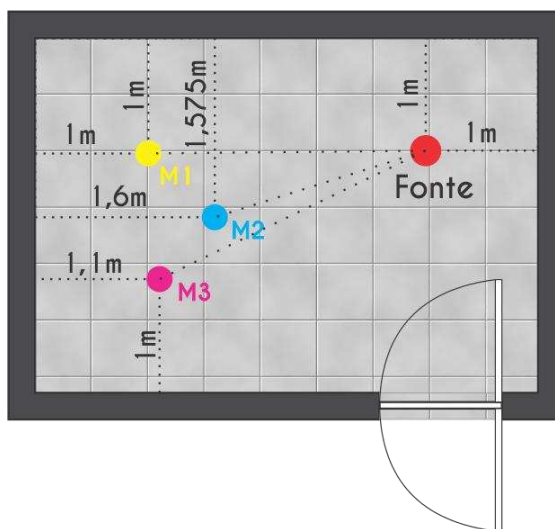
Quadro 1 - Equipamentos utilizados

Equipamento	Modelo	Série	Fabricante
Máquina de impacto padrão	2		01 dB
Caixa acústica dodecaédrica	OMNI 12	03/11-10/B255-A12	01 dB
Amplificador	AMPLI 12	03/11-10/B255-A12	01 dB
Calibrador de nível sonoro	4230, classe 1	1351791	Brüel & Kjaer
Medidor de nível sonoro	Black Solo, classe 1	65593	01 dB
Microfone capacitivo	MCE 212	153654	GRAS
Pré-amplificador de microfone	PRE 21 S	16184	01 dB
Termo-higrobarômetro digital	THB 100	150807030	Instruterm

Fonte: Do autor.

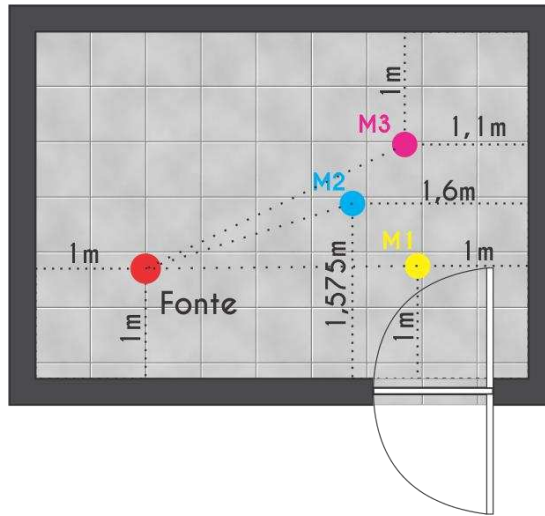
Os ensaios são executados de forma: (I) medição do tempo de reverberação, (II) nível de pressão sonora, (III) nível de ruído de fundo. A etapa (I) está descrita segundo a Figura 4 e 5, seguindo as recomendações da ISO 3382-2 (ISO, 2017).

Figura 4 - Primeiro posicionamento da fonte e microfones para obtenção do T60



Fonte: Do autor.

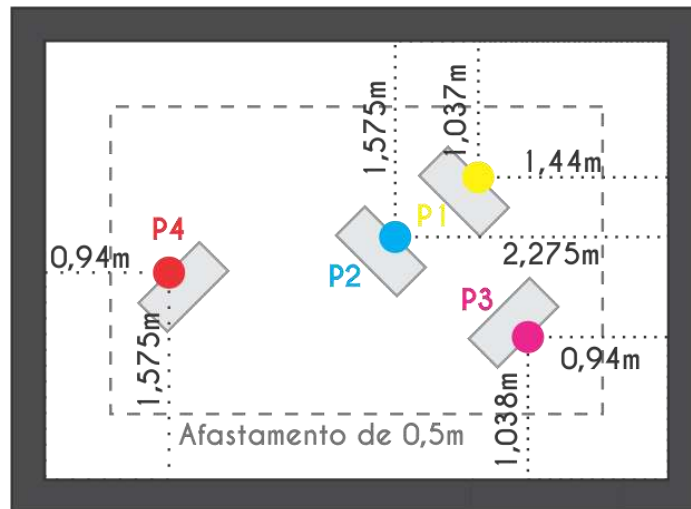
Figura 5 - Segundo posicionamento da fonte e microfones para obtenção do T60



Fonte: Do autor.

As etapas (II) e (III) estão descritas nas Figura 6 e 7, as posições da máquina de impacto para os testes definidas como quatro, estas distribuições são correlacionadas com as regras de ensaio definidas pelas normativas já abordadas, que delimitam a distância de 0,5 m das bordas limítrofes dos pisos e a posição da máquina deve estar a 45° em relação ao posicionamento das vigotas da laje. O aspecto de estabilização do ruído deve ser utilizado para a medição do ruído de impacto, onde primeiro liga-se a máquina e espera-se o ruído estabilizar para fazer as devidas medições.

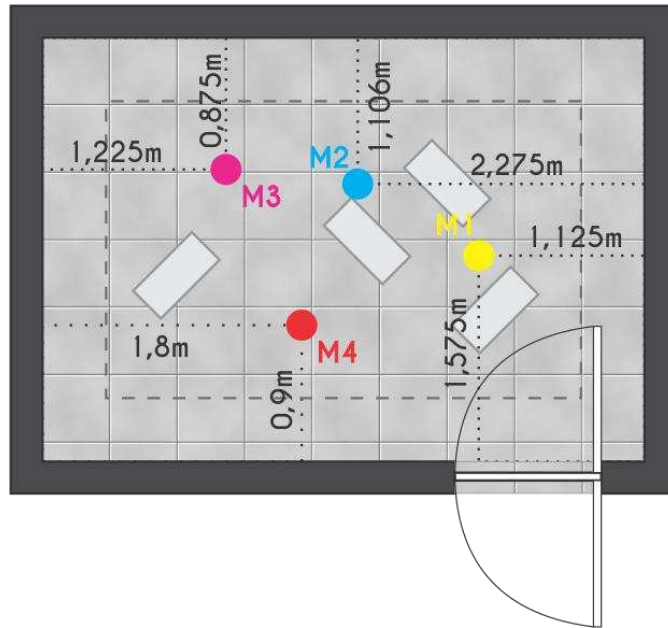
Figura 6 - Posicionamentos da máquina de impacto padrão sobre a laje em estudo



Fonte: Do autor.

Por conseguinte, para cada posição da máquina de impacto exemplificada na Figura 6, são adotadas quatro posições de microfones na sala de recepção, com duas medições para cada posição de microfone, resultando em 32 medições para cada posição da máquina de impacto padrão. O posicionamento dos microfones está abordado na Figura 7.

Figura 7 - Posicionamentos de microfones para cada posição de máquina de impacto



Fonte: Do autor.

Após os procedimentos de medições, calcula-se a média de nível de pressão sonora para cada posição da máquina, considerando os resultados de todas as medições para cada posição de microfone, conforme a Equação (1).

$$L_i = 10 \lg \left(\frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{np_0^2} \right) \quad (1)$$

Após a primeira equação, calcula-se o nível de pressão sonora de impacto padronizado para cada posição de máquina de impacto – L'_{nT} , conforme Equação (2):

$$L'_{nT} = L_i - 10 \lg \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

E para finalidade, calcula-se o nível de pressão sonora de impacto padronizado utilizado do somatório das posições de máquina para cada configuração de ensaio analisado – L'_{nT} , conforme a Equação (3):

$$L'_{nT} = 10 \lg \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m 10^{L'_{nTj}/10} \right) \quad (3)$$

2.3 ISO 717-2:2013 TRATAMENTO DE DADOS

Os valores obtidos como resultantes das medições expressadas no tópico anterior em conformidade com as normas vigentes, foram tratados conforme a ISO 717-2 (ISO, 2013), os valores de L'_{nT} (nível de pressão sonora de impacto padronizado), foram unificados com o propósito de definir um valor único de $L'_{nT,w}$, com intuito de expressar o desempenho acústico do sistema em dB (decibel).

Para resultar no número de desempenho em dB, deslocou-se a curva de referência em 1 dB até que a soma dos desvios desfavoráveis seja tão grande quanto possível, com o limite definido em 32 dB. Deste modo, em decibels, para a curva de referência em 500 Hz.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DA LAJE ENSAIADA

A tipologia de laje utilizada para este estudo é a pré-fabricada com vigotas protendidas, e caracteriza-se:

- vigota protendida com largura de 10 cm; altura de 8,5 cm e combinação de 4 fios de 5 mm;
- tabelas cerâmicas com largura de 37 cm, altura de 8 cm e profundidade de 20 cm, e a distância entre eixos de 47 cm.

2.5 LAJES UTILIZADAS NO COMPARATIVO ACÚSTICO

Foram abordadas neste estudo comparativo a laje maciça 10 cm por (Ferraz, 2008), laje maciça 12 cm, laje pré-fabricada convencional 12 cm, laje pré-fabricada treliçada 28 cm, laje nervurada 25 cm por (Pereyron, 2008) e laje maciça 12 cm por (Pedroso, 2008).

2.6 AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAIS DE LAJES NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Albuquerque (1999) realizou um estudo comparativo entre diferentes tipos de lajes e o seu consumo de material. O estudo foi realizado a partir do pavimento tipo de um edifício residencial, analisando sete tipos específicos de lajes, e serve como estudo-base para a metodologia utilizada neste estudo:

- Estrutura convencional com laje maciça (OP1);
- Estrutura convencional com laje nervurada utilizando caixotes (reaproveitamento do enchimento) (OP2);
- Estrutura convencional com laje nervurada utilizando tijolos (não reaproveitamento do enchimento) (OP3);
- Estrutura convencional com laje nervurada composta de vigotas pré-fabricada treliçadas (OP4);
- Estrutura convencional com laje lisa nervurada utilizando caixotes (OP5);
- Estrutura convencional com laje lisa nervurada utilizando tijolos (OP6);
- Estrutura utilizando protensão (OP7).

A Tabela 5 representa o volume total de cada conjunto de estrutural, a quantidade de aço em quilogramas e a quantidade de formas em m^2 , contabilizando laje, pilares e vigas.

Tabela 5 – Consumo de materiais em lajes (volume de concreto, aço e formas)

	OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7
VOLUME (m^3)	817,4 (1)	724,2 (-11,4%)	750,6 (-8,2%)	734,9 (-10,1%)	882,2 (+7,9%)	897,6 (+9,8%)	815,0 (-0,3%)
AÇO (m^2)	76.554 (1)	64.431 (-15,8%)	71.257 (-6,9%)	63.108 (-17,6%)	71.829 (-6,2%)	78.512 (+2,6%)	67.964 (-11,2%)
FORMA (m^2)	9.641,6 (1)	8.973,2 (-6,9%)	8.973,2 (-6,9%)	5.213,6 (-45,9%)	8.896,4 (-7,7%)	67.964 (-11,2%)	8.431,8 (-12,5%)

Fonte: (ALBUQUERQUE, 1999)

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

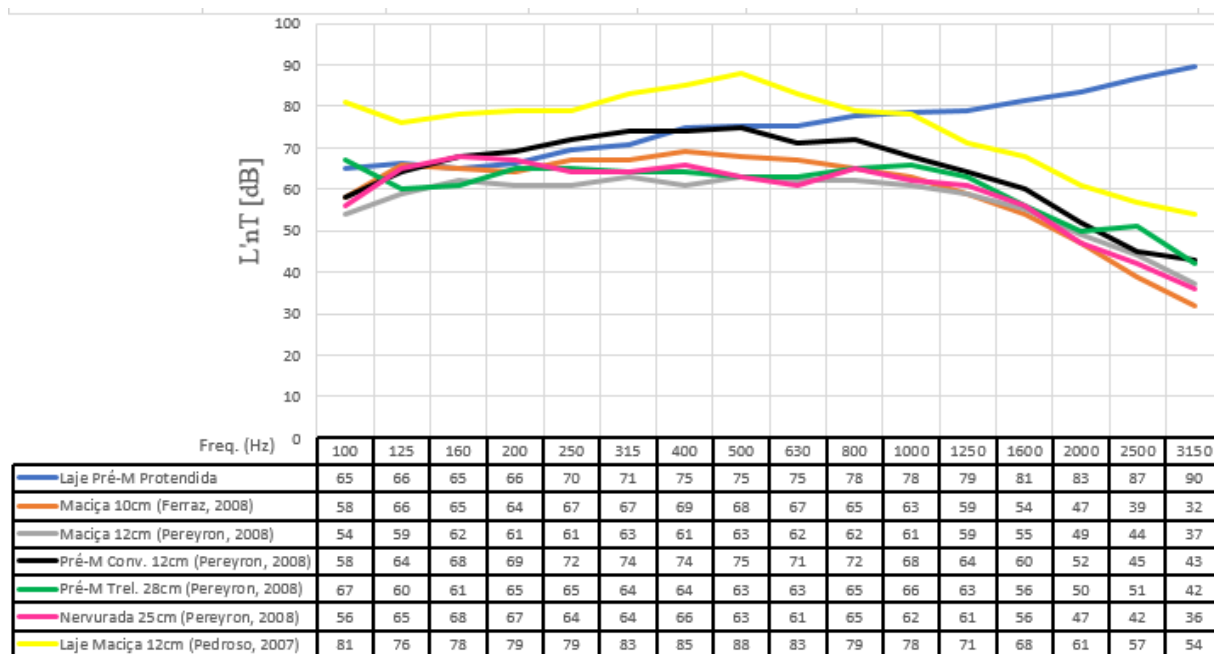
Primeiramente ao compararmos acusticamente as lajes em análise, pode-se perceber de que apenas uma laje não possui a curva de modo descendente, mas sim ascendente, que é a laje pré-fabricada com vigotas protendidas, laje ensaiada por esta pesquisa, o que demonstra que a laje não possui bons valores de desempenho para as altas frequências. Em análise crítica, em altas frequências a laje chega a 90 dB em 3150 Hz para L'_{nT} , apresentando o pior desempenho acústico, com o $L'_{nT,w}$ de 91 dB representado na Figura 8.

A laje maciça 10 cm ensaiada por (Ferraz, 2008) apresenta o $L'_{nT,w}$ de 63 dB, e com a frequência de menor desempenho em 400 Hz com 69 dB para L'_{nT} . A laje maciça 12 cm estudada por (Pereyron, 2008) em ensaio de campo apresenta o melhor desempenho das amostras em comparativo, com o $L'_{nT,w}$ de 60 dB em que a frequência de menor desempenho é em 500 Hz com apenas 63 dB de acordo com a Figura 8.

A laje pré-fabricada convencional 12 cm (Pereyron, 2008), apresenta $L'_{nT,w}$ de 69 dB, e observa-se a frequência crítica de 75 dB em 500 Hz para L'_{nT} . A laje pré-fabricada com vigotas treliçadas 28 cm (Pereyron, 2008) denota o desempenho de 63 dB para $L'_{nT,w}$ e sua frequência de menor desempenho é em 66 dB em 1000 Hz em L'_{nT} expressado na Figura 8.

A laje nervurada 25 cm pesquisada por (Pereyron, 2008) possui o desempenho acústico para $L'_{nT,w}$ de 62 dB, e a frequência de 160 Hz apresenta o menor desempenho de 68 dB. A laje maciça 12 cm testada por (Pedroso, 2007) em laboratório atingiu o desempenho para $L'_{nT,w}$ de 78 dB e a frequência com menor desempenho é a de 500 Hz atingindo 88 dB em L'_{nT} de acordo com a Figura 8.

Figura 8 – Gráfico comparativo de desempenho acústico para L'_{nT} .



Fonte: Do autor.

A Tabela 6 apresenta o comparativo para os valores de $L'_{nT,w}$ sendo o valor único atribuído pela ISO 717-2 (ISO, 2013) para caracterização do desempenho acústico para as lajes comparadas.

Tabela 6 – Comparativo e classificação dos valores $L'_{nT,w}$ das lajes.

Laje	$L'_{nT,w}$ (dB)	Desempenho (NBR 15575)
Pré-fabricada com vigotas protendidas	91	Não atende
Maciça 10 cm (Ferraz, 2008)	63	Intermediário
Maciça 12 cm (Pereyron, 2008)	60	Intermediário
Pré-fabricada convencional (Pereyron, 2008)	69	Mínimo
Pré-m. treliçada 28 cm (Pereyron, 2008)	63	Intermediário
Nervurada 25 cm (Pereyron, 2008)	62	Intermediário
Maciça 12 cm (Pedroso, 2007)	78	Mínimo

Fonte: Do autor.

O comparativo ao desempenho acústico para ruído de impacto entre diferentes tipologias de lajes classificadas dentre as amostras em estudo que apenas uma laje não atende aos requisitos estipulados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), duas apresentam desempenho mínimo e quatro amostras possuem desempenho intermediário. O valor de $L'_{nT,w}$ caracteriza o desempenho em nível de pressão sonora de impacto normalizado ponderado, que corresponde a uma média que visa atribuir um valor dentro da variação de desempenho do L'_{nT} nas diversas frequências.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DAS LAJES ANALISADAS

A partir dos dados propostos por Albuquerque (1999) pode-se concluir que o sistema construtivo de laje com vigotas pré-fabricadas treliçadas (OP4) apresenta o menor consumo de aço e formas e o segundo menor volume total (implicando em um menor volume utilizado de concreto) para o edifício em estudo, sendo a solução mais sustentável para a situação. O sistema com laje composta por vigota pré-fabricada treliçada pode não ser o mais sustentável para todos os projetos, todavia por meio da Tabela 5 é denota-se a importância da reflexão crítica frente a escolha errada do sistema estrutural pode implicar significativamente no maior consumo de materiais.

Além disso, é possível entender que a laje pré-fabricada de vigotas protendidas consumiria quantidade menor de materiais devido a possibilidade de vencer vãos maiores, diminuindo o número de vigas e pilares na estrutura. Lajes nervuradas encontram-se entre as mais sustentáveis, devido a possibilidade do reaproveitamento dos caixotes de enchimento, baixo consumo de concreto e aço, e por proporcionar grande vãos, aumentam o espaçamento dos pilares.

Em contrapartida, a laje maciça é uma das que mais consome material, pois necessita grande quantidade de armadura, concreto e fôrmas (descartadas após uso, gerando resíduos), além disso aumenta o peso da estrutura, ocasionando o reforço da mesma.

3 CONCLUSÃO

As lajes são estruturas que realizam a separação horizontalmente entre pavimentos de uma edificação, sendo o suporte para contrapisos ou funciona como teto. Este elemento construtivo é um fator preponderante para a acústica arquitetônica e sob o viés da consciência ambiental pois representa um volume considerável de materiais em sua construção.

As lajes pré-fabricadas apresentam o menor consumo de materiais, ou seja, são as que causam menor impacto ambiental. No entanto, em relação ao desempenho acústico, a com vigota protendida demonstrou o pior desempenho ($L'_{nT,w} = 91$ dB) entre todas, sendo necessário

a utilização do piso flutuante – adicionando mais material no consumo final. Já a convencional foi enquadrada no nível intermediário ($L'_{nT,w} = 69$ dB), cujo desempenho tangencia o uso de revestimentos finais de pisos. E por fim a laje nervurada de vigota treliçada obteve o melhor resultado em relação ao consumo de materiais apresentando menores valores para aço e formas, quanto ao desempenho acústico foi classificado como intermediário ($L'_{nT,w} = 63$ dB) .

As lajes nervuradas estão classificadas no nível intermediário ($L'_{nT,w} = 62$ dB), e em termos de sustentabilidade apresentam um índice intermediário na utilização de materiais, devido a reutilização dos caixilhos de enchimento, quantidade menor de concreto e aço. Lajes maciças são as melhores em comparação ao desempenho acústico, apresentando o menor $L'_{nT,w}$ (60 dB) de todas as lajes, no entanto são as que mais consomem materiais (concreto, fôrmas e aço), negligenciando o uso racional de materiais e resíduos na construção civil.

A escolha a laje a ser utilizada em uma edificação deve ser analisada criteriosamente, a disponibilidade de materiais próximos, o conforto acústico e térmico, a mão-de-obra, o projeto, o terreno e o impacto ambiental que ocasiona. Assim, é possível concluir que a laje com a melhor relação sustentabilidade/desempenho acústico é a laje pré-fabricada com vigota treliçada, devido a apresentar um desempenho acústico intermediário e a baixa utilização de recursos de materiais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e Documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

_____. **NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 14859-2**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 2: Elementos inertes para enchimento e forma– Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de São Carlos, 1999.

COSTA, O. V. **Estudo de alternativas de projetos estruturais em concreto armado para uma mesma edificação**. 1997, 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal do Ceará. (1997).

FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos**. 2008. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2008.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Aurélio século XXI**: dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2010.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS PROJETOS; LCA CONSULTORIA. **Construbusiness – Brasil 2022: planejar, construir, crescer**. São Paulo: FIESP, 2010. Disponível em: <www.fiesp.com.br/construbusiness>. Acesso em: 23 ago. 2019.

INTERNACIONAL STANDARD. **ISO 717-2:2013**: Acoustics – Rating sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation. Switzerland, 2013.

MERLIN, A. J. Momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por vigotas de concreto protendido. 2002. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2002.

PEDROSO, M. A. T. Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2007.

PEREYRON, D. Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto. 2008. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.

ROCHA, A. C. C. Práticas sustentáveis na construção civil: Um estudo de múltiplos casos em Natal-RN 2016. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.