

Avaliação do Desempenho Acústico de Edificações Habitacionais em Fortaleza e Análise do PEBD em Sistemas de Contrapiso Flutuante

PINHEIRO, G.M.¹

¹ Grupo de Compartilhamento de Conhecimentos em Acústica, Laboratório de Vibrações, GCCA/UFC, Fortaleza, CE, gleiidsonmartins@hotmail.com.

Resumo

Considerando a entrada em vigor da norma “NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho”, que define valores mínimos obrigatórios de níveis de desempenho acústico dos edifícios residenciais, esta pesquisa objetiva a verificação do comportamento acústico dos sistemas utilizados em duas edificações de Fortaleza, mensurados através do método de engenharia indicado na norma em questão e comparados com os níveis exigidos. O estudo aprofunda-se com uma análise da contribuição da solução de contrapiso flutuante no isolamento ao ruído de impacto de pisos (causa de reclamação de usuários de habitações verticais) através do cálculo de previsão da redução de nível de pressão sonora de impacto padrão ($\Delta L_{w,T}$) realizado a partir do conhecimento da rigidez dinâmica e da espessura do material resiliente utilizado. É apresentado um estudo de caso da aplicação da manta acústica em uma obra de Fortaleza, ressaltando os cuidados de execução necessários para atingir o desempenho desejável. Verificou-se que os sistemas construtivos críticos quanto à conformidade com os valores normatizados são as vedações verticais internas constituídas de alvenaria de gesso com 7cm de espessura e as vedações verticais externas contendo esquadrias de alumínio com vidro de 4mm de espessura. Quanto ao desempenho de ruído de impacto, a utilização de manta de polietileno expandido de baixa densidade (PEBD) nas espessuras de 5mm e de 10mm em sistemas de contrapiso flutuante, considerando as condições de contorno dos sistemas ensaiados, pode proporcionar valores de “ $\Delta L_{w,T}$ ” de aproximadamente 24 dB e 28 dB, respectivamente. No acompanhamento da aplicação da manta acústica realizada no estudo de caso, verificaram-se erros de execução que podem prejudicar o desempenho desta solução. Concluiu-se que os sistemas construtivos adotados nos edifícios estudados devem ser revistos pelos projetistas e que a solução de contrapiso flutuante, utilizando manta de PEBD, possui potencial para proporcionar conforto acústico aos sistemas de piso, desde que executada corretamente.

Palavras-chave: Conforto Acústico. Norma de Desempenho. Edifícios Habitacionais. ContrapisoFlutuante.

1. Introdução

Devido à considerável variedade de malefícios à saúde humana causados pelo ruidoso ambiente urbano, a poluição sonora é considerada como um problema de saúde pública, exigindo medidas e estratégias que, em conjunto, possam mitigar seus danos sobre a população e proporcionar um ambiente ecologicamente equilibrado. Por esta razão, em vários países foram elaboradas leis, diretivas e normas a fim de regulamentar os níveis de energia acústica emitida pelas diversas fontes de ruído e de estabelecer políticas de controle da poluição sonora. Uma das ações estratégicas adotadas é o condicionamento acústico das edificações habitacionais. Em 2013, a população brasileira testemunhou um marco nacional na história do desempenho dos edifícios residenciais. Foi neste ano que a Norma ‘NBR 15575:2013

– Edificações Habitacionais – Desempenho’ (popularmente conhecida como norma de desempenho) entrou em vigor. Dentre as atribuições que a norma contempla, os limites do desempenho acústico de componentes e sistemas das edificações foram quantificados e qualificados, sendo estabelecidos os valores mínimos obrigatórios.

Como qualquer inovação tecnológica, as soluções acústicas a serem utilizadas nos edifícios residenciais são muitas vezes desconhecidas pelos profissionais da construção civil. Os construtores devem conhecer o potencial e o procedimento correto para a aplicação das soluções, os projetistas precisam conhecer os parâmetros físicos relevantes de cada material e o procedimento de cálculo para elaboração dos projetos acústicos, os fabricantes devem caracterizar seus produtos segundo estes

parâmetros, os laboratórios precisam possuir infraestrutura para realizar os ensaios e os usuários finais devem conhecer a importância da qualidade sonora para a saúde e os seus direitos, exigindo a conformidade com a norma, gerando assim valor à acústica em geral.

A análise do comportamento sonoro de sistemas construtivos adotados em dois edifícios habitacionais de Fortaleza e o estudo sobre o potencial e o procedimento de execução da solução de contrapiso flutuante, através de resultados de campo, cálculos acústicos normatizados e visitas técnicas constituem os objetivos deste trabalho.

2. Materiais e Métodos

As atividades desenvolvidas nesta pesquisa são divididas em três etapas. Inicialmente, foi realizado um diagnóstico das condições acústicas gerais de dois edifícios habitacionais em Fortaleza, através de medições em campo seguindo o método de engenharia indicado na NBR 15575:2013. Em seguida, foi feita uma análise da capacidade de amortecimento do ruído de impacto em sistemas de contrapiso flutuante, através do cálculo de previsão da redução sonora dos ruídos estruturais descrito na norma EN 12354-2:2000, utilizando o parâmetro "Rigidez Dinâmica" como dado de entrada, e ponderando os valores obtidos em um único termo através do procedimento descrito na norma ISO 717-2:2013. Por fim, foi realizado um acompanhamento da execução do contrapiso flutuante em uma obra, a fim de verificar as principais dificuldades de aplicação e um levantamento das transgressões em relação ao procedimento construtivo indicado pelo fornecedor da manta acústica.

2.1. Diagnóstico do Comportamento Acústico – Metodologia de Ensaio

O Método de Engenharia descrito na norma de desempenho e adotado neste trabalho consiste na realização de ensaios acústicos em campo para a determinação da Diferença Padronizada de Nível Ponderado ($D_{nT,w}$), no caso da transmissão aérea das vedações internas; da Diferença Padronizada de Nível Ponderado a 2 Metros de Distância

($D_{2m,nT,w}$) no caso da transmissão aérea das vedações externas e do Nível de Pressão Sonora por Impacto Ponderado ($L'_{nT,w}$) no caso da transmissão por impacto das vedações horizontais. A descrição do procedimento experimental e o método de ponderação destes parâmetros são descritos respectivamente nas normas ISO 140 e ISO 717.

Segundo a norma ISO 140-4:1998, o método de avaliação do isolamento ao ruído aéreo entre

recintos consiste em gerar um campo sonoro de ruído branco ou rosa através de uma fonte omnidirecional em um dos recintos, realizando então medições dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terço de oitava em várias posições, tanto no recinto emissor quanto no receptor, com um sonômetro-analisador. Para realizar correções dos valores medidos, levando em consideração a absorção sonora do ambiente receptor, também deve ser mensurado o tempo de reverberação do mesmo. Em seguida, é calculada a curva de isolamento acústico ao ruído aéreo entre os dois ambientes em bandas de frequência, curva está que, através do processo descrito pela norma ISO 717-1:2013, é resumida no valor global característico denominado Diferença Padronizada de Nível Ponderado " $D_{nT,w}$ ", parâmetro dado em decibéis adotado pela NBR 15575:2013 para definição de desempenho acústico.

O método de avaliação do isolamento ao ruído aéreo de fachadas, de acordo com a norma ISO 140-5:1998, consiste em gerar um campo sonoro de ruído branco ou rosa através de uma fonte diretiva no ambiente externo e medir os níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terços de oitava com um sonômetro analisador em várias posições, tanto na frente da fachada quanto no ambiente interno. Para as devidas correções, deve ser mensurado o tempo de reverberação do interior do recinto receptor. Em seguida, é calculada a curva de isolamento acústico ao ruído aéreo em bandas de frequência que, após o procedimento descrito na norma ISO 717-1:2013, é resumida no valor global característico denominado Diferença Padronizada de Nível Ponderado a 2 metros de distância da fachada " $D_{2m,nT,w}$ ", parâmetro dado em decibéis e adotado pela norma de desempenho.

Finalmente, o procedimento de ensaio do desempenho acústico ao ruído de impacto em sistemas de pisos, segundo a norma ISO 1407:1998, consiste na geração de ruído causado por uma máquina de impacto padronizada posicionada no recinto superior e na medição dos níveis de pressão sonora em bandas de frequência de terço de oitava por um sonômetro analisador em várias posições no recinto inferior. Para as devidas correções, deve ser mensurado o tempo de reverberação do interior do ambiente receptor. Em seguida, é calculada a curva de nível de pressão sonora de ruído de impacto em bandas de frequência, curva está que, através do processo descrito pela norma ISO 717-2:2013, é resumida no valor global característico denominado Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado " $L'_{nT,w}$ ", parâmetro dado em também em decibéis.

Os equipamentos utilizados na realização dos ensaios acústicos divulgados neste trabalho são apresentados na seguinte tabela:

Tabela 1: Equipamentos utilizados nas medições em campo

MARCA	EQUIPAMENTO	Nº DA SÉRIE
Brüel & Kjaer	Fonte Sonora Multidirecional Dodecaédrica	033008
Brüel & Kjaer	Calibrador de Microfones	3010153
Brüel & Kjaer	Microfones Pré-polarizados	2907442
Brüel & Kjaer	Analizador Portátil	3006667
Brüel & Kjaer	Amplificador de Potência	041009
Brüel & Kjaer	Tapping Machine	2783700

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2. Capacidade de Amortecimento de Impacto em Sistemas de Contrapiso Flutuante

Uma solução utilizada para atenuar o ruído estrutural causado por impacto é o sistema de contrapiso flutuante, que consiste em isolar qualquer contanto entre a camada de contrapiso e as vedações horizontal (laje estrutural) e vertical (paredes), através da colocação de uma manta contínua resiliente, ou seja, com capacidade de amortecimento, impedindo assim que as vibrações se propaguem do recinto causador do ruído para os demais sistemas do edifício.

O material resiliente estudado nesta pesquisa é o Polietileno Expandido de Baixa Densidade (PEBD), um polímero da classe dos termoplásticos que possui células fechadas, ou seja, é resistente ao fluxo do ar interno quando submetido à compressão. O material é fabricado pela empresa Joongbo Química do Brasil LTDA, que disponibilizou as amostras e os laudos referentes aos ensaios de caracterização.

A capacidade de atenuação do ruído estrutural do sistema de contrapiso flutuante pode ser relacionada com uma propriedade física do isolante acústico denominada Rigidez Dinâmica por unidade de área, grandeza diretamente proporcional ao módulo de elasticidade do material e inversamente

proporcional à sua espessura, como mostra a seguinte equação:

$$s' = E/d \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde s' é a rigidez dinâmica aparente [MN/m^3], E é o módulo de elasticidade [N/m^2] e d é a espessura da manta [m].

A rigidez dinâmica de um dado material é determinada através do ensaio descrito na norma ISO 9052-1:1989. A caracterização da manta acústica quanto a este parâmetro possibilita o cálculo da frequência de ressonância de cada caso de contrapiso flutuante analisado, em função do carregamento ocasionado pelo contrapiso de argamassa e pelo piso utilizado. A frequência fundamental de ressonância de um sistema qualquer é dada por:

$$f_r \approx 160 \sqrt{\frac{s'_t}{m_t}} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Onde s' é a rigidez dinâmica aparente [MN/m^3], m_t é a massa total por unidade de área [Kg/m^2] e r é a frequência fundamental de ressonância do sistema [Hz].

A partir do resultado da frequência de ressonância do sistema, é possível prever a redução do nível de pressão sonora de impacto padrão do sistema de contrapiso flutuante através do cálculo descrito no Anexo C da norma internacional EN 123542:2000, que utiliza a seguinte relação:

$$\Delta L = 30 \log \frac{f}{f_0} \quad [\text{Eq. 03}]$$

Onde ΔL é a redução do nível de pressão sonora de impacto padrão [dB], f = frequência central da banda de 1/3 de oitava [Hz], f_0 = frequência de ressonância do sistema calculada a partir da rigidez dinâmica aparente [Hz].

Calculada a redução do nível de pressão para cada frequência central de banda de 1/3 de oitava, é possível calcular a diferença de pressão sonora de impacto padrão ponderada do sistema de contrapiso flutuante através do procedimento descrito no Anexo C na norma internacional ISO 717-2:2013.

2.3. Procedimento de Aplicação da Manta Acústica Para Piso

Para alcançar o desempenho acústico desejado em uma edificação, o projeto acústico e a especificação dos materiais a serem utilizados devem ser acompanhados por uma correta aplicação. No caso de mantas acústicas resilientes utilizadas para isolar a laje estrutural e as paredes de vedação do contrapiso, o mínimo contato que permita a propagação da vibração ocasionada por percussão no piso pode comprometer todo o investimento realizado.

A fim de verificar se o procedimento de execução do contrapiso flutuante informado previamente pelo fornecedor é devidamente observado pelos construtores, foi realizado um acompanhamento de sua aplicação em uma obra de edificação habitacional de múltiplos andares em Fortaleza. Um relatório técnico contendo o levantamento das incoerências observadas e a importância de alguns procedimentos executivos foi elaborado e disponibilizado à construtora.

3. Resultados e Discussões

Nesta pesquisa, são apresentados três resultados: o diagnóstico do desempenho acústico de dois edifícios habitacionais em Fortaleza, a análise da contribuição do contrapiso flutuante com manta de PEBD quanto ao amortecimento do ruído de impacto e a avaliação do procedimento de instalação desta solução.

3.1. Desempenho acústico dos edifícios segundo a NBR 15575:2013

Os ensaios apresentados nesta pesquisa foram realizados juntamente com o SENAI/CE, que investiu nos equipamentos necessários para a análise do desempenho acústico dos edifícios habitacionais segundo o método de engenharia indicado na norma NBR

Tabela 2:

Ambientes Ensaçados no Edifício A.

Tipo de Ensaio	Ambiente de Emissão	Ambiente de Recepção	Número do Ensaio
Ruído Aéreo Interno	Estar / Jantar (Apto 1)	Estar / Jantar (Apto 2)	1
Ruído Aéreo Interno	Cozinha	Circulação	2
Ruído Aéreo entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	3
Ruído de Impacto entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	4
Ruído Aéreo Externo à Fachada	Meio Externo	Suíte Casal	5

Fonte: elaborada pelos autores

15575:2013. Foram estudados dois edifícios, dos quais os nomes não foram divulgados em respeito ao termo de confidencialidade do órgão junto às

construtoras. Por esta razão, os edifícios foram denominados de Edifício A e Edifício B, respectivamente representados nas tabelas 2 e 3 a seguir.

Os resultados obtidos nos ensaios são descritos nas tabelas 4 e 5 a seguir, referentes aos edifícios A e B respectivamente, onde também são informados os valores mínimos exigidos pela norma para cada tipo de isolamento, a parte da norma utilizada e os níveis de desempenho acústico alcançados.

Tabela 3: Ambientes Ensaçados no Edifício B.

Tipo de Ensaio	Ambiente de Emissão	Ambiente de Recepção	Número do Ensaio
Ruído Aéreo Interno	Suíte Casal (Apto 1)	Suíte Casal (Apto 2)	6
	Cozinha	Circulação	7
Ruído Aéreo entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	8
Ruído de Impacto entre Pisos	Suíte Casal (Apto Superior)	Suíte Casal (Apto Inferior)	9

Fonte: elaborada pelos autores

Tabela 4: Resultados dos Ensaios do Edifício A

NBR 15.575	Nº do Ensaio	Resultado do Ensaio	Valor mínimo NBR 15.575	Nível NBR 15.575
Parte 4	1	Dnt,w = 41 dB	≥ 40dB	OKMínimo
Parte 4	2	Dnt,w = 27 dB	≥ 30dB	Não Atende
Parte 3	3	Dnt,w = 52 dB	≥ 45dB	OK Intermediário
	4	L'nT,w = 76dB	≤ 80dB	SIMMínimo
Parte 4	5	D2m,n T,w = 20 dB	≥ 25dB	Não Atende

Fonte: Ensaios realizados junto ao SENAI/CE.

Tabela 5: Resultados dos Ensaios do Edifício B.

NBR 15.575	Nº do Ensaio	Resultado do do Ensaio	Valor mínimo NBR 15.575	Nível NBR 15.575
Parte 4	6	Dnt,w = 45 dB	≥ 45 dB	OK Mínimo
Parte 4	7	Dnt,w = 20 dB	≥ 30 dB	Não Atende
Parte 3	8	Dnt,w = 57 dB	≥ 45 dB	OK Superior
	9	L'nT,w = 68 dB	≤ 80 dB	OK Mínimo

Fonte: Ensaios realizados junto ao SENAI/CE.

As características dos sistemas ensaiados estão representadas na tabela que segue:

Dos nove ensaios realizados nos dois Edifícios estudados, foram analisadas seis situações diferentes:

- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório (ensaio 1). Neste caso, o valor apresentado pelo sistema está apenas 1dB acima no mínimo obrigatório. Nesta situação, verificase que alvenarias de gesso com 7cm de espessura não garantem confiabilidade para o atendimento à norma de desempenho;
- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos (ensaios 2 e 7). Nesta configuração, nenhum dos dois sistemas ensaiados atendeu ao desempenho mínimo obrigatório. Novamente foram utilizadas alvenarias de gesso para separação dos ambientes, confirmando que esta solução de vedação é insatisfatória para os requisitos de isolamento acústico;
- Ruído Aéreo Interno, no caso de parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde pelo menos um dos ambientes seja dormitório (ensaio 6). Nesta situação, o resultado da aferição coincidiu com o valor mínimo estabelecido na norma. Verifica-se novamente a inconfiabilidade de alvenaria de blocos de gesso;
- Ruído Aéreo entre Pisos, no caso de sistema de piso separando unidades habitacionais de áreas em que um dos recintos seja dormitório (ensaios 3 e 8). Esta foi a única situação onde os valores encontrados atingiram níveis de desempenho acústico melhores que o mínimo normatizado,

alcançando níveis intermediário e superior respectivamente

Tabela 6: Características dos sistemas de separação ensaiados.

Ensaio	Características
1	Alvenaria de gesso com espessura de 7 cm. Ambiente com uma área de 16,05 m ² e um volume de 41,37 m ³ , mesmas configurações do ambiente de recepção.
2	Alvenaria de bloco de gesso com espessura de 7 cm. Ambiente de emissão com área de 5,27 m ² e volume de 13,70 m ³ . Já o ambiente de recepção possui área total de 5,40 m ² e volume de 14,04 m ³
3	Laje concreto nervurada com espessura de 25 cm, sendo a mesa com 6 cm. Contrapiso de 5cm em argamassa cimentícia. Porcelanato polido com argamassa colante de 1cm, rejuntado. Ambiente de emissão conta com área de 11,48 m ² e um volume de 29,84 m ³ , idêntico ao ambiente de recepção.
4	Mesmas configurações do ensaio 3.
5	Alvenaria de bloco cerâmico com espessura de 10 cm + 2,5 cm de reboco de argamassa cimentícia (o outro lado é porcelanato não aderido), portas internas e externas com estrutura em sarrafos com capa em chapa dura (3 mm), com espessura de 35mm. Janelas com estrutura em alumínio e vidro comum de 4 mm. O ambiente de emissão é a área externa ao edifício, com o autofalante localizado a dois metros de distância da fachada. Já o ambiente de recepção possui área de 11,48 m ² e volume de 29,84 m ³
6	Alvenaria de bloco de gesso (espessura não informada). Ambiente de emissão conta com uma área de 11,38 m ² e um volume de 29,60 m ³ , mesmas dimensões do ambiente de recepção.
7	Paredes internas de bloco de gesso (espessura não informada). Ambiente de emissão com área de 8,38 m ² e volume de 21,78 m ³ . Ambiente de recepção possui área total de 6,82 m ² e volume de 17,73.
8	Laje concreto nervurada (6cm de mesa), contrapiso em argamassa cimentícia com espessura de 5cm, piso cimentado de 2 cm de espessura e porcelanato de 60x60 cm. Ambiente de emissão com área de 11,38 m ² e volume de 29,60 m ³ , idêntico ao ambiente de recepção.
9	Mesmas configurações do ensaio 8.

Fonte: elaborada pelos autores.;

- Ruído de Impacto entre Pisos, no caso de sistema de piso separando unidades habitacionais autônomas posicionadas em pavimentos distintos (ensaio 4 e 9). Os resultados obtidos nesta situação atingiram o nível mínimo necessário para atendimento da norma. No entanto, quando comparada com normas estrangeiras, percebe-se que a exigência da norma brasileira quanto a esta situação é desfavorável ao conforto acústico;
- Ruído Aéreo Externo à Fachada, no caso de Classe II de Ruído (ensaio 5); O resultado obtido nesta situação não atende à norma de desempenho. A ineficiência acústica deste sistema ocorre principalmente devido às esquadrias de alumínio com vidro de 4 mm.

3.2 Influência de Sistemas de Contrapiso Flutuantes Sobre o Desempenho Acústico ao Ruído de Impacto – Análise da Rigidez Dinâmica da Manta Resiliente

Foram analisadas duas amostras de manta acústica de PEBD, a primeira amostra com espessura de 5 mm e a segunda de 10 mm, caracterizadas pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons), localizado na cidade de Coimbra, em Portugal. Seguem abaixo os resultados de rigidez dinâmica aparente e da frequência de ressonância verificados:

Quadro 1: Resultados de rigidez dinâmica aparente e frequência de ressonância da Amostra 1

Resultados Obtidos	
Nº de provetes ensaiados	3
Comprimento (mm)	200.1
Espessura Inicial (mm)	4.9
d - espessura no final do ensaio (mm)	4.8
m't - massa por unidade de área (Kg/m²)	206.2
Fr - frequência de ressonância (Hz)	79.2
S't - rigidez dinâmica aparente (MN/m³)	51

Fonte: Laudo elaborado pelo IteCons.

Estes resultados podem ser utilizados para verificar a previsão do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padrão Ponderado ($L'_{nT,w}$) de um sistema com contrapiso flutuante. A equação 3 apresentada na metodologia deste trabalho possibilita o cálculo da redução do nível de pressão sonora de impacto padrão em função da frequência central de bandas de 1/3 de oitava. O desempenho de sistemas de contrapiso flutuante utilizando as mantas acústicas de 5 e de 10 milímetros de espessura pode ser calculado utilizando como base de entrada o valor do ΔL ponderado.

Quadro 2: Resultados de rigidez dinâmica aparente e frequência de ressonância da Amostra 2

Resultados Obtidos	
Nº de provetes ensaiados	3
Comprimento (mm)	199.7
Espessura Inicial (mm)	10.4
d - espessura no final do ensaio (mm)	10.4
m't - massa por unidade de área (Kg/m²)	204.2
Fr - frequência de ressonância (Hz)	58.1
S't - rigidez dinâmica aparente (MN/m³)	27

Fonte: Laudo elaborado pelo IteCons.

De acordo com a norma NBR 6120, o peso específico do contrapiso é de 21 kN/m³. Considerando a espessura de 5 cm, utilizada tanto no Ensaio 4 do Edifício A quanto no Ensaio 9 do Edifício B, tem-se uma massa por unidade de área de 105,00 kg/m². Acrescentando a contribuição do peso do piso de porcelanato polido (22,00 kg/m²), também presente nos dois casos, a massa por unidade de área final do carregamento do modelo massa-mola que representa o sistema de contrapiso flutuante é de 127 kg/m². As seguintes tabelas ilustram os resultados da redução do nível de pressão sonora de impacto padrão em função das frequências centrais de banda de 1/3 de oitava para os isolantes acústicos de 5mm e 10mm de espessura, calculadas a partir das equações 2 e 3 apresentadas na metodologia desta pesquisa.

Tabela 7: Diferença dos níveis de pressão sonora de impacto padrão em função das faixas centrais de frequência de banda de 1/3 de oitava da manta de 5mm

f1 (Hz)	ΔL (dB)
100	-0.18
125	2.73
160	5.94
200	8.85
250	11.76
315	14.77
400	17.88
500	20.79
630	23.80
800	26.91
1000	29.82
1250	32.73
1600	35.94
2000	38.85
2500	41.76
3150	44.77
Rigidez Dinâmica da Manta de 5mm	51.00 MN/m ³
Massa por área do contrapiso (5mm) + porcelato	127.00 kg/m ²
Equação (2)	$f_r = 160 \sqrt{\frac{s't}{m't}}$
Frequência Natural de Ressonância	101.39 Hz
Equação (3)	$\Delta L = 30 \log \frac{f1}{f_r}$

Fonte: elaborada pelos autores

Tabela 8: Diferença dos níveis de pressão sonora de impacto padrão em função das faixas centrais de frequência de banda de 1/3 de oitava da manta de 10mm

f1 (Hz)	ΔL (dB)
100	3.96
125	6.87
160	10.09
200	12.99
250	15.90
315	18.91
400	22.02
500	24.93
630	27.94
800	31.06
1000	33.96
1250	36.87
1600	40.09
2000	42.99
2500	45.90
3150	48.91
Rigidez Dinâmica da Manta de 10mm	27.00 MN/m ³
Massa por área do contrapiso (5mm) + porcelato	127.00 kg/m ²
Equação (2)	$f_r = 160 \sqrt{\frac{s't}{m't}}$
Frequência Natural de Ressonância	101.39 Hz
Equação (3)	$\Delta L = 30 \log \frac{f1}{f_r}$

Fonte: elaborada pelos autores

A partir dos valores de redução de nível de pressão sonora de impacto calculados para cada frequência de referência, adota-se o procedimento de ponderação do anexo C na ISO 717-2 para calcular o valor de redução global. As tabelas 9 e 10 ilustram o procedimento descrito norma. Os significados de cada coluna dessas tabelas, bem como a metodologia de cálculo, estão descritos abaixo:

Coluna (1): Frequências centrais de banda de 1/3 de oitava;

- Coluna (2): Resultados da diferença nível de pressão sonora de impacto padrão apresentados nas Tabelas 7 e 8;
- Coluna (3): Valores de piso de referência informados na ISO 717-2;
- Coluna (4): Diferença entre os valores das colunas 3 e 2;
- Coluna (5): Valores de referência de nível de impacto padrão informados na ISO 717-2;
- Coluna (6): Valor inteiro a ser somado com a coluna 5 necessário para satisfazer a seguinte condição: somatório dos valores da coluna 7 ser o maior valor possível menor que 32,00;
- Coluna (7): Valores positivos para a diferença entre a coluna 4 com a soma das colunas 5 e 6;
- Coluna (8): Somatório das colunas 5 e 6;

Manta Acústica de 5mm							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
100	-0.18	67	67.18	62	-6	11.18	56
125	2.73	67.5	64.77	62	-6	8.77	56
160	5.94	68	62.06	62	-6	6.06	56
200	8.85	68.5	59.65	62	-6	3.65	56
250	11.76	69	57.24	62	-6	1.24	56
315	14.77	69.5	54.73	62	-6	0	56
400	17.88	70	52.12	61	-6	0	55
500	20.79	70.5	49.71	60	-6	0	54
630	23.80	71	47.20	59	-6	0	53
800	26.91	71.5	44.59	58	-6	0	52
1000	29.82	72	42.18	57	-6	0	51
1250	32.73	72	39.27	54	-6	0	48
1600	35.94	72	36.06	51	-6	0	45
2000	38.85	72	33.15	48	-6	0	42
2500	41.76	72	30.24	45	-6	0	39
3150	44.77	72	27.23	42	-6	0	36
Soma (Col.8):						30.9	< 32,0
						$\Delta Lw = 78 - 54$	24

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 9: Procedimento de cálculo da previsão do ΔLw para contrapiso flutuante com manta acústica de 5mm de espessura segundo a norma ISO 717-2

De acordo com a ISO 717-2, ΔLw : é a diferença entre o valor fixo de 78 dB com o nível de pressão sonora de impacto padrão calculado na coluna 8 referente à frequência central de 500Hz.

Manta Acústica de 10mm							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
100	3.96	67	63.04	62	-10	11.04	52
125	6.87	67.5	60.63	62	-10	8.63	52
160	10.09	68	57.91	62	-10	5.91	52
200	12.99	68.5	55.51	62	-10	3.51	52
250	15.90	69	53.10	62	-10	1.10	52
315	18.91	69.5	50.59	62	-10	0	52
400	22.02	70	47.98	61	-10	0	51
500	24.93	70.5	45.57	60	-10	0	50
630	27.94	71	43.06	59	-10	0	49
800	31.06	71.5	40.44	58	-10	0	48
1000	33.96	72	38.04	57	-10	0	47
1250	36.87	72	35.13	54	-10	0	44
1600	40.09	72	31.91	51	-10	0	41
2000	42.99	72	29.01	48	-10	0	38
2500	45.90	72	26.10	45	-10	0	35
3150	48.91	72	23.09	42	-10	0	32
Soma (Col.8):						30.19	< 32,0
						$\Delta Lw = 78 - 50$	28

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 10: Procedimento de cálculo da previsão do ΔLw para contrapiso flutuante com manta acústica de 10mm de espessura segundo a norma ISO 717-2

Desta forma, as mantas acústicas de PEBD de 5 mm e 10 mm de espessura possuem um potencial para, teoricamente, atenuar o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado de 24 dB e 28 dB, respectivamente, desde que aplicados corretamente, seguindo os procedimentos de instalação do fabricante.

3.3 Acompanhamento da execução dos sistemas de contrapiso flutuantes

Para alcançar o desempenho acústico previsto no cálculo desenvolvido na seção anterior, é imprescindível seguir corretamente as etapas de execução indicadas pela literatura ou pelos fabricantes de mantas acústicas. O procedimento de execução informado pela empresa fabricante de mantas acústicas de PEBD, Joongbo Química do Brasil LTDA, encontra-se disponível no site da empresa.

Foi realizado um acompanhamento na obra Azaleia, localizada na rua Rocha Lima, nº 998, da construtora Unicasa, no dia 11 de fevereiro de 2015. A análise da aplicação da manta resultou em um relatório técnico que objetivou analisar as condições verificadas na execução do contrapiso flutuante, informar a importância de algumas etapas de execução e apresentar as transgressões testemunhadas no local. O relatório desenvolvido foi fornecido para o engenheiro da obra.

A função da manta resiliente é amortecer a vibração causada por impacto no piso e impedir que a mesma seja transmitida por contato para a laje, para a parede ou para o contrapiso de áreas impermeabilizadas, garantindo assim que o sistema de contrapiso flutuante tenha desempenho satisfatório.

Na data da visita em questão, estava sendo executado o contrapiso flutuante de unidades do andar acima do "Pilotis". Alguns cuidados, como a virada de rodapé, não foram respeitados na unidade observada, como pode ser verificado na seguinte figura:

Figura 1: Virada de rodapé não realizada.



Fonte: Elaborada pelos autores

Esta situação permite o contato entre o contrapiso e a parede, permitindo que a vibração seja transmitida para a mesma, o que comprometerá o desempenho do sistema. Pode ser observado também que o contrapiso flutuante está em contato direto com o contrapiso da área molhada, o que também permite a transmissão da vibração. As seguintes observações foram feitas:

- Realizar sempre a virada de rodapé, sobrepondo 10 cm na parede;
- Sobrepor a manta nas regiões de encontro entre contrapiso flutuante e contrapiso de áreas impermeáveis;
- Limpar sempre a laje antes da colocação da manta, impedindo que a mesma sofra esforços que comprometam sua integridade.

4. Conclusões

As conclusões deste trabalho se dividem em três etapas. Primeiramente, são apresentadas as conclusões referentes ao comportamento acústico global dos sistemas construtivos verificados nos dois edifícios estudados. Posteriormente, são apresentadas as conclusões referentes à contribuição do sistema de contrapiso flutuante no desempenho acústico ao ruído de impacto de pisos a partir da análise da rigidez dinâmica da manta acústica estudada. Por fim, são apresentadas as conclusões referentes ao acompanhamento da aplicação da manta acústica de isolamento de ruído de impacto.

4.1 Conclusões Sobre o Comportamento Acústico dos Sistemas Construtivos dos Edifícios Estudados

Os sistemas construtivos empregados, de um modo geral, ou não atingem os critérios acústicos estabelecidos pela NBR 15575:2013 ou atingem valores bem aproximados dos mínimos. Desta forma, as soluções atualmente adotadas para vedações verticais e horizontais devem ser revistas pelos projetistas e construtores. O único critério que proporciona certa margem em relação ao valor obrigatório é o desempenho sonoro de pisos ao ruído aéreo, mas o mesmo não acontece para o desempenho ao ruído de impacto destes sistemas.

É importante avaliar que, no caso do ruído de impacto de piso, os sistemas podem até atingir o desempenho acústico obrigatório estabelecido pela norma, mas tal fato não garante o conforto ao usuário, uma vez que os critérios de níveis mínimos são demasiadamente elevados quando comparados com os requisitos das normativas estrangeiras. Outra comprovação é o fato de que os ruídos estruturais são causa de muita

reclamação dos habitantes de edifícios residenciais, e em muitos destes casos os sistemas de piso adotados são semelhantes aos estudados nos edifícios analisados neste trabalho, mesmo que estes tenham atingido os valores mínimos da norma.

Portanto, para possibilitar qualidade acústica aos sistemas de piso quanto ao ruído de impacto, soluções como o contrapiso flutuante devem ser levadas em consideração.

4.2 Conclusões Sobre a Contribuição da Solução de Contrapiso Flutuante no Desempenho Acústico de Sistemas de Piso Quanto ao Ruído de Impacto.

A caracterização dos materiais acústicos quanto à rigidez dinâmica apresenta-se como informação relevante para o construtor no momento da escolha do material a ser utilizado em sistemas de contrapiso flutuantes.

O ruído estrutural ocasionado por percussão possui muita facilidade de propagação. A utilização da manta de polietileno expandido de baixa densidade para isolar a transmissão da vibração por contato entre o contrapiso e os sistemas de vedações horizontais e verticais tem potencial para proporcionar um desempenho acústico superior aos sistemas de pisos separando unidades habitacionais autônomas quanto ao ruído de impacto, segundo os resultados obtidos para as espessuras de 5 e 10 milímetros.

Para esta solução apresentar o desempenho acústico previsto em cálculo, o procedimento de execução deve garantir o total isolamento do contrapiso com os demais sistemas da edificação.

4.3 Conclusões Sobre a Execução do Contrapiso Flutuante

Após a realização do acompanhamento da aplicação da manta acústica de PEBD em uma obra de Fortaleza, concluiu-se que os construtores desconhecem o procedimento de execução do contrapiso flutuante e, mesmo quando informados previamente pelo fornecedor, alguns cuidados fundamentais tentem a ser desobedecidos, podendo comprometer o desempenho da solução. Desta forma, é importante que os fornecedores de mantas acústicas ofereçam um acompanhamento técnico aos clientes, principalmente para construtoras que ainda não possuam experiência na realização deste processo.

Referências

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- [2] EN 12354-2 (2000). Building acoustics. Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms.
- [3] EN ISO 717-2 (1996). Acoustics. Rating of soundinsulation in buildings and of buildings elements. Part 2: Impact sound.
- [4] NEVES, A.; ANTÔNIO J.; NOSSA A. Resultados Experimentais da Rigidez Dinâmica de Materiais Usados Sob Pavimentos Flutuantes., Coimbra, Acústica 2008, **Universidade de Coimbra**.
- [5] SCHIAVI, A.; BELL, A. P.; RUSSO, F. Estimation of Acoustical Performance of Floating Floors from Dynamic Stiffness of Resilient Layers., **Building Acoustics**, v. 12, n. 2, 2005.
- [6] BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**/ Sylvio R. Bistafa – 2.ed. revista, - São Paulo: Blucher, 2011.