

Desempenho acústico de sistemas de coberturas com telhas metálicas: efeito de camadas de amortecimento no ruído da chuva

Wittmann, G.¹ ; Heissler, R. F.¹ ; Oliveira, M. F.¹ 

¹ it Performance, Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil, rheissler@unisinos.br, eng.wittmann@gmail.com, mfonunes10@gmail.com

Resumo

Os eventos meteorológicos afetam diretamente as edificações e, apesar das edificações serem compostas de sistemas e elementos construtivos com características que determinam a segurança estrutural necessária, podem ser realizadas alterações para qualificar os demais requisitos de desempenho. O grau de vulnerabilidade de uma edificação depende fundamentalmente das características de sua envoltória, sendo que, no atual contexto de mudanças climáticas, as alterações nos regimes de chuvas são uma das principais consequências. O isolamento ao ruído da chuva de sistemas de coberturas é particularmente importante em edificações de grandes vãos, por causa da maior distância entre apoios e conseqüentemente, menor rigidez dos sistemas. Neste trabalho, o objetivo é analisar a influência do uso de camadas para amortecimento no desempenho acústico de sistemas de coberturas com telhas metálicas sob a ação de chuva artificial produzida em ambiente de laboratório. Os ensaios foram realizados conforme parâmetros da norma ISO 10140, Partes 1, 3 e 5, em 12 diferentes composições de sistemas de cobertura. Para efeito de comparações, também foram testadas 4 tipos de telhas simples. Os resultados mostram que, nos sistemas multicamadas, o preenchimento com lã de vidro entre duas telhas é o mais eficiente, sendo obtidos resultados de $L_{IA} = 74$ dB para a telha trapezoidal simples TP-30 e $L_{IA} = 52$ dB para o sistema composto com lã de vidro e fita elastomérica.

Palavras-chave: ruído da chuva, isolamento acústico, sistemas de cobertura.

PACS: 43.50.Jh, 43.55.Ti.

Acoustic performance of covering systems with metallic roof tiles: effect of damping layers on rain noise

Abstract

Weather events directly affect buildings, and despite buildings being composed of construction systems and elements with characteristics that determine the necessary structural safety, modifications can be made to meet other performance requirements. The degree of vulnerability of a building fundamentally depends on the characteristics of its envelope, and in the current context of climate change, alterations in rainfall patterns are one of the main consequences. Insulating rain noise from roofing systems is particularly important in buildings with large spans, as the greater distance between supports leads to less rigidity of the systems. This work aims to analyze the influence of damping layers on the acoustic performance of metallic tile covering systems during the action of artificial rain produced in a laboratory environment. The tests were carried out according to the parameters of ISO 10140, Parts 1, 3, and 5, in 12 different compositions of the roofing systems. For comparison purposes, 4 types of simple tiles were also tested. The results show that, in multilayer systems, filling with glass wool between two tiles is the most efficient, with results of $L_{IA} = 74$ dB for the simple trapezoidal tile TP-30 and $L_{IA} = 52$ dB for the system with glass wool and elastomeric tape.

Keywords: rain noise, sound insulation, covering systems.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de coberturas para edificações de grandes vãos requerem soluções estruturais que permitam a redução de apoios e/ou maiores espaçamentos entre apoios. Os sistemas que utilizam estrutura e telhas metálicas são soluções construtivas que apresentam maior rapidez de instalação com a utilização de peças mais leves padronizadas, quando comparadas com as estruturas de concreto [1].

No entanto, os sistemas de coberturas compostos por telhas metálicas, apresentam baixo desempenho acústico em dias de chuva, devido a algumas características dos materiais metálicos como, por exemplo, a elevada velocidade de propagação do som e a massa reduzida [2, 3].

Em sistemas de coberturas que utilizam somente uma telha, as características que mais influenciam na produção do ruído em situações de chuvas são a espessura das chapas, a inclinação do telhado e a geometria da telha. Akarsh [4] afirma que a redução da espessura das telhas e da inclinação do telhado acarretam maiores níveis de pressão sonora para sistemas de cobertura com telhas simples. Complementarmente, Sreerag *et al.* [5] indicam que, com as telhas metálicas planas, os níveis de pressão sonora são maiores que da telha corrugada para inclinações de telhado entre 10° e 20°.

A utilização de um material de amortecimento entre elementos metálicos, entre duas telhas, por exemplo, tem como finalidade criar o sistema massa-mola-massa. Nesse sistema, as telhas contribuem como a massa para aumentar a rigidez do sistema e o núcleo como mola, para amortecer e absorver as ondas sonoras estacionárias entre as duas telhas, reduzindo a transmissão dos ruídos [3, 6]. Nesse sentido, Lopes e Rigau [7] indicam a utilização de material com elevada densidade e baixa espessura para proporcionar o aumento da massa do sistema sem incrementar a espessura em toda a área da cobertura. Além da eficiência no isolamento acústico, os autores destacam ainda que na escolha do material a ser utilizado, deve-se ter o cuidado em não aumentar a complexidade de sua instalação na cobertura.

O ruído causado pelo impacto da chuva em coberturas metálicas pode se tornar prejudicial quando do uso de ambientes internos, sendo potencializado pela irradiação das estruturas e pela consequente transmissão como ruído aéreo. Além disso, o volume interno dos ambientes e a capacidade de reflexão de suas superfícies podem criar múltiplas reflexões, acarretando, assim, um aumento no tempo em que o som permanece no ambiente [8]. Dessa forma, em ambientes com coberturas em grandes vãos e elevado fluxo de pessoas, como aeroportos, estações rodoviária e ferroviária, ginásios, entre outros, os ruídos podem ser significativamente amplificados, com prejuízos a inteligibilidade da fala e ao entendimento de informações sonoras nesses ambientes.

O ruído contínuo gerado a partir da vibração do conjunto de elementos que compõem os sistemas de coberturas, especialmente os sistemas de coberturas leves, pode amplificar os sons produzidos durante os eventos das chuvas [2, 9]. O ruído da chuva é o resultado da vibração da superfície do elemento de fechamento de cobertura gerada pelo impacto da gota de água pluvial. Seu espectro sonoro é alterado conforme a massa da estrutura, o amortecimento do material e a perda da energia resultante [10]. Apesar do conhecimento desse princípio de propagação, a estimativa do comportamento energético pluvial é de difícil previsão dada a distribuição sazonal do tamanho das gotas e a influência da velocidade de queda da chuva [9, 11, 12].

A fonte geradora do ruído de precipitações em sistemas de cobertura tem sido o tema de alguns estudos que comparam a chuva natural e artificial [9], o impacto de gotas d'água ou de sólidos [13], o granizo [14], além de análises de velocidade da queda [15], da intensidade [16] e velocidade do vento para a chuva dirigida [12]. Um aspecto importante para o conhecimento do ruído gerado é a identificação da distribuição e do tamanho das gotas, que se relacionam diretamente com o tipo de chuva e a altura de queda. Esse ponto torna mais complexo tanto a mensuração quanto os processos de estimativas e de simulação em laboratório [9].

Para as chuvas artificiais, o Anexo K da norma ISO 10140-1:2021 [17] indica classificações conforme sua intensidade. A chuva moderada é aquela que apresenta a vazão maior que 4 mm/h, a chuva intensa a vazão maior que 15 mm/h, a chuva forte a vazão maior que 40 mm/h e a pancada de chuva a vazão maior que 100 mm/h. Por questões operacionais, em estudos realizados em laboratório, é adotada a intensidade denominada chuva forte, conforme indicado por Chéné *et al.* [18] e Rasa [19].

De acordo com Hopkins e Yu [15], as medições em laboratório com chuva artificial podem ser usadas para comparar elementos construtivos individualmente. No entanto, não há uma relação estabelecida com a chuva natural, pois a chuva artificial é produzida nesses ensaios a partir uma fonte padronizada para caracterizar o isolamento acústico.

Chéné *et al.* [18] afirmam que na Europa, a partir da década de 1990, a forma de lidar com o ruído das chuvas em sistemas de cobertura teve uma grande evolução com as normas que estipulam padronizações da fonte de impacto para ensaios em laboratório, e garantem a reprodutibilidade de procedimentos experimentais. Segundo Baruffa [20], alguns países já apresentam requisitos quanto ao isolamento a ruído de chuva no interior de edificações em localidades com chuvas moderadas, enquanto em outros, o tema é considerado relevante devido às estações chuvosas prolongadas, com chuvas torrenciais.

As características gerais de sistemas de coberturas eficientes no isolamento ao ruído de chuvas, de acordo com Jaramilo e Steel [21], incluem membranas sintéticas multicamadas, sendo que as membranas betuminosas podem fornecer adequado controle ao ruído da chuva, mesmo quando usadas em painéis de isolamento rígidos. Os autores salientam que sistemas de coberturas metálicos que usam materiais de isolamento de fibra mineral tendem a fornecer maiores níveis de isolamento acústico, comparados aos sistemas compostos por painéis de isolamento rígidos. Complementarmente, Hopkins [2] indica que as camadas de amortecimento aplicadas a telhados metálicos, aumentam o fator de perda

interna e, portanto, o fator de perda total.

Massaglia [22] destaca que o uso de materiais como elementos de preenchimento entre telhas nos sistemas de cobertura, normalmente são fibras minerais, fibra de vidro ou fibra de rocha. O autor conclui com a indicação de que esses materiais apresentam variações de densidade entre 10 e 200 kg/m³ e que, para se atingir elevado desempenho acústico, os sistemas devem adotar materiais com densidade acima de 50 kg/m³.

Apesar de constituírem uma solução simples, o uso de sistemas construtivos multicamadas pode ter seu desempenho acústico reduzido devido a ressonâncias internas, caso existam cavidades de ar em seu interior [3]. Nesse sentido, adotar o uso de material fonoabsorvente no interior de sistemas multicamadas contribuirá com a redução dessas ressonâncias e o com o consequente aumento do isolamento acústico [6].

Nesse contexto, este artigo tem por objetivo determinar a influência do uso de materiais, em camadas para amortecimento, no desempenho acústico de sistemas de coberturas com telhas metálicas submetidos à ação de chuva artificial produzida em ambiente de laboratório.

2. MÉTODO

O método adotado neste trabalho envolve a caracterização da fonte sonora, a chuva artificial, o planejamento dos ensaios e definições das características das amostras. O procedimento experimental seguiu as recomendações da norma ISO 10140-1:2021 [17], sendo dividido em duas (2) etapas: ensaios com telhas simples e ensaios com sistemas compostos.

2.1 Produção da chuva artificial

Foi utilizado o tipo de chuva artificial proposto na norma ISO 10140-5 [23] que consiste na produção de precipitação constante de gotas de água em estado líquido com intensidade classificada como "forte", com os seguintes parâmetros atendidos:

- Taxa de precipitação de 40 mm/h;
- Velocidade de queda de 7,0 m/s; e

- Diâmetro médio da gota de 5 mm.

A taxa de precipitação é a profundidade da camada de água criada pela distribuição da chuva em uma superfície horizontal em um intervalo de tempo de 1 h.

A partir dos parâmetros de volume, velocidade, diâmetro do furo para geração da gota e altura do reservatório, foram determinadas as dimensões dos reservatórios. Para a confecção da placa perfurada foi utilizado o policarbonato com 10 mm de espessura e o projeto de furação seguiu o padrão de furação e divisão desenvolvido por Donohue e Pearse [10]. Essa adaptação foi necessária porque a norma ISO 10140-5 não determina um padrão de divisão e/ou espaçamento para esses furos, que é o que define as condições de entrada e de saída da água. Na norma consta, somente, a especificação de aproximadamente 60 furos por m^2 com um diâmetro de 1 mm para o padrão de chuva artificial pesada. Dessa forma, optou-se por confeccionar a placa perfurada conforme ilustrado na Figura 1.

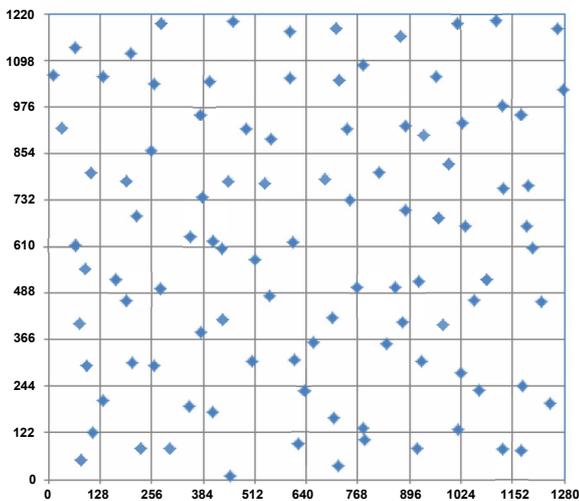


Figura 1: Padrão de furação adotado nos ensaios (retirado de Donohue e Pearse [10]).

A câmara onde os ensaios foram realizados é composta por duas salas sobrepostas, separadas por uma laje de concreto maciço com 12 cm de espessura, paredes em alvenaria dupla de tijolos maciços cerâmicos e revestimento argamassado de 2 cm em ambas as faces. Para a instalação das amostras foi disposto um espaço de 2,35 m por 4,40 m aberto na laje, com uma estrutura metálica de suporte para as amostras. Para a supressão da transmissão por flancos foi utili-

zada uma camada de EVA com espessura de 10 mm (Figura 2) e, para garantia da estanqueidade do sistema durante a produção da chuva artificial, foi utilizado um selante à base de PU no perímetro da amostra (Figura 3).



Figura 2: Espaço para instalação das amostras.



Figura 3: Selante aplicado nas juntas entre a telha e o EVA.

As características do reservatório e da queda da água atenderam ao especificado na norma ISO 10140-5 [23], com a adoção do sistema em ciclo fechado nas instalações (Figura 4) para o abastecimento de água, sendo:

- Reservatório 1: produção e distribuição das gotas na passagem da água pela placa perfurada (Figuras 5 e 6);
- Reservatório 2: alimentação o Reservatório 1 com volume e pressão constantes;
- Reservatório 3: alimentação do Reservatório 2 e sustentação do volume de água constante para no Reservatório 2 para uma autonomia de até 2 horas de ensaio; e

- Reservatório 4: armazenagem da água consumida durante o ensaio e abastecimento do Reservatório 3, por meio de uma bomba elétrica de acionamento manual.

A coleta da água da precipitação, após escoar pela amostra, é realizada por uma calha metálica, instalada na face frontal da amostra. A água é conduzida por um tubo de PVC de diâmetro de 100 mm por fora da câmara até o Reservatório 4 e, posteriormente, bombeada para o Reservatório 3.

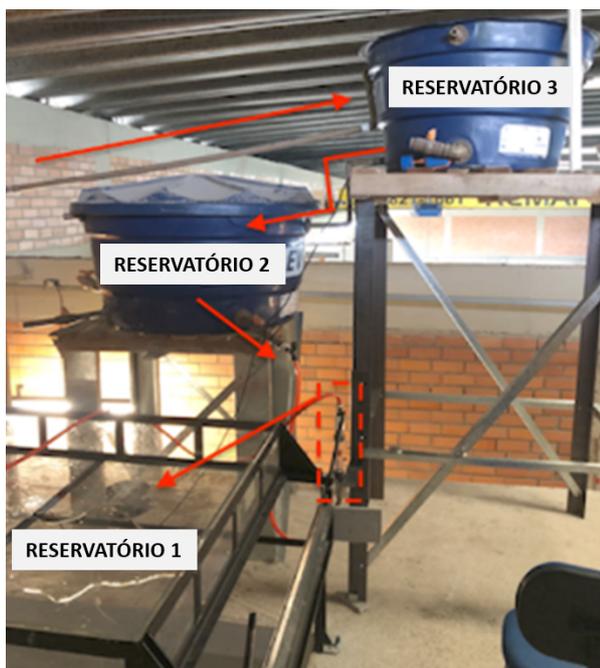


Figura 4: Sistema de reservatórios.



Figura 5: Vista interna do Reservatório 1 com a placa perfurada.



Figura 6: Estrutura para sustentação da placa perfurada de acrílico do Reservatório 1.

2.2 Ensaios

O procedimento de medição foi realizado conforme proposto na ISO 10140:2021 [17], com a intensidade sonora determinada conforme o nível de pressão sonora, a área de excitação do telhado, e tempo de reverberação e o volume da câmara abaixo da amostra.

As medições foram realizadas em 12 pontos para obtenção do nível de pressão sonora na câmara de recepção, com 4 pontos de microfones e 3 pontos de impacto. Para mudar os pontos de impacto de chuva, o Reservatório 1 foi movimentado lateralmente nos trilhos da estrutura metálica.

O tempo de reverberação foi medido pelo método de precisão proposto pela ISO 3382-2 [24], em 12 pontos de medição, com 3 taxas de decaimento em cada ponto e os resultados expressos com o indicador T20.

Os equipamentos utilizados nas medições foram da B&K: analisador sonoro 2270; fonte sonora omnidirecional omnipower 4292-L; pré-amplificador modelo ZC-0032; microfones 1/2" 4189; calibrador sonoro 4231 e amplificador de potência 2734.

Foram adotados os descritores de nível de intensidade sonora em bandas de terço de oitava (L_I) e nível de intensidade ponderado em A (L_{IA}) em valor único.

2.3 Características das amostras

A primeira etapa dos ensaios consistiu em testar as telhas simples, sem elemento de amortecimento estrutural ou preenchimento com manta fibrosa, conforme apresentado no Quadro 1.

Com a etapa das amostras simples concluída, foram definidas as composições dos sistemas de cobertura multicamadas de acordo com as características indicadas por outros autores [2, 7, 21, 22]. Dessa forma, foram utilizadas telhas superior e inferior com perfis diferentes e combinações com material fibroso e elastomérico para amortecimento das vibrações.

As amostras compostas foram instaladas sobre a telha que apresentou maior L_{IA} , com as seguintes variações:

- Adoção de alturas diferentes dos perfis espaçadores de 30 mm e 100 mm;
- Utilização de lã de vidro com espessura de 50 mm entre as telhas;
- Instalação de fita elastomérica no contato entre os espaçadores e a telha superior.

Apesar de ser indicado por alguns autores o uso de material elastomérico na forma de membranas em toda a área da cobertura [7, 21], para este trabalho, optou-se pelo uso da fita elastomérica aplicada somente no centro do eixo longitudinal do perfil metálico espaçador, para não alterar a carga prevista na estrutura. As composições das amostras ensaiadas na segunda etapa estão no Quadro 2.

O espaço entre as telhas superior e inferior apresentou diferenças em função da altura dos espaçadores. Dessa forma, nas composições em que foram usados os espaçadores de 100 mm e o preenchimento com lã de vidro, restou um espaço vazio entre a lã e a telha superior. Já nas composições com o espaçador de 30 mm, a lã de vidro sofreu compressão, o que acarretou aumento na densidade do preenchimento (Figura 7).

Quadro 1: Características das telhas simples.

Identificação	Tipo de telha
1	Zipada
2	Ondulada
3	Trapezoidal TP-40
4	Trapezoidal TP-30

Quadro 2: Características dos sistemas compostos.

Identificação	Espaçador (mm)	Material
5	30	Fita elastomérica e núcleo fibroso
6	30	Fita elastomérica
7	30	Núcleo fibroso
8	30	—
9	100	Fita elastomérica e núcleo fibroso
10	100	Fita elastomérica
11	100	Núcleo fibroso
12	100	—

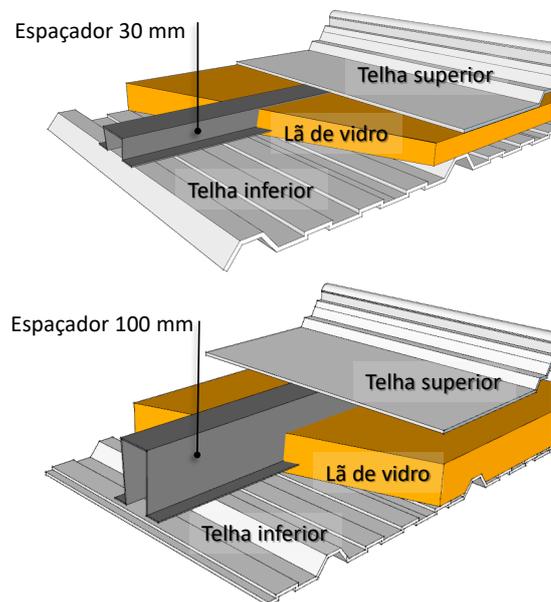


Figura 7: Sistemas compostos com lã de vidro.

A instalação do espaçador e da lã de vidro pode ser verificada na Figura 8. As Figuras 9 a 11 ilustram, respectivamente, a fita elastomérica aderida ao espaçador de 30 mm, a instalação do perfil espaçador fixado na telha inferior, a colocação da lã de vidro e a instalação da telha superior zipada.



Figura 8: Instalação do sistema de cobertura na câmara.

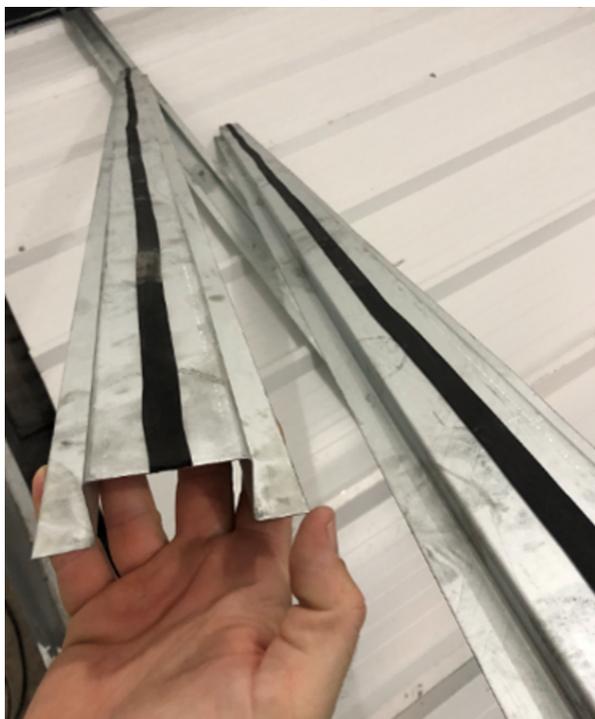


Figura 9: Fita de amortecimento no perfil espaçador.



Figura 10: Instalação da lã de vidro para os sistemas compostos.



Figura 11: Instalação da telha zipada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 12 são apresentados os resultados da Etapa 1, quando foram ensaiadas as 4 amostras simples, sem adição de camadas.

Nos resultados do ensaio com a Telha 1, telha zipada com enrijecedor trapezoidal, pode-se perceber o comportamento diferente da curva, com maiores valores na banda de 630 Hz, que pode ser atribuído ao sistema de fixação diferente entre as telhas e o montante metálico. A amostra fica suspensa em relação à estrutura de fixação, sem contato direto com a terço, com o contato feito pelo clip com dilatador. Esse tipo de sistema de fixação permite a telha trabalhar independente do sistema estrutural, possibilitando que sua superfície plana fique livre em relação à estrutura de fixação. Esse tipo de telha possui a maior área plana, contribuindo para o impacto da gota próximo a 90°.

Quando verificado o resultado por bandas de terço de oitava, percebe-se que a Telha 1 (telha zipada) apresentou um nível de intensidade sonora maior nas bandas de frequências entre 200 Hz e 800 Hz, quando comparada com os demais sistemas. Isto pode ser devido à baixa rigidez da telha, por ter a parte plana com maior área que as demais, conforme também verificado no estudo de Sreerag *et al.* [5]. Entretanto, nas médias e altas frequências a Telha 1 apresentou um valor menor que as Telhas 3 e 4, ambas com geometria trapezoidal.

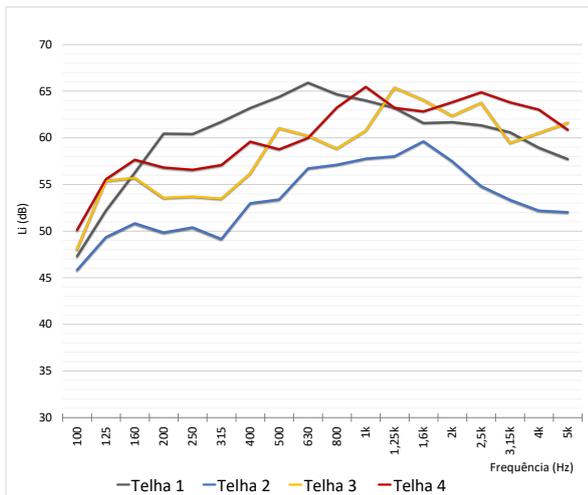


Figura 12: Resultados das amostras com telhas simples.

Na Figura 13 podem ser analisados os resultados dos ensaios com amostras compostas por duas telhas (inferior TP-30 e superior zipada), com espaçador de 30 mm, com e sem material fibroso entre telhas. As Composições 5 e 7 possuem núcleo em lã de vidro, com e sem fita de amortecimento, respectivamente. Pode-se observar que o comportamento das amostras é similar em baixas frequências, enquanto nas altas frequências (acima de 500 Hz), se as diferenças aumentam, tendo a Telha 5 com um desempenho melhor. Nos resultados das Composições 6 e 8, que não contam com núcleo preenchido com material fibroso, pode-se observar que a instalação da fita elastomérica, isoladamente, não influenciou nos resultados. Os resultados das Composições 5 e 7 caracterizam a eficiência do núcleo com lã de vidro em telhas compostas, com expressiva redução dos valores de L_I , a partir da banda de 300 Hz.

Os resultados das composições com espaçador de 100 mm podem ser visualizados na Figura 14, sendo as Composições 9 e 10 com a fita de amortecimento, a Composição 11 com núcleo fibroso e a 12, sem amortecimento nem fita. Comparando-se os resultados das Composições 9 a 12, percebe-se uma similaridade no perfil gráfico por bandas de terço de oitava, com decaimento dos níveis de intensidade sonora a partir da banda de 200 Hz. Nas Composições 10 e 12, que não apresentam material fibroso no seu interior, percebe-se valores similares entre si em todas as bandas de frequências analisadas.

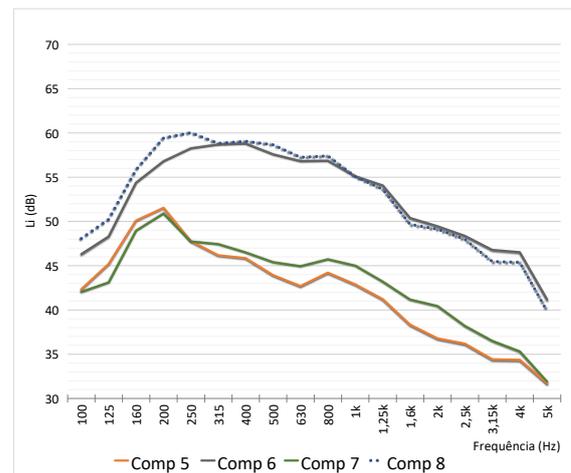


Figura 13: Resultados das composições com espaçador de 30 mm.

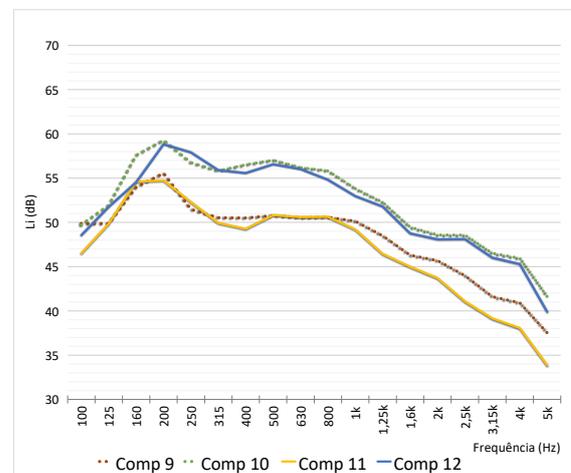


Figura 14: Resultados das composições com espaçador de 100 mm.

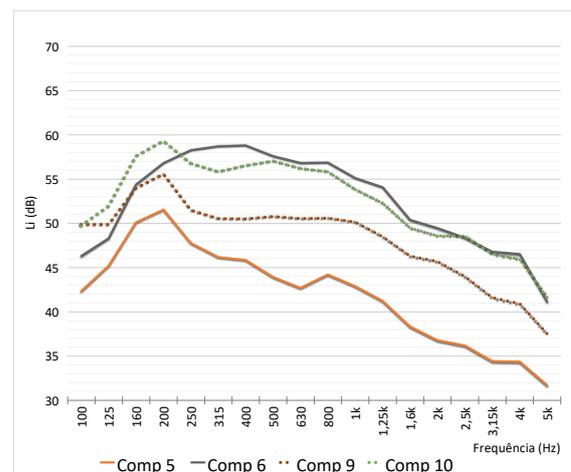


Figura 15: Resultados das composições com fita de amortecimento.

Na Figura 15, ao comparar os resultados das composições com fita, pode-se observar uma similaridade nos resultados das Composições 6 e 10, sem preenchimento, com espaçadores de

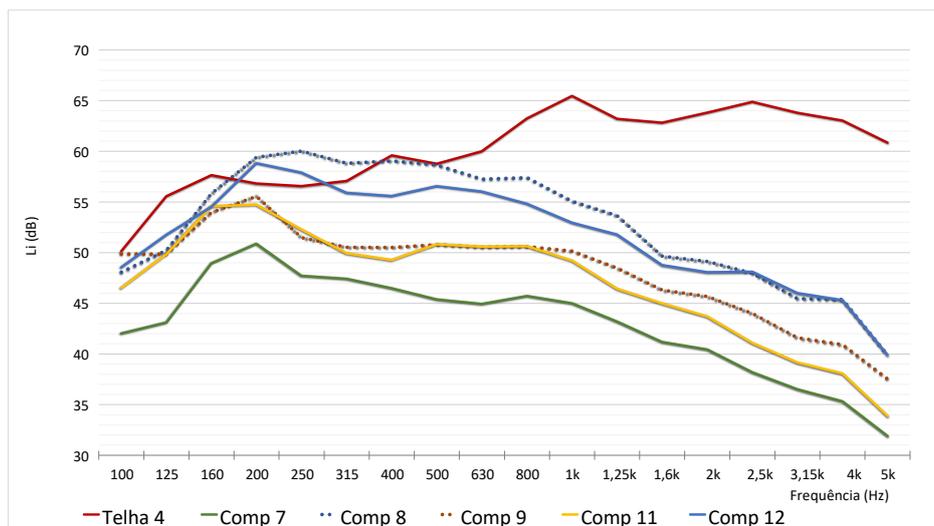


Figura 16: Comparação entre as composições com e sem lã de vidro.

30 mm e de 100 mm, respectivamente. Nessas amostras, o aumento na altura da câmara de ar não alterou significativamente os resultados por bandas de frequências.

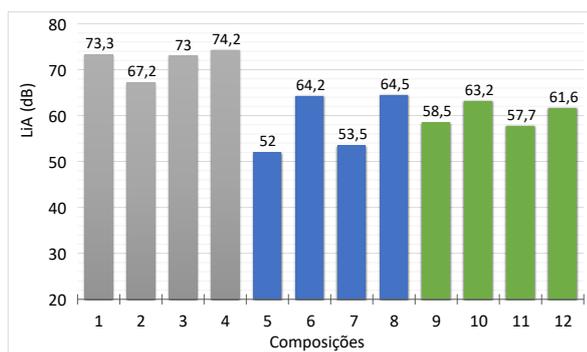


Figura 17: Resultados ponderados em L_{IA} .

As análises sobre a influência do uso de lã de vidro no preenchimento do espaço entre as telhas, podem ser feitas a partir dos resultados das Composições 7, 8, 11 e 12, comparativamente ao da telha simples (Figura 16). Todos os resultados dos sistemas compostos apresentaram reduções a partir de da banda de 500 Hz em relação à telha simples. Nas amostras sem fita e sem lã, Composições 8 e 12, o aumento de altura do espaçador representou reduções nas bandas entre 200 Hz e 1.500 Hz. Além disso, em relação à telha simples houve redução no isolamento acústico nas bandas entre 200 Hz e 315 Hz. Na Figura 16, pode-se ainda verificar a influência da densidade da lã de vidro comparando-se as Composições 7 e 11, pois na Composição 7, com espaçador de 30 mm, a lã ficou com maior

densidade e os resultados foram menores em todas as bandas de frequências.

A comparação entre os valores ponderados em A pode ser analisada no gráfico da Figura 17, sendo as barras na cor cinza os resultados das amostras com telhas simples, azul as amostras com espaçador de 30 mm e na cor verde as amostras com espaçador de 100 mm. É possível verificar a marcante influência do preenchimento entre as telhas com material fibroso na redução do ruído da chuva padrão, especificamente para as Composições 5 e 7. A adição de um material fibroso entre as telhas impôs uma redução na transmissão do som da chuva artificial em 12,2 dB. Já os ensaios das Composições 7 e 8, apresentam uma redução na transmissão do som da chuva em 11 dB.

Os resultados ponderados encontrados neste trabalho para as composições com telhas simples estão coerentes com os estudos de Chéné *et al.* [18] e de Rasa [19], ambos desenvolvidos em laboratório, que indicam valores de L_{IA} acima de 70 dB para coberturas com chapa metálica.

4. CONCLUSÕES

A definição de soluções para o adequado isolamento acústico de sistemas de coberturas em situação de chuvas pode apresentar alguma complexidade, pois as variáveis que influenciam na magnitude das precipitações são muitas e são de difícil controle. Sendo assim, existe ainda

uma preocupação em se entender qual seria a fonte mais adequada para ensaios experimentais, comparando situações de chuvas reais e chuvas artificiais produzidas em laboratório. No entanto, a produção da chuva artificial padronizada envolve o controle de muitas variáveis, que se faz necessário para a validação de resultados de diferentes laboratórios para caracterização de sistemas construtivos.

Este trabalho abordou uma situação específica de sistemas utilizados em retrofit de coberturas, com a instalação de camadas sobrepostas à telha existente. Esse tipo de instalação possibilita a não interrupção das atividades internas da edificação a ser reformada, e tem elevado potencial para a redução do ruído das chuvas quando adotadas soluções que garantam aumento da perda de transmissão sonora.

Foram analisados sistemas de coberturas simples e sistemas duplos, com variações no preenchimento de material fibroso entre as telhas e no uso de fitas elastoméricas em pontos isolados. Os sistemas de coberturas somente com uma telha apresentaram níveis sonoros elevados, que indicam uma contribuição significativa para a degradação das condições acústicas em ambientes internos. Essa situação pode ser encontrada em diferentes ambientes como aeroportos, estações rodoviárias e locais para eventos, que requerem condições apropriadas para o entendimento da comunicação verbal.

Com este trabalho foi possível concluir que o amortecimento com material elastomérico em pontos isolados das telhas contribui para aumentar o isolamento ao som das chuvas, mas a maior eficiência está no preenchimento dos vazios entre as telhas com material fibroso. Destaca-se que o aumento da altura do perfil espaçador, e o consequente aumento da camada de ar entre as telhas, não aumenta o isolamento acústico do sistema de cobertura.

Os resultados apresentados poderão servir de base para novos projetos de arquitetura e engenharia, não necessariamente apenas para edificações com grandes vãos, qualificando a informação para o desenvolvimento de projetos que visam ao desempenho acústico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a empresa Poolmak Sistemas Estruturais pelo apoio na instalação da infraestrutura para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

1. SILVA, V. P.; PANNONI, F. D. *Estruturas de aço para edifícios: aspectos tecnológicos e de concepção*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2020. ISBN 978-8521216377.
2. HOPKINS, Carl. *Sound insulation*. 3. ed. Burlington: Elsevier Ltd, 2020. ISBN 978-1000159288.
3. PATRÍCIO, Jorge V. *Acústica nos edifícios*. 7. ed. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2018. ISBN 978-9897232633.
4. AKARSH, S.; ABHILASH, P.; ABHINAV, K. V.; AKSHAY, C. C.; KUMAR, C. Sudheesh. Experimental and numerical investigations of rain fall induced noise from roofing sheets. In: *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise)*. Glasgow, Escócia: Institute of Noise Control Engineering (INCE), 2022. p. 3999–5001. doi: [10.3397/IN_2022_0590](https://doi.org/10.3397/IN_2022_0590).
5. SREERAG, R. K.; SHOBIN, S.; VISHNU, A.; VIVEK, S.; SUDHEESH, C. P. Influence of roofing sheet geometry on reduction of rainfall induced noise. In: *5th International Conference on Systems, Energy & Environment (ICSEE)*. Singapura: [s.n.], 2021. doi: [ssrn.3791071](https://doi.org/10.3397/IN_2022_0590).
6. EGAN, D. *Architectural Acoustics*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2014. ISBN 978-8131510001.
7. LOPES, M. M.; RIGAU, L. Utilização de membrana insonorizante no isolamento acústico em cobertura metálica. In: *Acústica & Técnica Acústica 2008*. Coimbra, Portugal: [s.n.], 2008. p. 1–8. Disponível em: <https://documentacion-sea-acustica.es/publicaciones/Coimbra08/id309.pdf>.
8. UNIVERSALIS. *Acoustique architecturale*:

Les grands articles d'Universalis. Bruxelas: Encyclopædia Universalis, 2020. ISBN 978-23410006361.

9. YAN, X.; LU, S.; LI, J. Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains. *Applied Acoustics*, v. 106, p. 63–76, 2016. doi: [10.1016/j.apacoust.2015.12.022](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.022).

10. DONOHUE, J.; PEARSE, J. Rain noise. In: *23rd International Congress of Acoustics (ICA)*. Aachen, Alemanha: [s.n.], 2019. p. 1–7. doi: [10.18154/RWTH-CONV-239914](https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239914).

11. MINEO, C. C.; RIDOLFI, E.; MOCCIA, B.; RUSSO, F.; NAPOLITANO, F. Assessment of rainfall kinetic-energy-intensity relationships. *Water*, v. 11, p. 1–23, 2019. ISSN 2073-4441. doi: [10.3390/w11101994](https://doi.org/10.3390/w11101994).

12. TILG, A. M.; VEJEN, F.; HASAGER, C. B.; NIELSEN, M. Rainfall Kinetic Energy in Denmark: Relationship with Drop Size, Wind Speed, and Rain Rate. *Journal of Hydrometeorology*, v. 21, p. 1621–637, 2020. ISSN 1525-7541. doi: [10.1175/JHM-D-19-0251.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0251.1).

13. VERMEIR, G.; MEES, P. Laboratory test set-up for the evaluation of rainfall-noise. In: *29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (Internoise)*. Nice, França: Institute of Noise Control Engineering (INCE), 2000. p. 1–7. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325392916_LABORATORY_TEST_SET-UP_FOR_THE_EVALUATION_OF_RAINFALL-NOISE.

14. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek). *Rainfall and impact noise measurements on metal roof tiles (Report TNO-DGT-RPT-010015)*. Haia, 2004. 1–18 p. Disponível em: http://www.metrotile.com.pt/pdf/Ruido_Produzido.pdf.

15. HOPKINS, C.; YU, Y. Empirical models for artificial and natural rainfall to assess rain noise inside buildings and cars. In: *49th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise)*. Seul, Coréia: Institute of

Noise Control Engineering (INCE), 2020. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/ince/incecp/2020/00000261/00000005/art00012>.

16. BALLAG, K. O. Noise of simulated rainfall on roofs. *Applied Acoustic*, v. 31, p. 245–264, 1990. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/0003-682X\(90\)90032-P](https://doi.org/10.1016/0003-682X(90)90032-P).

17. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10140-1: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 1: Application rules for specific products*. Genebra, 2021. 54 p. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/67232.html>.

18. CHÉNÉ, J.; GUIGOU-CARTER, C.; LANGAGER, M. Mesure et prédiction du bruit de pluie sur des systèmes multicouches. In: *10ème Congrès Français D'Acoustique*. Lion, França: [s.n.], 2010. Disponível em: <https://hal.science/hal-00537210>.

19. RASA, Alexander. The effectiveness of utilising a damping compound for attenuating rainfall noise on metal roofing. In: *Acoustics 2018*. Adelaide, Austrália: Australian Acoustical Society, 2018. p. 1–9. Disponível em: https://acoustics.asn.au/conference_proceedings/AA_S2018/papers/p32.pdf.

20. BARRUFA, R. Correlation between airborne sound insulation and heavy rain noise on coverings with metallic finishing. *Rivista Italiana di Acustica*, v. 40, p. 32–42, 2016. ISSN 2385-2615. Disponível em: <https://acustica-ia.it/rivista-italiana-di-acustica/>.

21. JARAMILO, A. M.; STEEL, C. *Architectural Acoustics*. 1. ed. Londres: TaylorFrancis, 2015. ISBN 978-1317619352.

22. MASSAGLIA, J. F. *Modelling the sound insulation of corrugated roof structures: an extended transfer matrix approach*. 282 p. Tese (Doutorado) — Universidade de Salford, Salford, Reino Unido, 2017. Disponível em: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1387821/modelling-the-sound-insulation->

[of-corrugated-roof-structures-an-extended-transfer-matrix-approach.](#)

23. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10140-5*: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 5: Requirements for test facilities and equipment. Genebra, 2021. 39 p. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/79482.html>.

24. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 3382-2*: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Genebra, 2008. 17 p. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/36201.html>.