XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Desempenho acústico ao ruído da chuva em coberturas com telhas metálicas

Acoustic performance of rain noise in roofs with metal finishing

Gabriel Wittmann
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | eng.wittmann@gmail.com
Rafael Ferreira Heissler
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | rheissler@unisinos.br
Bianca Gass Walter
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | biancagw@unisinos.br
Roberto Christ
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | rchrist@unisinos.br
Maria Fernanda de Oliveira
Itt Performance Unisinos | São Leopoldo | Brasil | mariaon@unisinos.br

Resumo

Em estruturas de grandes vãos com telhas metálicas, o ruído da chuva pode ser amplificado resultando em prejuízos ao uso da edificação. Este trabalho busca determinar o desempenho acústico ao ruído de impacto de chuva em sistemas de coberturas com telhas metálicas, com 12 diferentes composições. Os ensaios foram realizados em laboratório conforme parâmetros da ISO 10140: partes 1, 3 e 5, com a geração de chuva artificial. Os resultados ponderados em A das amostras com telhas simples variaram de L_{iA} 67,2dB a 74,2dB. Pode-se concluir que a instalação de camada intermediária com material fibroso reduz o ruído da chuva em até 22dB.

Palavras-chave: Sistema de cobertura. Ruído de chuva. Isolamento acústico. Desempenho de cobertura.

Abstract

Large spans structures with metal finishing, rain noise can be amplified, resulting in damage to the use of the building. This work aims to determine the acoustic performance of rain impact noise in roofing systems with metallic finishing, with 12 different compositions. The tests were performed out in the laboratory according to the parameters of ISO 10140: parts 1, 3 and 5, with artificial rainfall excitation. The A-weighted sound intensity level results of the samples with single layer ranged from L_{iA} 67.2dB to 74.2dB. It can be concluded that the installation of an intermediate layer with fibrous material reduces rain noise by up to 22dB.

Keywords: Covering system. Rain noise. Sound insulation. Covering performance.

Como citar:
WITTMANN, G.; HEISSLER, R. F.; WALTER, B. G.; CHRIST, R.; OLIVEIRA, M. F. Desempenho acústico ao ruído da chuva em coberturas com telhas metálicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

O uso de coberturas metálicas em edificações comerciais e industriais apresentam um baixo desempenho acústico, pois esses sistemas são constituídos por elementos construtivos com pouca massa, quando comparado com sistemas de coberturas convencionais que, por apresentarem maior densidade superficial, possuem maior isolamento ao som [1,2]. Além disso, o ruído contínuo gerado a partir da vibração do conjunto de elementos que compõem os sistemas de coberturas, especialmente os sistemas de coberturas leves, podem amplificar os sons produzidos durante os eventos das chuvas [3].

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, e seu espectro sonoro é alterado conforme a massa da estrutura, o amortecimento do material e a perda da energia resultante [4]. 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 dependência da velocidade de queda da chuva. [3,5,6]

Um item importante para o conhecimento do ruído gerado é identificar a distribuição e tamanho das gotas, as quais se relacionam diretamente com o tipo de chuva e a altura de queda. Este ponto dificulta tanto a mensuração quanto processos de estimativas e de simulação em laboratório. [3]

Para as chuvas artificiais, a norma ISO 10140:2021 Parte 1, Anexo K, classifica as chuvas conforme sua intensidade, sendo uma chuva moderada a que apresenta uma vazão maior que 4 mm/h; a chuva intensa uma vazão maior que 15 mm/h; a chuva forte uma vazão maior que 40 mm/h; e a pancada de chuva uma vazão maior que 100 mm/h.

De acordo com Hopkins et al. [7] as medições em laboratório com chuva artificial podem ser usadas para comparar elementos individuais, mas não há uma relação estabelecida com a chuva natural, sendo a chuva artificial produzida nesses ensaios uma fonte padrão para definir o isolamento acústico.

Segundo Baruffa [8], 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 as estações chuvosas prolongadas, com chuvas torrenciais.

Em edificações residenciais é comum o uso de sistemas de cobertura compostos por elementos de concreto, conjuntos de telhas e outros elementos como forros com câmaras de ar que podem fornecer níveis adequados de controle acústico a ruído aéreo e das chuvas. Por sua vez, elementos de cobertura metálicos podem ser considerados problemáticos, entretanto, é possível garantir um isolamento acústico por meio de projeto com soluções adequadas às características sonoras de cada local. [9]

Apesar de constituírem uma solução simples, o uso de sistemas construtivos multicamadas pode ter seu desempenho acústico reduzido devido a ressonâncias internas, caso o elemento apresente cavidades de ar em seu interior. [2]

Nesse sentido, adotar o uso de material fonoabsorvente no interior de sistemas multicamadas formadas por placas, contribuirá com a redução dessas ressonâncias e o consequente aumento do isolamento acústico. [10]

Dessa forma, este artigo tem por objetivo determinar o desempenho acústico ao ruído de impacto de chuva de sistemas de coberturas com telhas metálicas, para verificar a influência do uso de material fonoabsorvente, fitas de amortecimento de vibrações e diferença da altura de espaçadores nos sistemas compostos por mais de uma camada.

MÉTODO

Foram testadas diferentes composições de elementos de cobertura em ensaios não destrutivos em laboratório, seguindo os parâmetros normativos internacionais. Foi utilizada chuva artificial gerada em laboratório, sendo então, medido o som gerado pelo impacto da precipitação em contato com a amostra.

O procedimento experimental se deu através do ensaio em laboratório segundo a ISO 10140-1:2021. Foi utilizado o tipo de chuva proposto pela ISO 10140-5 como intensidade forte (*Heavy*), com vazão de 40 mm/h e uma velocidade de queda de 7,0 m/s e diâmetro médio de gota de 5 mm.

O ensaio foi realizado em câmara projetada para esta finalidade, sendo a chuva escoada por uma placa de acrílico perfurado e a vazão controlada por um sistema de caixa d'água e rotâmetro. A Figura 1 apresenta o esquema construtivo do ambiente de ensaio.

Figura 1: (à direita) Estrutura de sustentação da placa de acrílico (ao centro) Sistema de caixa d'água e (à esquerda) Montagem do sistema de cobertura



O procedimento de medição foi realizado conforme o proposto pela ISO 10140:2021, sendo o nível de intensidade sonora determinada conforme o nível de pressão sonora, a área de excitação do telhado, tempo de reverberação e volume, conforme Equação 01:

$$L_I = L_{pr} - 10lg(T/T_0) + 10lg(V/V_0) - 14 - 10lg(S_e/S_0) \qquad \text{Eq. 01}$$

Foram feitos 12 pontos de medição do nível de pressão sonora na câmara de recepção, sendo 4 pontos de microfone e 3 pontos de impacto. Para mudar os pontos de impacto

de chuva, o reservatório foi construído sobre uma estrutura metálica móvel, permitindo a translação longitudinal.

O tempo de reverberação foi feito pelo método de precisão proposto pela ISO 3382-2, sendo realizado 12 pontos de medição com 3 taxas de decaimento em cada ponto. Utilizou-se o indicador T20 para o estudo proposto.

Para a avaliação entre os sistemas, foi adotado o nível de intensidade sonora ponderado em A, dado pela Equação 02, o qual resulta em um valor único, permitindo uma comparação entre os tipos de amostras.

$$L_{IA} = 10lg \sum_{j=1}^{j_{max}} 10^{0,1(L_{Ij}+C_J)} \qquad \text{Eq. 02}$$

A composição das telhas ensaiadas foi definida com base nos princípios que determinam a eficiência acústica do sistema, sendo eles:

a) Diferentes modelos (perfis) de telhas inferiores (forro);
b) Instalação de material fibroso como elemento de amortecimento;
c) Utilização de elemento de amortecimento (fitas);

A primeira etapa dos ensaios consistiu em testar as telhas simples, sem elemento de amortecimento estrutural ou manta fibrosa, conforme apresentado na Tabela 1.

Com a fase das amostras simples concluída, as amostras compostas foram montadas sobre a amostra que apresentou maior nível de intensidade sonora ponderado em A. A montagem das amostras compostas é feita com acréscimo de perfis espaçadores de 30 mm e 100 mm, sendo uma configuração de montagem com e outra sem núcleo fibroso em lã de vidro e outra configuração de montagem com e sem fita de amortecimento no perfil espaçador (Figura 2). As características das amostras da segunda estão na Tabela 2.

Figura 2: (à direita) Instalação da telha zipada (ao centro) Fita de amortecimento no perfil espaçador (à esquerda) Instalação da lã de vidro para os sistemas compostos



Tabela 1: Características das telhas simples

Identificação	Tipo de telha	Espessura (mm)
1	Zipada	0,5
2	Ondulada	0,5
3	Trapezoidal TP-40	0,5
4	Trapezoidal TP-30	0,5

Tabela 1: Características dos sistemas compostos

Identificação	Altura do espaçador (mm)	Amortecimento no perfil	Núcleo fibroso
5	30	Sim	Sim
6	30	Sim	Não
7	30	Não	Sim
8	30	Não	Não
9	100	Sim	Sim
10	100	Sim	Não
11	100	Não	Sim
12	100	Não	Não

RESULTADOS

Na Figura 3 são apresentados os resultados das amostras testadas na fase 1, quando foram ensaiadas as 4 amostras simples, sem adição de fita, núcleo fibroso e/ou telha composta.

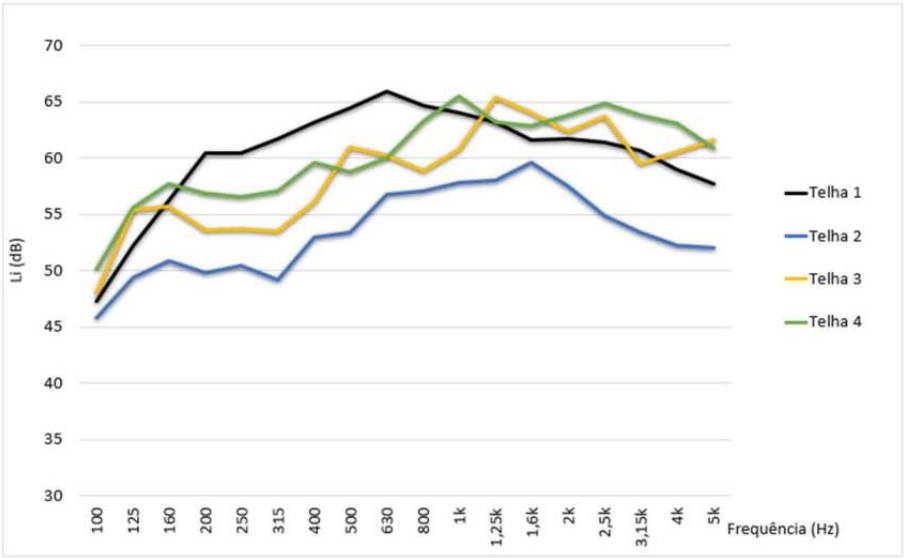
O ensaio da Telha 1, telha zipada com enrijecedor trapezoidal, apresentou um comportamento da curva distinto das demais, com maiores valores na banda de 630 Hz, que pode ser atribuído ao sistema de fixação diferente entre as telhas e o montante metálico. A amostra fica suspensa em relação a estrutura de fixação e sua ponte a ela é dada pelo clip com dilatador, esse sistema de fixação permite a telha trabalhar independente do sistema estrutural, possibilitando que sua superfície plana fique livre em relação a estrutura de fixação.

A amostra possui a maior área plana dos ensaios de primeira fase, contribuindo para o impacto a 90° da gota com a amostra. A contribuição do clip como elemento-mola do sistema não foi testada neste trabalho, mas pelas características da amostra em planicidade e baixa rigidez no sistema de fixação, pode-se concluir que o clip trabalhou como amortecimento da amostra, assim contribuindo no resultado do ensaio.

Quando verificado o resultado por bandas de terço de oitava, percebe-se que a Telha 1 (telha zipada) apresentou uma intensidade sonora maior em baixas frequências quando comparada com os demais sistemas. Isto pode ser devido a uma baixa rigidez que a telha apresenta por ter uma parte plana da telha com maior área que as outras. Entretanto, nas medias e altas frequências a Telha 1 apresentou um valor menor que as Telhas 3 e 4.

Os menores níveis de intensidade sonora foram medidos para a Telha 2, telha ondulada, que tem uma geometria sem superfícies planas. Nessa telha, o impacto gerado pela queda das gotas ocorre nas superfícies côncavas e convexas que conferem maior rigidez e, consequentemente, menor irradiação das vibrações.

Figura 3: Resultados das amostras com telhas simples



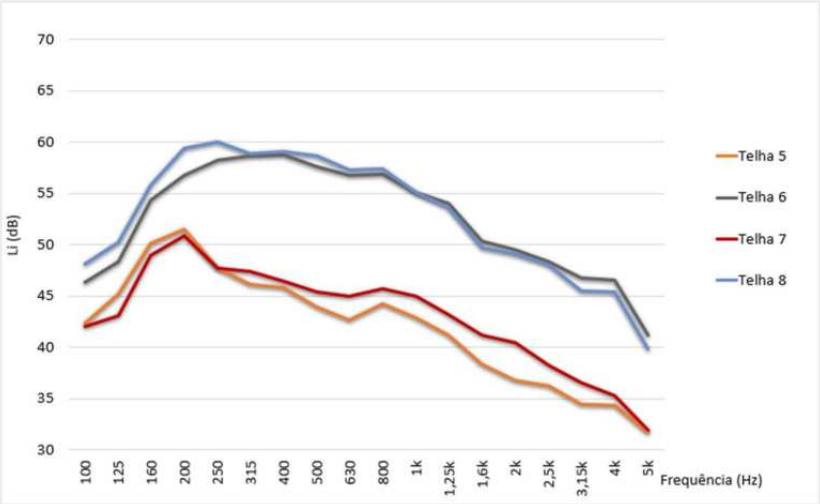
Na Figura 4 podem ser analisados os resultados dos ensaios com amostras compostas de duas telhas (inferior TP-33 e superior zipada), com espaçador de 30mm, com e sem material fibroso entre telhas.

As composições 5 e 7, possuem núcleo fibroso em lã de vidro, sendo a composição 5 com fita de amortecimento e a composição 7 sem fita de amortecimento. Pode-se observar que o comportamento das amostras é similar em baixas frequências, enquanto nas altas frequências (acima de 500 Hz), se separam e distanciam, tendo a Telha 5 com um desempenho melhor.

Já os resultados das composições 6 e 8, que não contam com núcleo preenchido com material fibroso, diferenciam-se entre composição 6 com fita de amortecimento para a composição 8 sem fita de amortecimento. Pode-se observar comportamentos opostos nos resultados das duas primeiras amostras, com maiores diferenças em baixas frequências.

Os ensaios das composições 5 e 6, apresentam de forma direta a eficiência do núcleo fibroso em telhas compostas, em ambas foi instalada a fita de amortecimento entre a telha inferior e o perfil espaçador de 30 mm. A adição de um material fibroso entre as telhas impôs uma redução na transmissão do som da chuva em 12,2 dB. Já os ensaios das composições 7 e 8, apresentam uma redução na transmissão do som da chuva em 11 dB. Este resultado expõe a influência do material fibroso.

Figura 4: Resultados das amostras com telhas com espaçador de 30 mm

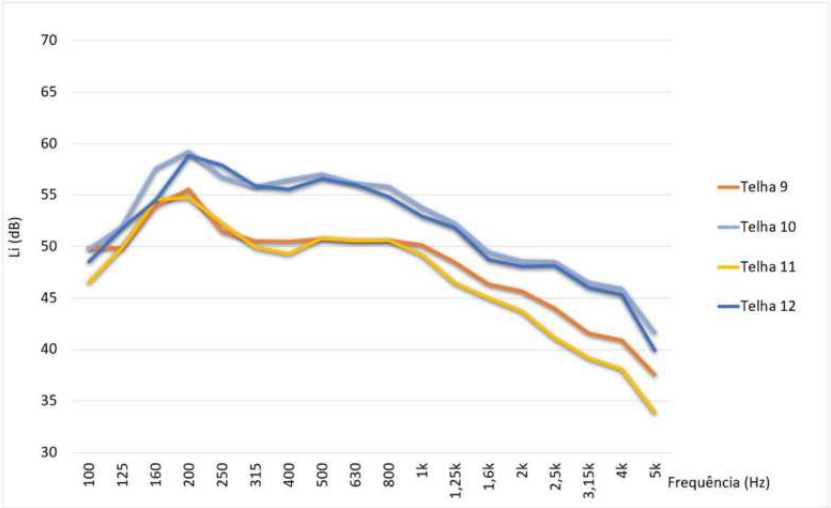


A Figura 5 apresenta os resultados das composições de telha dupla com espaçador de 100 mm e a fita de amortecimento (composições 9 e 10) e sem a fita de amortecimento (composição 12), sendo que a diferença é a presença ou não de material fibroso no miolo.

Comparando o perfil gráfico das composições 9 a 12, percebe-se uma similaridade de forma no perfil gráfico por bandas de terço de oitava, tendo uma translação no eixo da intensidade. As composições 10 e 12, que não apresentam material fibroso no seu interior, tiveram valores similares em todas as bandas de frequências analisadas.

Ao comparar os resultados dos sistemas duplos com espaçadores diferentes, pode-se observar uma similaridade nos resultados das composições 6 e 10, ambas sem o núcleo fibroso, e um afastamento nas curvas das composições 5 e 9, ambas com núcleo fibroso.

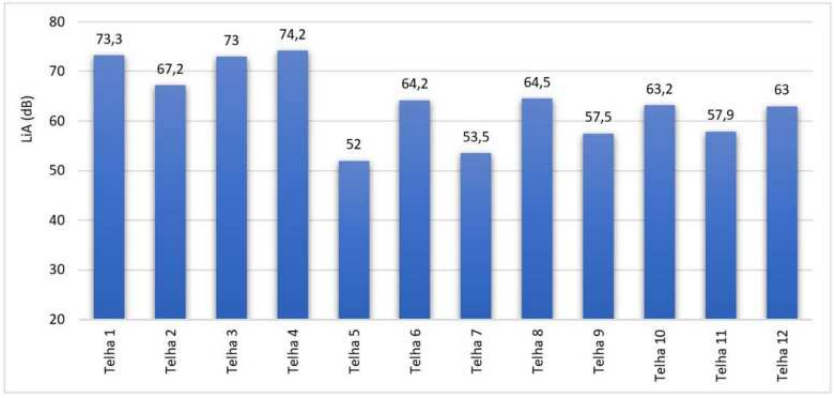
Figura 5: Resultados das amostras com telhas com espaçador de 100 mm



Para simular melhor uma aplicação in loco, em todos os ensaios foram mantidos a face paralela a calha metálica, face frontal da amostra em relação ao operador, sem uma vedação entre as telhas (forro e cobertura). No entanto, nos ensaios com espaçador de 30 mm a própria lã de vidro de espessura de 50 mm executa uma barreira de entrada entre as amostras, contudo ao alterar o espaçador para 100 mm, ficou um vazio entre as amostras de 50 mm nas alturas dos trapézios, possibilitando assim a interferência dos ruídos aéreos ao longo dos ensaios.

A comparação entre os valores ponderados em A, pode ser analisada no gráfico da Figura 89, sendo marcante a influência do preenchimento entre as telhas com material fibroso na redução do ruído das chuvas, especificamente para as composições 5 e 7. Os resultados encontrados neste trabalho para as composições com telhas simples estão coerentes com outros estudos em laboratório que indicam valores de L_{iA} acima de 70 dB para coberturas com chapa metálica [11].
Deve-se salientar que os sistemas de coberturas simples ensaiados neste trabalho não fornecem isolamento acústico adequado ao ruído das chuvas.

Figura 6: Resultados ponderados das amostras em L_{iA}



CONCLUSÕES

A definição de soluções para o adequado isolamento de sistemas de coberturas a ruído das chuvas pode apresentar alguma complexidade quando são comparadas as situações de chuvas reais e chuvas artificias produzidas em laboratório, especificamente para ensaios experimentais. A produção da chuva artificial padronizada envolve o controle de muitas variáveis, que se faz necessário para a validação de resultados de diferentes laboratórios.
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 auto-adesivas. Os

sistemas de coberturas compostos somente por uma telha apresentaram níveis sonoros elevados que indicam uma contribuição significativa para a degradação das condições acústicas em ambientes com grandes vãos. Essa situação pode ser encontrada em diferentes tipologias arquitetônicas como aeroportos, estações rodoviárias e locais para eventos, que requerem condições apropriadas para o entendimento da comunicação verbal.

Os sistemas testados neste trabalho, a partir de composições com telha duplas, apresentaram eficiência na redução do som das chuvas, quando comparados aos sistemas com telhas simples. Nesse sentido, 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 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, qualificando a informação para o desenvolvimento de projetos que visam o desempenho acústico. Também podem ser utilizados para projetos em *retrofit* de edificações existentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a POOLMAK Estruturas Metálicas pela autorização na divulgação dos resultados.

REFERÊNCIAS

[1] C. Hopkins, Sound Insulation, Elsevier Ltd., Burlington, 2012.

[2] J.V. Patrício, Acústica nos edifícios, 6th ed., Verlag Dashöfer, Lisboa, 2018.

[3] X. Yan, S. Lu, J. Li, Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains, Appl. Acoust. 106 (2016) 63–76. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.022.

[4] B. Donohue, J. Pearse, Rain noise, in: Proc. Int. Congr. Acoust., Aachen, 2019: pp. 5050–5056. https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239914.

[5] C. Mineo, E. Ridolfi, B. Moccia, F. Russo, F. Napolitano, Assessment of rainfall kinetic-energy-intensity relationships, Water. 11 (2019). https://doi.org/10.3390/w11101994.

[6] A.M. Tilg, F. Vejen, C.B. Hasager, M. Nielsen, Rainfall kinetic energy in denmark: Relationship with drop size, wind speed, and rain rate, J. Hydrometeorol. 21 (2020) 1621–1637. https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0251.1.

[7] Y. Hopkins, Carl; Yu, Empirical models for artificial and natural rainfall to assess rain noise inside buildings and cars, in: Inter-Noise 2020, International Institute of Noise Control Engineering, Seul, 2020.

[8] R. Baruffa, Correlation between airborne sound insulation and heavy rain noise on coverings with metallic finishing, Riv. Ital. Di Acust. 40 (2016) 32–42.

[9] A.M. Jaramillo, C. Steel, Architectural Acoustics, Taylor & Francis, Londres, 2015.

[10] D. Egan, Architectural Acoustics, McGraw-Hill, New York, 2014.

[11] J. Chéné, C. Guigou-carter, R. Foret, M. Langager, Mesure et prédiction du bruit de pluie sur des systèmes multicouches, in: 10ème Congrès Français d'Acoustique, Lion, 2010.