

CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE UMA SOLUÇÃO MISTA FONO-ABSORVENTE E DE ISOLAMENTO SONORO

Calejo Rodrigues, R.¹; Pereira da Silva, E.²

²SOPSEC, SA

¹NI&DEA, GEQUALTEC, FEUP

ruir.calejo@sopsec.pt; eduarda.silva@sopsec.pt

Resumo

O objectivo deste estudo consiste na concepção de uma solução à base de chapas metálicas do tipo sandwich com preenchimento de elevado desempenho fono-absorvente, garantindo simultaneamente elevada prestação de isolamento sonoro, para aplicação num estádio.

Verificou-se não existir qualquer solução desenvolvida, nem teórica nem comercial, que tecnologicamente respondesse aos requisitos impostos, pelo que se tornou necessário conceber uma nova solução.

O estudo foi desenvolvido no domínio teórico tendo como base os modelos de absorção sonora Delany e Bazley e os modelos de isolamento sonoro Sharp, B.H. e Meisser.

Para validação dos resultados teóricos e, eventualmente conseguir-se simplificações, assim como para avaliar o efeito de uma membrana pára-vapor, ensaiou-se laboratorialmente os protótipos no NI&DEA. Conclui-se quanto ao efeito de alteração das características da chapa perfurada, efeito da membrana pára-vapor e efeito de uma caixa de ar atrás da chapa perfurada no desempenho acústico da solução.

A solução concebida foi aplicada no Estádio de Lille (França) e pode ser adequada a edifícios semelhantes com construção metálica.

Palavras-chave: estádios, chapas metálicas, membrana pára-vapor, absorção sonora, redução sonora

Abstract

The aim of the study was to design a solution based on metal sheet filled inside, with simultaneously high sound absorption and high sound insulating, for execution in a stadium.

It has been verified that there is no theoretical solution developed, neither commercial solution, which technology respond to the requirements. Therefore, became necessary to develop a new solution.

The study was developed based in the theoretical models on sound absorption Delany and Bazley and sound insulation models Sharp, B.H and Meisser.

The prototypes were tested in NIDEA laboratory to validate the theoretical results, and possibly to reach simplifications to the solution, as well to evaluate the effect of a vapor barrier film.

Some conclusions were achieved about the effect of varying the characteristics of the perforated plate, the effect of a vapor barrier film and the effect of an air gap behind the perforated plate on the acoustic performance of the solution.

The solution was applied on the Lille Stadium envelope (France) and is suitable for future applications in similar buildings with metal construction.

Keywords: stadiums, metal plates, vapor barrier film, sound absorption, noise reduction

PACS no. 43.55.Rg, 43.55.Ev

1 Introdução

O desenvolvimento de soluções construtivas nem sempre tem sido acompanhado de estudos que permitam clarificar o respectivo comportamento acústico. Um dos casos típicos é o que se passa com os painéis leves de camadas múltiplas conhecidos por painéis sandwich. Sendo fabricados a partir da década de 70 como elementos construtivos prefabricados vieram trazer uma inequívoca melhoria nas construções leves em particular as construções metálicas de cariz industrial. Talvez por não ser a sua principal característica, ou por se destinarem a construções cujo desempenho acústico pudesse ser minimizado a realidade é que para além dos trabalhos de Tor Erik Vigran (autor dos estudos e software Winflag, Trondheim 2009) desconhecem-se outros desenvolvimentos no que diz respeito ao comportamento acústico deste tipo de painéis.

Na realidade esta falta de informação acompanha um pouco o que se passa com a construção metálica em geral na qual a modelação do comportamento acústico fica ainda um pouco a dever aos avanços que entretanto a construção dita tradicional passou a ter. Note-se a propósito que não se conhece nenhum estudo que enfoque o comportamento das ligações metálicas, ao nível dos elementos de fachada, sejam eles de que natureza forem.

Com este estudo procurou-se dar um contributo teórico-experimental ao nível do desempenho de painéis sandwich na situação particular em que estes têm associada a dupla função de elevado isolamento a sons aéreos e de elevada absorção sonora numa das faces. Procedeu-se de forma teórica recorrendo aos modelos de absorção sonora Delany e Bazley e aos modelos de isolamento sonoro Sharp, B.H. e Meisser. A modelação foi efectuada com base nas características elementares de cada componente do painel, a saber:

- Chapa perfurada
- Lã mineral fibrada
- Chapa metálica não perfurada

A modelação de absorção foi efectuada com base na definição de um ressoador de Helmholtz, enquanto que a modelação do isolamento foi efectuada com base na massa e factor de perdas da chapa utilizada, frequência das ondas sonoras, na rigidez e no amortecimento interno, a dimensão da caixa-de-ar e o seu preenchimento através de material absorvente sonoro.

Ensaio experimentais foram efectuados na FEUP pelo NIDEA com apoio do fabricante. Foi possível proceder a um conjunto de ensaios evolutivos validando o modelo usado e progredindo no sentido de melhor ajustar a solução aos objectivos pretendidos.

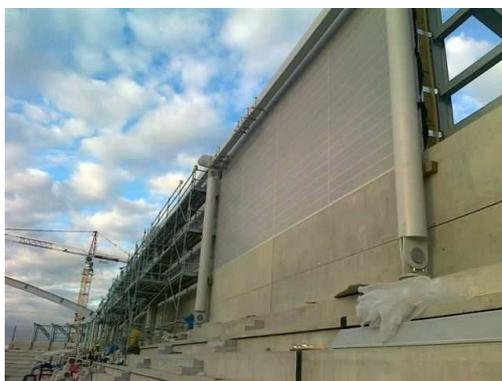
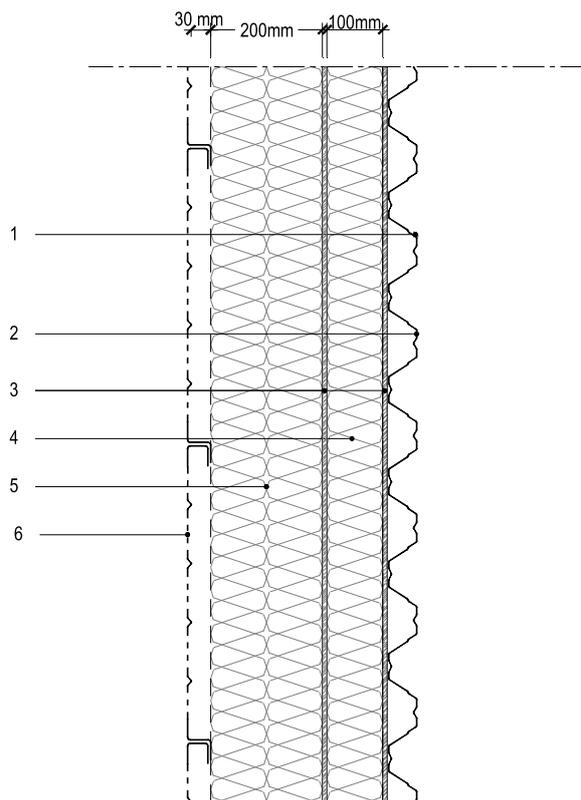


Figura 4 – Fotografia da aplicação da solução em obra

2 Descrição do painel em estudo

2.1 Características descritivas

O painel em estudo compõe-se de uma chapa metálica perfurada, caixa de ar, elementos absorvente com espessuras e densidades distintas e dois elemento de massa em placa de aglomerado de madeira e cimento e uma chapa metálica e ainda um acabamento em metal de cariz arquitectónico. Apresenta-se abaixo a descrição pormenorizada acompanhada do detalhe construtivo e de uma imagem da solução.



1. Chapa trapezoidal em aço com 0,75 mm de espessura
2. Placa de aglomerado de madeira e cimento de 8 mm de espessura e cerca de 1250 kg/m^3 de densidade
3. Manta de lã mineral de 100 mm de espessura e 70 kg/m^3 de densidade
4. Placa de aglomerado de madeira e cimento de 8 mm de espessura e cerca de 1250 kg/m^3 de densidade
5. Manta de lã mineral de 200 mm de espessura e 40 kg/m^3 de densidade incluindo véu negro
6. Chapa metálica de 0,75 mm de espessura e 45% de perfuração, incluindo espaço de ar de cerca de 30 mm

Figura 1 – Detalhe construtivo, descrição e imagem da solução

2.2 Características acústicas pretendidas

O objectivo do estudo prendia-se com a obtenção de um painel com um Índice de Redução Sonora R_w de 54 dB e um coeficiente de absorção sonora segundo a tabela que se segue:

Tabela 1 – Coeficiente de absorção sonora

f (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
α	0.80	1.00	1.00	0.94	0.90	0.94

3 Modelação acústica

3.1 Absorção Sonora

O estudo iniciou-se com a modelação teórica da solução. Nesta fase inicial estudou-se o efeito teórico da espessura da chapa perfurada, diâmetro do furo e % de perfuração, verificando-se a necessidade de adoptar a solução de maior % de perfuração e maior espessura (o \emptyset de furo era fixo).

A exigência de coeficiente de absorção sonora na frequência de 125 Hz era bastante elevada pelo que a estratégia de melhoramento da solução, após as várias variações experimentadas do processo de concepção e desenvolvimento da mesma, consistiu em aumentar a espessura e diminuir a densidade da camada de lã mais superficial (o que corresponde a diminuir a resistividade), isto é, imediatamente após a chapa perfurada e a caixa de ar e manter a densidade elevada das demais camadas de lã de forma a não prejudicar o isolamento.

Por outro lado, a espessura da caixa de ar foi ajustada, por interações de aumento e diminuição da espessura, até se obter o valor máximo de α .

Por fim, também a membrana para vapor foi alvo de teste através de utilização de variantes de material.

A abstracção de cálculo usada para a modelação da absorção sonora foi:

- Placa de aglomerado de madeira e cimento de 8 mm de espessura e cerca de 1250 kg/m³
- Manta de lã mineral de 200 mm de espessura e 40 kg/m³ de densidade incluindo véu negro
- Espaço de ar 50 mm
- Chapa metálica de 0,75 mm de espessura e 45% de perfuração

Os resultados apresentam-se na tabela que se segue:

Tabela 2 – Modelação teórica do Coeficiente de absorção sonora, α

f (Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
α	1,00	1,00	1,00	0,94	0,96	0,93

3.2 Isolamento Sonoro

A abstracção de cálculo usada para a modelação do índice de redução sonora foi:

- Chapa trapezoidal em aço com 0,75 mm de espessura
- Placa de aglomerado de madeira e cimento de 8 mm de espessura e cerca de 1250 kg/m³
- Manta de lã mineral de 100 mm de espessura e 70 kg/m³ de densidade'

- Placa de aglomerado de madeira e cimento de 8 mm de espessura e cerca de 1250 kg/m³

Os resultados apresentam-se na figura que se segue:

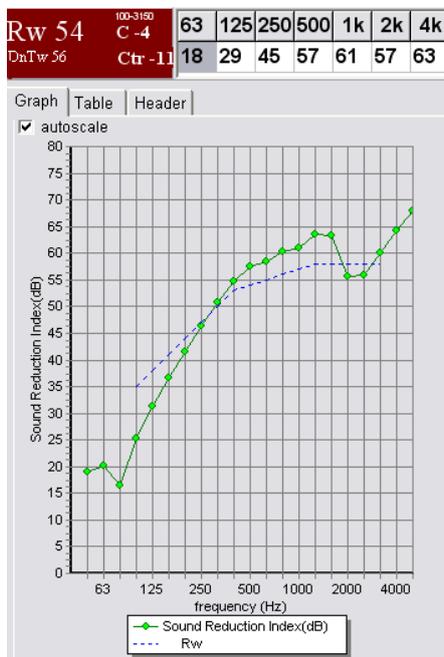


Figura 2 – Modelação teórica do índice de redução sonora, Rw

4 Ensaios realizados

4.1 Câmaras utilizadas

Os ensaios foram realizados na Câmara Reverberante R1 (receptora) e E1 (emissora) da F.E.U.P. (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto) no Porto.

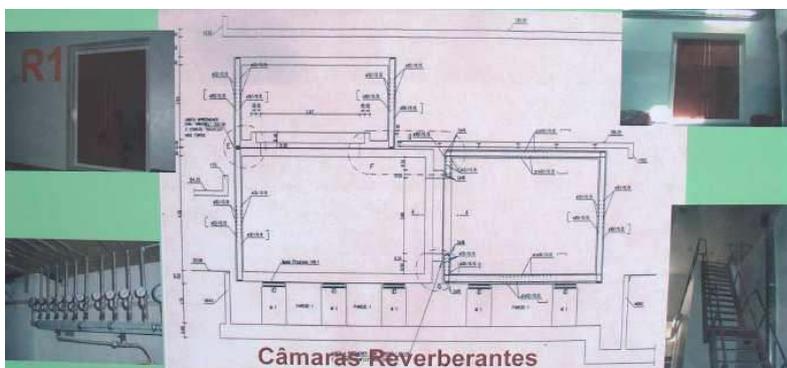


Figura 3 - Esquema das câmaras reverberantes

A Câmara Reverberante (R1) apresenta as seguintes dimensões: comprimento máximo de 7,50 m; comprimento mínimo de 7,00 m; largura máxima de 6,15 m; altura de 4,65 m e volume de 217 m³.

Utilizou-se o seguinte equipamento: Sonómetro, marca 01dB-Metravib, modelo Blue Solo1; Microfone, marca Gras, modelo MCE 212; Pré-amplificador, marca 01dB-Metravib, modelo PRE 21 S; Calibrador Acústico, marca Rion, modelo NC-74; Fonte sonora, marca JBL, modelo EON15 G2 e Termo-Higrómetro Digital 4600.

No caso do ensaio de isolamento sonoro, em todos os pontos de contacto entre a amostra e gola de ensaio foi colocada uma banda resiliente de atenuação acústica, devidamente selada com um remate perimetral em silicone.

Figura 4 – Estrutura de caixa não absorvente



Figura 5 – Colocação das chapas metálicas trapezoidais e painéis aglomerado de madeira e cimento 8 mm



Figura 6 – Colocação da lã mineral de 70 kg/m³ e 100 mm



Figura 7 – Colocação segunda placa de aglomerado madeira e cimento e Lã mineral 40 kg/m³ e 200 mm de espessura



Figura 8 – Colocação de chapas perfuradas



Figura 9 – Pormenor de chapa perfurada



Figura 10 – Montagem da chapa trapezoidal na gola entre as câmaras R1 e E1 (receptor)



Figura 11 – Montagem da chapa trapezoidal na gola entre as câmaras R1 e E1 (emissor)



Figura 12 – Colocação dos painéis aglomerado madeira e cimento com 8 mm



Figura 13 – Colocação das chapas perfuradas

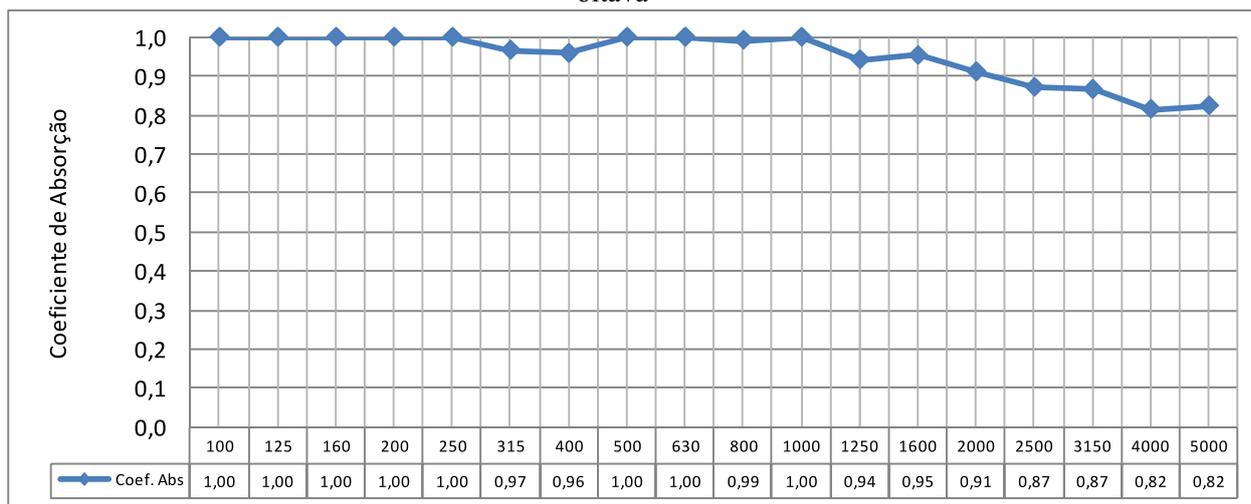


4.2 Resultados obtidos

4.2.1 Absorção Sonora

Os resultados obtidos do coeficiente de absorção sonora (α_s), em bandas de frequência de 1/3 de oitava (100 Hz a 5 kHz), para a solução de parede ensaiada, foram os seguintes:

Figura 14 – Valores obtidos do coeficiente de absorção sonora em bandas de frequência de 1/3 de oitava



Conclui-se da elevada capacidade absorvente, com valores do coeficiente de absorção sonora superiores a 0,9 para toda a gama de frequências, com exceção nas altas frequências com valores entre os 0,8 e os 0,9. Sendo assim, o valor “médio” de α_w obtido por ajuste da curva de referência segundo a norma NP ISO 11 654:1997 foi de 0,95

Verificou-se que os valores de absorção sonora altos se deviam ao aumento da espessura da lã mineral, à caixa de ar entre chapa perfurada e lã e ainda ao efeito membrana da chapa perfurada solicitada. De facto, foram ensaiadas variantes da solução com espessuras de lã mineral crescentes, verificando-se um aumento progressivo do α nas baixas frequências. Os valores igualmente altos nas frequências médias devem-se ao efeito de ressoador isolado e nas frequências altas devido à porosidade do material absorvente sonoro, que quanto mais exposto pelo aumento da perfuração da chapa mais relevância tem no valor de absorção sonora

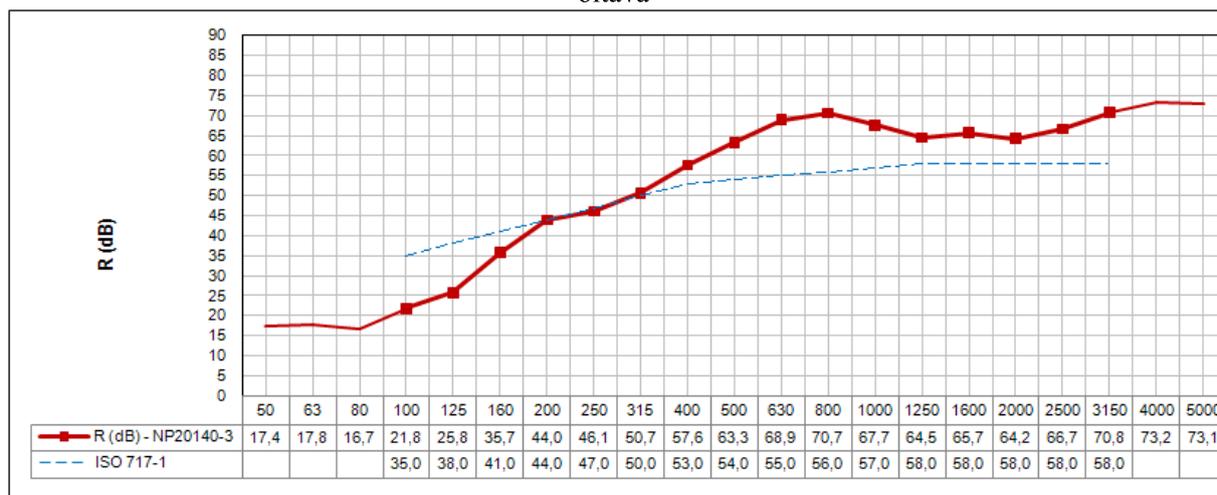
Na frequência de 4 kHz, os resultados dos ensaios ($\alpha = 0,82$) ficaram aquém da estimativa teórica ($\alpha = 0,93$), o que se pensa poder dever ao facto de o modelo teórico não contabilizar o efeito do véu negro de protecção do material absorvente sonoro. De facto, nas experiências laboratoriais realizadas verificou-se que a diminuição de α é proporcional ao aumento da expressão do véu de protecção do material absorvente, correspondendo a situação limite à colocação da membrana para vapor (§4.2.3).

Verifica-se que a modelação teórica com recurso às suposições dos modelos de absorção sonora Delany e Bazley permitem obter boas estimativas dos resultados reais, desde que o material absorvente sonoro não seja mascarado por um layer menos acusticamente transparente. Para tal é importante a caracterização da resistividade daqueles materiais absorventes.

4.2.2 Isolamento Sonoro

Os resultados obtidos em termos de redução sonora R (dB), em bandas de frequência de 1/3 de oitava (100 Hz a 5 kHz), para a solução ensaiada foram os seguintes:

Figura 15 – Valores obtidos em termos de redução sonora R (dB) em bandas de frequência de 1/3 de oitava



Em termos de isolamento sonoro, a solução estudada apresenta um índice de redução R_w igual a 54 dB, sendo a sua redução sonora mais eficaz para as médias e altas frequências, o que se deve à solução carecer de elementos de massa. Repare-se que a este nível apenas a placa de aglomerado de madeira e cimento e a chapa metálica têm efeito.

Nas frequências de acção da lei da massa, a modelação teórica e a ensaiada são semelhantes. Já nas médias e altas frequências o ensaio revela resultados superiores. Isto pode dever-se ao uso de modelos de cálculo que não consideram na estimativa de isolamento a densidades/resistividade do material absorvente adoptado e, por outro lado, o contributo da camada superficial de absorção sonora formada pela chapa perfurada e lã.

4.2.3 Efeito Membrana Vapor

Por ensaio de dois protótipos de uma solução preliminar de painel, com feltro simples e com membrana pára-vapor, obteve-se o efeito desta última no desempenho de absorção sonora. Neste caso tratava-se uma membrana à base de um véu de lã de vidro e uma folha de alumínio.

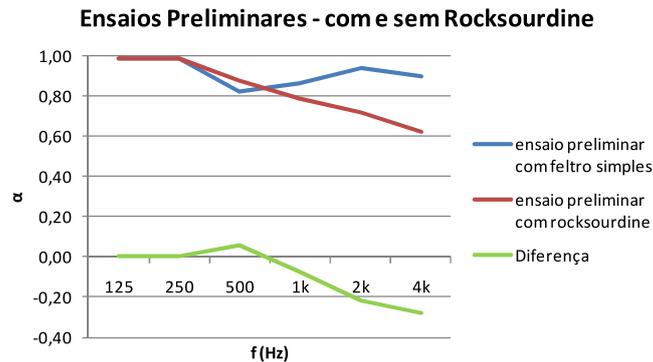


Figura 16 – Modelação teórica do índice de redução sonora, R_w

Conclui-se que uma membrana pára-vapor, pelas suas conhecidas características de impermeabilidade ao vapor de água, introduz um decréscimo da absorção sonora, especialmente nas altas frequências.

5 Conclusões

A forte componente experimental deste trabalho permitiu evidenciar a dificuldade em encontrar modelos que reproduzam com fiabilidade o comportamento acústico de construções metálicas. Embora no domínio da modelação da absorção os resultados tenham estado muito próximos da realidade, ao nível do isolamento a sons aéreos observaram-se diferenças significativas. Na base dessas diferenças estão muitas vezes a especificidade da montagem versus modelo teórico pois muitas das ligações a realizar *in situ* carecem de definição teórica. É o caso da montagem de prumos de suporte e da respectiva distância entre estes e entre pontos de apoio da chapa aos prumos, a própria rigidez dos prumos e uma condicionante cuja modelação se desconhece, mas que tem inequívocas implicações no comportamento acústico.

Por outro lado a montagem em câmara aporta um rigor e uma adaptação que nem sempre representa a situação de obra. Neste caso sentiu-se a particular influência do remate na gola de ensaio que ao rigidificar a solução confinada a cerca de 10 m² altera em muito as condições de obra.

Face à impossibilidade de se procederem a medições em obra e dada a particular exigência em causa ter a ver não com valores de índices de isolamento ($D_{nT,w}$) mas de redução sonora (R_w) foi possível atingir os resultados pretendidos e mais ainda otimizar a solução despindo-a de algum conservadorismo que os métodos teóricos utilizados sempre evidenciam.

Como linha orientadora para projectistas recomenda-se que em situações semelhantes se recorra a ensaios laboratoriais que permitem ajustar as soluções pretendidas com detalhe e economia que os modelos disponíveis ainda não fazem. Esta conclusão adquire mais relevo quando se trate de construções metálicas como é o caso retratado neste trabalho.

Referências

- [1] Vigran, T. E. Manual Winflag. Trondheim 2009
- [2] Delany M.E., Bazley E.N., Acoustical Properties of fibrous absorbent materials, Applied Acoustics, 1970, 3:p. 105.
- [3] Meisser M., Acústica de los edificios. Editores Técnicos asociados, S.A., Barcelona, Tradução do Título Original “La Pratique de L’Acoustique dans le Batimentes”, 1973, S.D.T.B.T.P., Paris.
- [4] Sharp B.H., Prediction methods for the sound transmission of building elements, Noise Control Engineering Journal, 1978, 11(2):P. 53.