



RELATÓRIO TÉCNICO

MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ABSORÇÃO SONORA

Forrofort Acustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³

Laboratório de Vibrações e Acústica - LVA

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Florianópolis, 04 de Junho de 2025.

Conteúdo

1	INTRODUÇÃO	2
2	METODOLOGIA APLICADA	3
2.1	Cálculo do coeficiente de absorção sonora	4
3	INSTRUMENTAÇÃO E MATERIAIS	6
3.1	Forrofort Acustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m ³	6
4	RESULTADOS	8

1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados de absorção sonora do material acústico Forrofort Acustic de 18 mm aplicado em conjunto com o Ecofiber Sound de 50 mm com densidade de 20 kg/m^3 , bem como os detalhes a respeito do procedimento experimental realizado em laboratório. A câmara reverberante e os equipamentos utilizados pertencem ao Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

2 METODOLOGIA APLICADA

A determinação do coeficiente de absorção sonora segue a rigor a norma ISO 354 (*Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room*), sendo de extrema importância que o procedimento de medição seja conduzido conforme a mesma. Para quantificar o coeficiente de absorção sonora foram medidos o tempo de reverberação da câmara vazia e posteriormente com a amostra do material absorvedor, e em seguida obteve-se o coeficiente de absorção sonora do material absorvedor.

O método se baseia na comparação do T60 (tempo de reverberação para que haja o decaimento de 60 dB no nível de pressão sonora) com a câmara reverberante vazia e com o material cujo coeficiente de absorção (α) será mensurado. Com os tempos de reverberação, para cada banda de terço de oitava, a absorção sonora do material é calculada pela Equação de *Sabine*, apresentada a seguir na Seção 2.1.

Para obter os tempos de reverberação se utiliza o método do ruído interrompido no qual uma fonte sonora é ligada de forma que seja preenchido todo o campo acústico da câmara e desligada repentinamente, obtendo-se assim, os valores de T60 em função da frequência. A Figura 1 representa a curva de decaimento padrão e seus parâmetros.

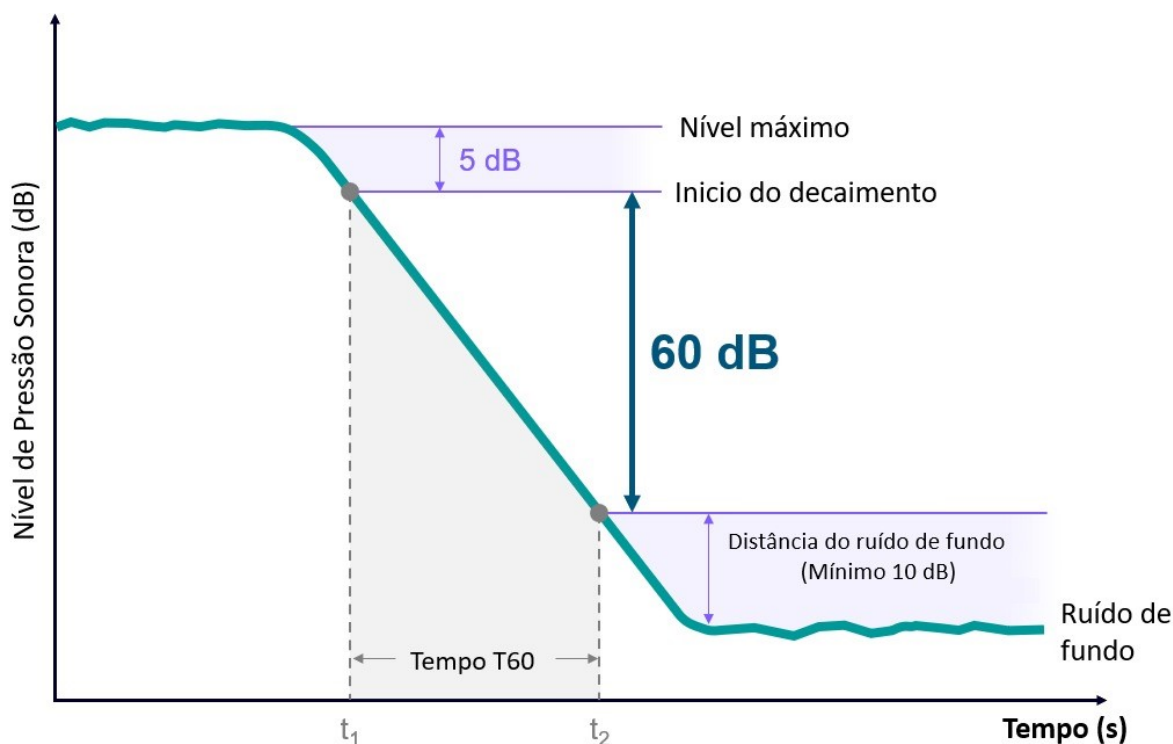


Figura 1: Crescimento e decaimento sonoro em recintos, com indicação do tempo de reverberação (T_{60}). Fonte Adaptado de [3].

A avaliação dos valores do tempo de reverberação devem ser de no mínimo 5 dB abaixo do nível de pressão medida pelos microfones quando a fonte está ligada. Por outro lado, os valores mais baixos contabilizados no tempo de reverberação devem ser no mínimo 10 dB acima do ruído de fundo. Em algumas situações, o decaimento não alcança 60 dB dentro dessa faixa, dessa forma calcula-se o tempo de reverberação de 20 dB, e

extrapola-se para 60 dB posteriormente. A faixa de frequência especificada na norma ISO 354 (2003) deve ser de um terço de oitava de 100 Hz a 5000 Hz. Além disso, nas baixas frequências os valores de densidade modal são muito baixos devido à geometria da câmara, impossibilitando a obtenção correta de absorção sonora por esse método. Desse modo defini-se como frequência de corte f_{corte} (ou frequência de Schroeder), conforme a Equação 1 [5].

$$f_{corte} \sim 2000 \sqrt{\frac{T_{60}}{V}}, \quad (1)$$

em que T_{60} é o tempo de reverberação na câmara reverberante e $V = 144 \text{ m}^3$ o seu volume. Sendo que o T_{60} usado não provém da média dos valores de tempo de reverberação, mas sim, de um processo iterativo. Essa iteração se resume em estimar uma frequência de corte f_{corte} e, em seguida, calcular o T_{60} e comparar com o valor fornecido pela média das medições na frequência estimada.

2.1 Cálculo do coeficiente de absorção sonora

O coeficiente de absorção sonora foi quantificado e qualificado inicialmente por Sabine em 1900, quando o mesmo estudava o que hoje é conhecido como tempo de reverberação T_{60} . Sabe-se que o decaimento de energia acústica no interior de uma sala considerando somente a atenuação relativa aos materiais absorvedores pode ser expressa por.

$$D(t) = D_o e^{-A_s \left(\frac{c_o}{4V}\right)t}. \quad (2)$$

Em que $D(t)$ é a densidade de energia no tempo T , D_o é a densidade de energia no tempo $t = 0$, A_s é a constante de sala, V o volume da sala em $[\text{m}^3]$, t é o tempo de decaimento da energia e $c_o = 331 + 0.6T$ é a velocidade do som no meio em $[\text{m/s}]$, sendo a temperatura na sala medida na escala $^{\circ}\text{C}$. Sabine partiu da definição da densidade de energia, ou seja.

$$D(t) = D(0)10^{-6} \quad (3)$$

Organizando a Equação 3 e aplicando o logaritmo tem-se como resultado -60 dB , em que expressa o tempo que leva uma sala para decair este valor de sua pressão sonora. Substituindo a Equação 3 na Equação 2 chega-se em.

$$T_{60} = \frac{55,3}{c_o} \frac{V}{A_s}. \quad (4)$$

Em que T_{60} é o tempo de reverberação dados em $[s]$, $A_s = S\bar{\alpha}$, sendo S a área total interna da sala $[\text{m}^2]$ e $\bar{\alpha}$ o coeficiente média de absorção da sala. A formulação de Sabine é coerente somente quando a sala apresenta baixa absorção, ou seja, $\bar{\alpha} = 0,2$ e que os materiais absorvedores estejam uniformemente distribuídos.

O coeficiente de absorção de uma maneira mais geral pode ser escrito como sendo.

$$\bar{\alpha} = 1 - |R^2|. \quad (5)$$

Onde R representa a magnitude do coeficiente de reflexão [2]. Outro ponto importante do campo acústico em uma câmara reverberante, é que o mesmo apresenta regiões de frequências dominadas pelos modos normais e regiões dominada pela difusão e reflexão. E a transição destas regiões no espectro é definida pela frequência de Schroeder conforme a Equação 1.

A norma ISO 354 orienta determinar a área de absorção sonora equivalente A_T da amostra do material utilizada, no qual deve ser calculada utilizando a seguinte equação.

$$A_T = 55,3V \left(\frac{1}{c_o T_{60}^2} - \frac{1}{c_o T_{60}^1} \right) - 4V (m_2 - m_1). \quad (6)$$

Em que $c_o = 331 + 0.6T$ é a velocidade do som no meio, T a temperatura em °C, V o volume da câmara, T_{60}^2 e T_{60}^1 são o tempo de reverberação na câmara com e sem a amostra do material absorvedor e m_2, m_1 são correções das condições climáticas do local.

E o coeficiente de absorção do material é analisado segundo a norma pela seguinte expressão.

$$\alpha = \frac{A_T}{S}, \quad (7)$$

onde S é a área efetiva da amostra.

3 INSTRUMENTAÇÃO E MATERIAIS

Para dar início ao procedimento, a fonte foi devidamente posicionada, sendo usados seis microfones de campo difuso de 1/2", todos da *Brüel & Kjær* - B&K. O procedimento foi realizado com uma fonte sonora e os seis microfones posicionados nos pedestais conforme a Figura 2. A fonte sonora foi reposicionada para que fossem medidos dois pontos distintos, resultando em 12 medições de T60, conforme a norma ISO 354 (2003). A respeito do posicionamento dos microfones, de acordo com a norma, foram posicionadas 2 m distantes da fonte sonora e mais de 1 m distante de qualquer superfície da câmara.



Figura 2: Câmara reverberante vazia.

3.1 Forrofort Acoustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³

- Item Declarado pelo cliente:
 - “Forrofort Acoustic – GARBE”.
 - Composição: Fibra de madeira, Cimento Portland, Água e Cloreto de Cálcio.
 - Material com propriedades acústicas, de controle térmico, além de ser sustentável.
 - Espessura nominal: 18 mm
 - Modulação aproximada: 625 mm x 1250 mm
 - Fibra: 1,5 mm.

- Junta de topo (sem perfis).
- Bordas chanfradas.
- Item Declarado pelo cliente:
 - “Ecofiber Sound – 50 mm – 20 kg/m³”.
 - Composição: Fibras de poliéster (PET).
 - Material com propriedade acústica e térmica; atóxico; resistente à umidade; possui características ecossustentáveis e é 100% reciclável.
 - Espessura nominal: 50 mm
 - Modulação aproximada: 600 mm x 1200 mm
 - Gramatura aproximada: 1000 g/m².
- Montagem do item no laboratório:
 - Área aproximada do item: 11,64 m².
 - Montagem do item no laboratório: Foram instalados quinze painéis de cada material acústico em uma estrutura composta de madeira.

As amostras foram enclausuradas em uma armação de madeira, como apresenta a Figura 3, a fim de minimizar a absorção sonora pelas laterais. Essa medida encontra-se também na Norma ISO 354 (2003)[4]. Para cada medição foram utilizadas quinze peças de material acústico Forrofort Acustic - 18 mm e quinze peças de material acústico Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³. A área total da superfície foi de 11,64 m².



Figura 3: Amostras Forrofort Acoustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³ enclausuradas e posicionadas na câmara reverberante.

4 RESULTADOS

Após o processamento dos sinais obtidos em laboratório, o gráfico da Figura 4 foi gerado apresentando os valores de absorção sonora do material. No eixo horizontal tem-se os valores de frequência e na vertical, os valores de absorção α .

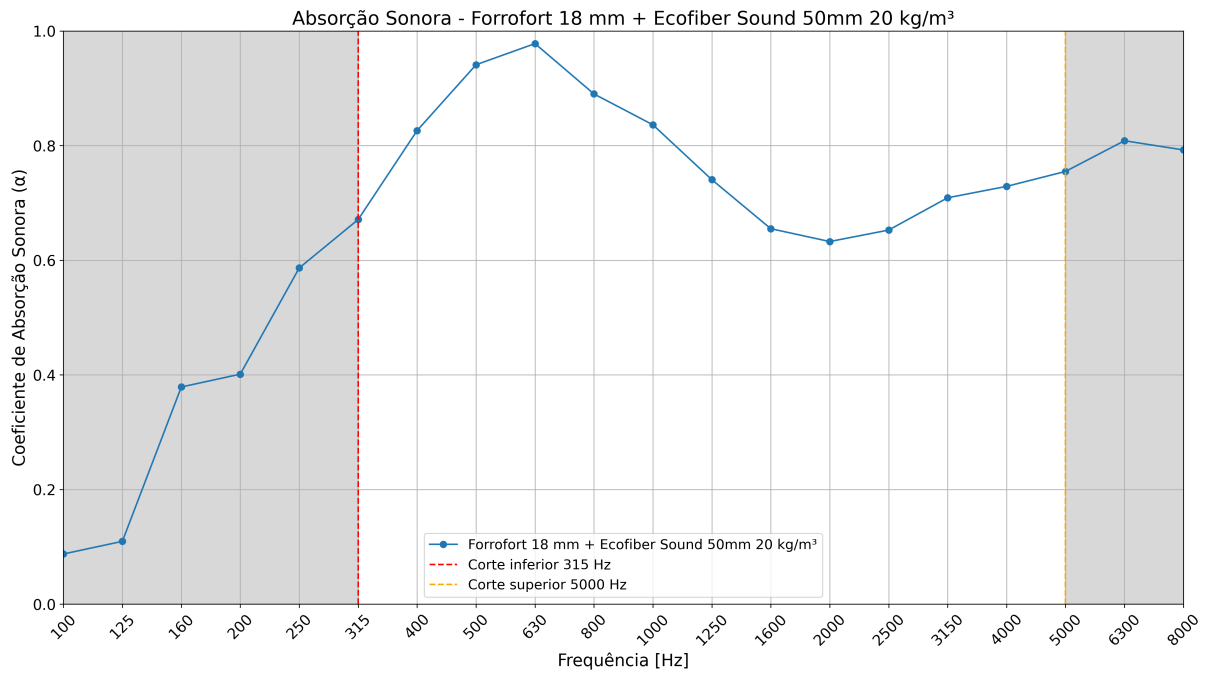


Figura 4: Resultados de absorção sonora do material acústico Forrofort Acustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³.

A Tabela 1 apresenta os valores na faixa delimitada pela norma ISO 354 (2003)[4].

Frequência [Hz]	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Absorção	0.67	0.83	0.94	0.98	0.89	0.84	0.74	0.66	0.63	0.65	0.71	0.73	0.76

Tabela 1: Tabela de Absorção por Frequência

Na Figura 4 estão presentes dois traços verticais delimitando a região válida para análise, de acordo com a norma ISO 354 (2003)[4]. O primeiro diz respeito à frequência de corte inferior, calculada em 315Hz, e a frequência limite superior de análise desse tipo de experimento é fixada em 5kHz.

O Coeficiente de Redução de Ruído (NRC-Noise Reduction Coefficient) é média dos coeficientes de absorção nas frequências de 250, 500, 1000 e 2000 Hz (faixas centrais da sensibilidade do ouvido humano) conforme a norma ASTM C 423 (2017).

Essa norma representa a performance de absorção sonora de um material acústico e seu valor, para o Forrofort Acustic - 18 mm + Ecofiber Sound - 50 mm - 20 kg/m³, foi de $NRC = 0,75$.



Documento assinado digitalmente

LUIZ LENZI NETO

Data: 05/06/2025 11:07:55-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luiz Lenzi Neto
Me. Engenheiro Mecânico
CREA: SC-118528-6

Florianópolis, 04/06/2025

Referências

- [1] ASTM C423 (2017). Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method. American Society for Testing e Materials. Pennsylvania, United States.
- [2] BRANDÃO, E. Acústica de salas: projeto e modelagem. 1^a ed. São Paulo: Blucher, 2016. 654p. ISBN 978-85-212-1006-1.
- [3] BISTAFA, Sylvio R. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. São Paulo: Blucher, 2006.
- [4] ISO 354(2003).Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room. Switzerland. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. Genève, Switzerland, p. 28.
- [5] SCHROEDER, M. R. (1962). Frequency-Correlation Functions of Frequency Responses in Rooms. The Journal of the Acoustical Society of America. 34.1819 - 1823.