



# FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA  
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

## Sugestões para revisão das partes 1 e 2 da norma ISO 12354:2017

Barbiere Júnior, M. R.<sup>1</sup>; Alves, S. M.<sup>2</sup>; Cruz, H. A. F.<sup>3</sup>; Bertoli, S. R.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PPGEC FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, [mrbjr@outlook.com](mailto:mrbjr@outlook.com)

<sup>2</sup> PPGEC FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, [samiraeng@outlook.com](mailto:samiraeng@outlook.com)

<sup>3</sup> PPGEC FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, [eng.hugocruz@hotmail.com](mailto:eng.hugocruz@hotmail.com)

<sup>4</sup> PPGEC FECFAU, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, [rolla@fec.unicamp.br](mailto:rolla@fec.unicamp.br)

### Resumo

A acústica de edificações busca compreender o comportamento de sistemas construtivos ao isolar sons. Este conhecimento é fundamental para que projetistas possam propor sistemas construtivos com isolamento sonoro adequado a fim de atender aos critérios definidos em legislação e normativas técnicas. Pesquisas em acústica de edificações foram importantes para a elaboração da norma ISO 12354 (*Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements*) que estabeleceu um método de estimação de desempenho acústico de elementos construtivos. A versão mais recente desse conjunto normativo é datada de 2017, dividida em quatro partes, aborda a estimação da transmissão sonora entre ambientes internos e entre ambientes internos e externos. As duas primeiras partes apresentam métodos para a estimação do isolamento sonoro aéreo e para o isolamento sonoro do ruído de impacto entre ambientes. Por meio de revisão bibliográfica e da reconstrução do exemplo de cálculo do método detalhado de estimação do desempenho acústico para construções pesadas, sugerido no anexo L1 da ISO 12354-1:2017 e Anexo G.1 da ISO 12354-2:2017, foram evidenciadas falhas na publicação. O objetivo deste trabalho é sugerir revisões para os erros encontrados nas partes 1 e 2 da norma ISO 12354:2017.

**Palavras-chave:** Acústica de edifícios, Desempenho acústico, Isolamento sonoro, Método de estimação

**PACS:** 43.55.Ti Sound-isolating structures, values of transmission coefficients

### Suggestions for reviewing parts 1 and 2 of ISO 12354:2017 standard

#### Abstract

The building acoustics seeks to understand the behavior of constructive systems with soundproofing. This knowledge is fundamental for designers to propose constructive systems with adequate soundproofing attending to laws and standards. Building acoustics research was important to the creation of ISO 12354 (*Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements*) standard, which established a method of acoustic performance estimation on constructive systems. The latest version of these standards was published in 2017, divided in four parts, approaching the estimation of sound transmission between indoor and outdoor environments. The first two parts show methods to estimate the airborne soundproofing and the impact soundproofing between rooms. By means of a bibliographic review and reconstruction of a detailed method to estimate acoustic development calculation example for heavy buildings, suggested at Annex L.1 of ISO 12354-1:2017 and Annex G.1 of ISO 12354-2:2017, failures were evidenced in these publications. This paper's aim is to suggest a review of the errors that were found in parts 1 and 2 of ISO 12354:2017 standard.

**Keywords:** Building Acoustics, Acoustic performance, Soundproofing, Estimation method



## 1. INTRODUÇÃO

Estudos em Acústica de Edificações buscam compreender como o som se propaga entre ambientes a fim de que seja possível minimizar a exposição do usuário ao ruído nos espaços edificados. Esta vertente se relaciona com o estudo do desempenho acústico de materiais e sistemas construtivos, a fim de mitigar as transmissões oriundas de vias aéreas ou estruturais. [1]

Cabe ao projetista, em fase de projeto, propor soluções que busquem qualidade acústica para o ambiente construído e, simultaneamente, estar de acordo com a legislação vigente no endereço da construção. De forma geral a legislação se apropria principalmente de normatizações técnicas de órgãos competentes os quais estabelecem critérios mínimos aplicáveis. No Brasil, a exemplo, há a norma ABNT NBR 15575 [2], que trata do desempenho - em diversos assuntos - de edificações habitacionais, tendo incluso o desempenho acústico em todas as suas partes.

A busca por soluções acústicas de qualidade é apoiada por pesquisas da acústica de edificações, as quais permitem a estimação de isolamento de ruído sonoro por materiais e sistemas construtivos. Publicações como de Cremer & Heckl [3], Gerretsen [4, 5] e Richter [6], entre outras, foram base para o desenvolvimento de um modelo cálculo que é proposto à comunidade internacional através da norma ISO 12354:2017 [7, 8]. Este modelo, apesar de suas limitações, é confiável e relevante para a comunidade técnica.

Em seu escopo a norma ISO 12354:2017 [7, 8] apresenta, nas partes 1 e 2, métodos detalhados e simplificados de estimação do desempenho dos elementos construídos ao ruído sonoro aéreo e de impacto considerando a transmissão sonora através de via estrutural direta e por elementos de flanco. O modelo proposto mostra-se essencial ao processo de projeto, pois permite que a estimativa do isolamento sonoro seja feita considerando a condição do elemento construído em campo.

A estimação do nível de isolamento sonoro de ruído em campo é de extrema importância

porque os critérios normativos de construção impõem seus valores mínimos para esta situação. Os valores obtidos em ensaios laboratoriais guiam a interpretação do potencial de isolamento sonoro de sistemas de vedação, entretanto apresentam discrepâncias quanto à situação em campo, pois seus ensaios são feitos em ambiente controlado sem estar sujeito às transmissões sonoras por flancos [9], inviabilizando o uso destes valores para projetos de isolamento sonoro.

A norma ISO 12354:2017 [7, 8] apresenta em sua estrutura anexos que são complementares à base para o seu método de cálculo. A fim de auxiliar seus leitores, a norma também inclui um anexo com exemplos de cálculo utilizando-se os dois métodos de cálculo propostos. Entretanto, ao reproduzir o exemplo através do método de cálculo detalhado para edificações pesadas com junções rígidas, nota-se que há inconsistências quanto a parte dos valores expressos no seu texto e em equações essenciais para o desenvolvimento das estimativas.

Neste trabalho analisa-se através de uma revisão bibliográfica e do cálculo numérico do exemplo anexado às partes 1 e 2 da ISO 12354:2017 [7, 8] que utiliza o método detalhado de estimação do desempenho acústico ao ruído aéreo e de impacto de um piso com conexões rígidas, para apresentar sugestões de correção dos erros contidos nas publicações ISO 12354-1:2017 e ISO 12354-2:2017.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi conduzido mediante revisão bibliográfica e reconstrução do exemplo L.1, Anexo L, da norma ISO 12354-1:2017 e G.1, Anexo G, da norma ISO 12354-2:2017 em seu modelo detalhado para construções pesadas com conexões rígidas.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A investigação bibliográfica a fim de compreender a norma ISO 12354-1:2017 [7] e ISO 12354-2:2017 [8], e o estudo do exemplo de cálculo do método detalhado proposto em seu texto, resultou na necessidade da atualização de equações e tabelas e na crítica a procedimentos adotados durante a resolução do

caso que é proposto. Para compreensão serão apresentadas as sugestões de alteração, referências que apoiam esta correção e comentários pertinentes às situações abordadas. As sugestões de alteração são apresentadas na cor vermelha.

Ressalta-se que o trabalho investigou apenas os procedimentos necessários para a resolução do problema através do método de estimação detalhado para a estimação do isolamento sonoro entre ambientes sugeridos nos anexos L.1 da parte 1 e anexo G.1 da parte 2 da ISO 12354:2017 [7, 8].

Sugere-se que a equação B.2 do anexo B da ISO 12354-1:2017 (Figura 1) seja corrigida como apontado na Equação (1), Equação (2) e Equação (3) desta publicação. Nota-se a possibilidade da simplificação do primeiro termo nas três equações da Figura 1.

Formula (B.2) can be used[10]:

$$R = -10 \lg \tau$$

$$\tau = \left( \frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}} \quad f > f_c$$

$$\tau = \left( \frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}} \quad f \approx f_c$$

$$\tau = \left( \frac{2\rho_0 c_0}{2\pi f m'} \right)^2 \left( 2\sigma_f \left[ \frac{1-f^2}{f_c^2} \right]^{-2} + 2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{4f \eta_{tot}} \right) \quad f < f_c$$

**Figura 1:** Equação B2 do Anexo B [7].

Em sua terceira parte, em que  $f < f_c$ , é observado um erro no terceiro termo devido à diagramação da fórmula. A alteração proposta para este caso é apresentada na Equação (3) tendo como referência o trabalho de SANTONI *et al.* [10]. Este erro pode levar a uma má interpretação da equação implicando diretamente nos resultados obtidos pelo seu uso.

Questiona-se o significado de  $f \approx f_c$ , pois a norma não apresenta de forma direta qual consideração é feita para que os dois valores sejam próximos. No texto, ainda no Anexo B da parte 1 da ISO 12354:2017 [7], é apresentado que “*The frequency range around the critical frequency is taken as  $f_c/1,12 < f < 1,4 f_c$  using*

*$f = f_c$ ”.* Sugere-se que esta notação esteja mais clara no uso da Equação B.2 da norma.

A abrangência em torno da frequência crítica ( $f_c$ ) adotada pela norma conflita diretamente no que ela apresenta como resultado para o exemplo de cálculo. Deste modo sugere-se a Equação 4 como a abrangência em torno de  $f_c$  para faixas de frequência em bandas de 1/3 de oitava.

$$\tau = \left( \frac{\rho_0 c_0}{\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{2 f \eta_{tot}}, \quad f > f_c, \quad (1)$$

$$\tau = \left( \frac{\rho_0 c_0}{\pi f m'} \right)^2 \frac{\pi \sigma^2}{2 \eta_{tot}}, \quad f \approx f_c, \quad (2)$$

$$\tau = \left( \frac{\rho_0 c_0}{\pi f m'} \right)^2 \left( 2\sigma_f \left[ 1 - \frac{f^2}{f_c^2} \right]^{-2} + 2 \frac{\pi f_c \sigma^2}{4f \eta_{tot}} \right), \quad f < f_c, \quad (3)$$

A Equação 4 deve ser utilizada para a verificação de que se a frequência crítica se encontra dentro do limite inferior e superior de uma faixa de frequência.

$$\frac{2f}{1+\sqrt[3]{2}} < f_c < \left( \frac{2f}{3} \right) (2 + \sqrt[3]{2} - \sqrt[3]{4}), \quad (4)$$

Do mesmo modo, a equação B.2 do Anexo B da ISO 12354-2:2017 [8], Figura 2, também apresenta erro em sua edição. Verifica-se a existência de parênteses que afetam diretamente em sua sintaxe. Como solução para este equívoco, propõe-se sua reescrita como apresentado na Equação 5, baseando-se na antiga versão britânica da norma BS EN 12354-2:2000 [11].

$$L_n \approx 155 - \left( \left( 30 \lg \frac{m'}{(1 \text{ kg/m}^2)} \right) + \left( 10 \lg \frac{T_s}{(1 \text{ s})} \right) + (10 \lg \sigma) + \left( 10 \lg \frac{f}{f_{ref}} \right) \right) \text{dB}$$

**Figura 2:** Equação B2 do Anexo B [8].

$$L_n \approx 155 - \left( 30 \log \frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right) + \left( 10 \log \frac{T_s}{1 \text{ s}} \right) + (10 \log \sigma) + \left( 10 \log \frac{f}{f_{ref}} \right) \quad (5)$$

Adentrando ao exemplo de cálculo, as partes 1 e 2 da ISO 12354:2017 [7, 8] apresentam uma mesma situação para exemplificar o uso de seu método: uma sala de uma edificação com



múltiplos pavimentos com dimensões de 5 x 4 m e pé direito de 2,75 m, cujo sistema de vedação é composto por piso de concreto armado de 220 mm, piso flutuante com contrapiso de 35 mm sobre uma manta de lã mineral, paredes externas e internas conectadas aos pavimentos superiores e inferiores e ambientes adjacentes à sala.

Nota-se um erro em comum para os dois anexos da norma [7, 8] durante a apresentação do cálculo da densidade superficial do contrapiso do sistema de piso flutuante (Figura 3). O erro se encontra na conversão da dimensão de milímetros para metros. Portanto, sugere-se correção como apresentada na Equação (6).

Separating element:

Floor	$S_i = 5,00 \text{ m} \times 4,00 \text{ m} = 20,00 \text{ m}^2$ ; 220 mm concrete, $m' = 0,22 \text{ m} \times 2\,200 \text{ kg/m}^3 = 484 \text{ kg/m}^2$ ; $\eta_{\text{int}} = 0,005$ , $c_L = 3\,800 \text{ m/s}$ , $f_c = 76,8 \text{ Hz}$ ; <sup>1)</sup>
Floating floor:	35 mm concrete on mineral wool slab with $s' = 8 \text{ MN/m}^3$ ; $m' = 0,35 \text{ m} \times 2\,100 \text{ kg/m}^3 = 73,5 \text{ kg/m}^2$ ; $f_0 = 52,8 \text{ Hz}$ <sup>1)</sup>

Figura 3: Eq. B2 Anexo B [X].

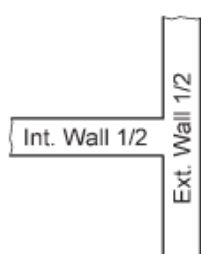
$$m' = 0,035 \times 2100 \text{ kg/m}^3 = 73,5 \text{ kg/m}^2, \quad (6)$$

Ao apresentar o valor do índice de redução de vibração nas junções ( $K_{ij}$ ) do exemplo proposto, percebe-se que há divergência entre o valor que a norma fornece em sua parte 1 [7] (Figura 4a) e parte 2 [8] (Figura 4b). Outro erro encontrado na Tabela G.8 da parte 2 da ISO 12354 [8] (Figura 4b) é o valor da densidade superficial do elemento ( $m'_i$ ). Os valores corretos para situação são os dispostos na Figura 4a.

O erro da adoção do  $K_{ij}$  como 6,6 dB, contrapondo o valor de 6,0 dB, tem impacto direto no restante do resultado numérico do exemplo que a norma propõe. Este índice é utilizado para o cálculo do coeficiente de absorção de ondas de flexão nas bordas do elemento. O reflexo deste erro é absorvido e replicado pela norma quando são apresentados dados de entrada como notas da Tabela L.3 do Anexo L da ISO 12354-1:2017 [7] e da Tabela G.3 do Anexo G da ISO 12354-2:2017 [8].

No texto a norma infere que os valores de entrada para  $\Sigma l_k \alpha_k$  do elemento de separação é

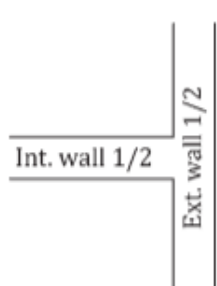
Table L.8 — Internal wall 1 or 2 - External wall 1 or 2 (rigid T-junction)



	$m'_i$	$m'_{\perp i}$	$K_{ij}$
Path	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	dB
Int. wall 1/2 - Ext. wall 1/2	219,0	360,0	<b>6,0</b>
Ext. wall 1/2 - Ext. wall 1/2	219,0	360,0	<b>9,0</b>

(a) Tabela L.8 do Anexo L da ISO 12354-1:2017.

Table G.8 — Internal wall 1 or 2 - External wall 1 or 2 (rigid T-junction)



	$m'_i$	$m'_{\text{orthogonal}}$	$K_{ij}$
Path	kg/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	dB
Int. wall 1/2 - Ext. wall 1/2	219,0	360,0	<b>6,6</b>
Ext. wall 1/2 - Ext. wall 1/2	2,19	360,0	<b>9,0</b>

(b) Tabela G.8 do Anexo G da ISO 12354-2:2017.

Figura 4: Tabelas de junções do exemplo de cálculo publicado na norma ISO 12354:2017 [7, 8].

2,364 m, da parede externa 2,375 m e parede interna 1,840 m. Quando esses valores são adotados, o coeficiente de amortecimento total do elemento de separação ( $\eta_{tot}$ ) resultante não condiz com os valores que a própria norma apresenta. O valor de  $\Sigma l_k \alpha_k = 2,364$  m é obtido apenas se o  $K_{ij}$  ente paredes internas e externas forem de 6,6 dB.

Propõe-se então a correção dos valores de  $\Sigma l_k \alpha_k$  para os dados apresentados na Tabela 1. Esta solução é obtida através da correção do  $K_{ij}$  e da aplicação da equação C.4 do Anexo C da ISO 12354-1:2017 [7].

**Tabela 1:** Proposta de valores de entrada de  $\Sigma l_k \alpha_k$  para resolução do exemplo de cálculo.

Elemento	$\Sigma l_k \alpha_k$ (m)
Elemento de separação	2,660
Parede Externa 1	2,375
Parede Externa 2	2,549
Parede Interna 1	1,653
Parede Interna 2	1,878

A aplicação dos valores propostos na Tabela 1 implica na alteração do coeficiente de amortecimento total em campo ( $\eta_{tot,situ}$ ), tempo de reverberação estrutural em campo ( $T_{s,situ}$ ) para as paredes internas e do índice de redução sonora aparente ( $R$ ).

Na abordagem do índice de redução sonora aparente em campo ( $R_{situ}$ ) e do nível de pressão sonora normalizado ( $L_{n,situ}$ ) o exemplo proposto pela norma [7, 8] se contradiz quando confrontado com seu próprio método. Ela apresenta como nota da Tabela L.3 do Anexo L da ISO 12354-1:2017 [7] e Tabela G.3 do anexo G da ISO 12354-2:2017 [8]:

*“The calculation of the sound reduction indices of separating and flanking elements according to Annex B has been applied directly to the in situ situation such that an in situ correction is obsolete” [7, p.81].*

*“The calculation of the sound reduction indices of separating and flanking elements and of the*

*normalized impact sound pressure level of the separating element has been applied directly to the in situ situation such that an in situ correction is obsolete” [8, p.38].*

Estas duas notas conflitam diretamente com as a conversão de valores do isolamento sonoro em laboratório para valores de isolamento sonoro situações de campo indicado no método detalhado das estimativas do desempenho acústico dos elementos [7, 8].

Quando o método detalhado de estimativa de isolamento sonoro é apresentado no item 4.2 das duas primeiras partes da ISO 12354:2017 [7, 8] não há explicitação da abordagem feita no exemplo de cálculo. Os autores deste trabalho não encontraram publicações que apoiem este procedimento, portanto, no Apêndice A deste trabalho, são apresentados os resultados obtidos com a forma literal em que o método é descrito.

No exemplo fornecido pela norma é possível notar discordância entre valores de variáveis apresentados em tabelas diferentes. A Figura 5 apresenta (a) e (b) os valores para o índice de redução sonora direta e por flanco do ruído aéreo, e (c) e (d) os valores para o nível de pressão sonora normalizado de ruído de impacto nos caminhos de transmissão sonora.

A discordância dos valores de transmissão do ruído aéreo ocorre com a intitulação incorreta do caminho de transmissão  $2d$  (Figura 5b). Sugere-se a alteração do título da coluna “*Transmission path 2d*” para “*Transmission path 4d*”.

Para as tabelas da transmissão sonora do ruído de impacto (Figura 5c e 5d), observa-se erro nos valores informados nas frequências de 50 Hz a 100 Hz no caminho de transmissão  $L_{n,Dfl}$ , da parede externa 1. Os valores corretos são os encontrados na Figura 5d.

O exemplo de cálculo ainda erra ao apresentar o valor da transmissão sonora do ruído aéreo (Figura 5a) para os caminhos de transmissão entre as paredes internas, com diferenças de até 1,3 dB em todas as faixas de frequência. Para o ruído de impacto a diferença pode chegar a 1 dB entre o valor apresentado pela norma e o valor recalculado.



**Table L.1 — Direct and flanking sound reduction indexes for heavy homogeneous building calculation example**

Frequency Hz	Separating floor					Ext. wall 1		Ext. wall 2		Int. wall 1		Int. wall 2		Total $R'$ dB
	$R_{Dd}$ dB	$R_{1d}$ dB	$R_{2d}$ dB	$R_{3d}$ dB	$R_{4d}$ dB	$R_{D1}$ dB	$R_{11}$ dB	$R_{D2}$ dB	$R_{22}$ dB	$R_{D3}$ dB	$R_{33}$ dB	$R_{D4}$ dB	$R_{44}$ dB	
50	31,8	41,2	39,5	45,0	43,9	41,2	44,8	39,5	42,4	45,0	47,2	43,9	46,1	<b>28,8</b>
63	33,8	41,5	39,9	45,0	44,0	43,8	45,7	42,2	43,4	47,3	47,5	46,3	46,4	<b>30,4</b>
80	41,4	42,8	41,3	46,6	45,6	48,2	43,8	46,8	41,8	52,1	46,4	51,0	45,3	<b>33,4</b>
100	45,9	47,0	45,2	45,7	44,7	55,3	50,5	53,6	47,9	54,0	42,8	53,0	41,7	<b>35,3</b>
125	50,3	48,7	47,0	47,8	46,5	60,0	52,4	58,2	49,8	59,0	45,3	57,7	43,7	<b>37,6</b>

(a) Tabela L.1 do Anexo L da ISO 12354-1:2017

**Table L.4 — *In situ* improvement of the sound reduction, equivalent absorption lengths, velocity level difference and flanking sound index for the paths D1 and 2d of heavy homogeneous building calculation example**

Frequency Hz	Transmission path D1					Transmission path 2d				
	$\Delta R_{d,situ}$ dB	$\alpha_{i,situ}$ -	$\alpha_{j,situ}$ -	$\overline{D}_{v,ij,situ}$ dB	$R_{Df}$ dB	$\Delta R_{d,situ}$ dB	$\alpha_{i,situ}$ -	$\alpha_{j,situ}$ -	$\overline{D}_{v,ij,situ}$ dB	$R_{ij}$ dB
50	0,0	10,8	9,3	10,4	<b>41,2</b>	-	6,3	10,8	11,0	<b>43,9</b>
63	2,3	10,9	9,4	10,4	<b>43,8</b>	-	6,4	10,9	11,0	<b>44,0</b>
80	5,4	11,0	9,5	10,4	<b>48,2</b>	-	6,7	11,0	11,1	<b>45,6</b>
100	8,3	11,1	9,6	10,5	<b>55,3</b>	-	7,2	11,1	11,3	<b>44,7</b>
125	11,2	11,2	9,8	10,5	<b>60,0</b>	-	7,4	11,2	11,4	<b>46,5</b>

(b) Tabela L.4 do Anexo L da ISO 12354-1:2017

**Table G.1 — Resulting direct and flanking normalized impact sound pressure levels**

Frequency Hz	Sep. floor $L_{n,Dd}$ dB	Ext. wall 1 $L_{n,Df1}$ dB	Ext. wall 2 $L_{n,Df2}$ dB	Int. wall 1 $L_{n,Df3}$ dB	Int. wall 2 $L_{n,Df4}$ dB	Total $L'_n$ dB
50	57,3	47,3	49,0	43,9	45,0	<b>58,6</b>
63	55,9	44,9	46,6	41,9	43,0	<b>57,0</b>
80	53,8	46,2	47,9	43,2	44,3	<b>55,9</b>
100	51,8	42,4	44,2	43,8	44,9	<b>54,0</b>
125	49,9	40,2	42,0	41,2	42,5	<b>51,9</b>

(c) Tabela G.1 do Anexo L da ISO 12354-2:2017

**Table G.4 — *In situ* normalized impact sound pressure level, improvement of the impact sound reduction, equivalent absorption lengths, velocity level difference and flanking sound index**

Frequency Hz	Transmission path Dd			Transmission path Df					
	$L_{n,situ}$ dB	$\Delta L_{situ}$ dB	$L_{n,Dd}$ dB	$L_{n,situ}$ dB	$\Delta L_{situ}$ dB	$\alpha_{i,situ}$ -	$\alpha_{j,situ}$ -	$\overline{D}_{v,ij,situ}$ dB	$L_{n,Df}$ dB
50	57,3	0,0	<b>57,3</b>	57,3	0,0	10,8	9,3	10,4	<b>47,8</b>
63	58,2	2,3	<b>55,9</b>	58,2	2,3	10,9	9,4	10,4	<b>45,9</b>
80	59,2	5,4	<b>53,8</b>	59,2	5,4	11,0	9,5	10,4	<b>47,0</b>
100	60,2	8,3	<b>51,8</b>	60,2	8,3	11,1	9,6	10,5	<b>42,4</b>
125	61,1	11,2	<b>49,9</b>	61,1	11,2	11,2	9,8	10,5	<b>40,2</b>

(d) Tabela G.4 do Anexo L da ISO 12354-2:2017

**Figura 5:** Tabelas de referência para isolamento sonoro estimado para os elementos e caminhos de transmissão sonora do exemplo de cálculo da ISO 12354:2017 [7, 8].

Sugere-se as correções e arredondamentos da Tabela 2 e Tabela 3 para, respectivamente, os valores da Tabela L.1 do Anexo L da norma ISO 12354-1:2017 e Tabela G.4 do Anexo G da norma ISO 12354-2:2017.

A Equação 4 foi considerada para a determinação da abrangência de  $f_c \approx f$  nos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3. Ao se utilizar a relação de  $1,4f_c$  obtém-se uma abrangência que pode atingir uma faixa de frequência acima do que é esperado para a estimativa.

Outro ponto de atenção no exemplo de cálculo apresentado pela ISO 12354-1:2017 está relacionado ao uso do nível de redução sonora de impacto devido a adição de cama de piso flutuante ( $\Delta L$ ) como equivalente ao índice de redução sonora por adição de camada adicional na face do elemento de separação ( $\Delta R$ ). A norma não incorpora em seu texto um método por faixa de frequência para a estimativa  $\Delta R$ , por isto a publicação utiliza este recurso a fim de apresentar ao leitor o procedimento de cálculo do método detalhado, entretanto esse uso não é indicado no corpo da normativa.

**Tabela 2:** Índices de redução sonora corrigido dos caminhos de transmissão sonora direto e por flancos do exemplo de cálculo da norma ISO 12354-1:2017.

$f$ (Hz)	Piso de separação					P Ext. 1		P Ext. 2		P Int. 1		P Int. 2		$R'$ (dB)
	$R_{Dd}$ (dB)	$R_{1d}$ (dB)	$R_{2d}$ (dB)	$R_{3d}$ (dB)	$R_{4d}$ (dB)	$R_{D1}$ (dB)	$R_{11}$ (dB)	$R_{D2}$ (dB)	$R_{22}$ (dB)	$R_{D3}$ (dB)	$R_{33}$ (dB)	$R_{D4}$ (dB)	$R_{44}$ (dB)	
50	31,8	41,3	39,5	45,0	44,0	41,3	44,8	39,5	42,4	45,0	46,0	44,0	45,5	28,8
63	33,8	41,6	39,9	45,0	44,0	43,9	45,7	42,2	43,3	47,3	46,3	46,3	45,8	30,3
80	41,4	42,8	41,4	46,7	45,7	48,3	43,7	46,8	41,8	52,1	45,2	51,1	44,6	33,3
100	45,9	47,0	45,3	45,7	44,8	55,4	50,4	53,6	47,9	54,1	41,5	53,1	41,1	34,9
125	50,3	48,8	47,0	47,8	46,5	60,0	52,4	58,2	49,8	59,0	44,1	57,8	43,0	37,2
160	55,2	50,5	48,7	50,0	48,7	65,0	54,1	63,2	51,6	64,4	46,8	63,2	45,7	39,6
200	60,7	52,6	50,9	53,2	52,0	70,0	55,7	68,2	53,2	70,6	50,7	69,3	49,7	42,8
250	66,5	55,3	53,9	56,7	55,4	75,6	58,2	74,1	56,3	76,9	54,6	75,7	53,5	46,2
315	72,5	58,4	56,9	59,9	58,7	81,7	61,4	80,2	59,4	83,2	58,1	81,9	57,1	49,5
400	78,5	61,5	60,0	63,1	61,9	87,9	64,5	86,4	62,6	89,5	61,5	88,3	60,5	52,7
500	84,1	64,3	62,9	66,0	64,8	93,6	67,4	92,1	65,5	95,3	64,6	94,1	63,6	55,6
630	89,9	67,2	65,8	69,0	67,8	99,5	70,3	98,1	68,5	101,3	67,7	100,1	66,7	58,6
800	95,8	70,1	68,7	72,0	70,8	105,6	73,4	104,2	71,5	107,5	70,9	106,2	69,9	61,7
1000	101,3	72,9	71,5	74,9	73,7	111,2	76,2	109,8	74,4	113,2	73,8	112,0	72,9	64,5
1250	106,9	75,3	73,9	77,7	76,5	116,5	78,2	115,1	76,5	118,9	76,7	117,7	75,8	67,1
1600	113,0	76,7	75,4	80,8	79,6	121,2	78,1	119,8	76,3	125,3	80,0	124,1	79,1	68,8
2000	118,5	78,0	76,7	83,7	82,5	125,4	78,0	124,0	76,3	131,0	82,9	129,9	82,1	70,1
2500	123,6	79,2	77,8	85,9	84,7	129,4	77,9	128,1	76,2	136,1	85,0	135,0	84,1	70,9
3150	126,2	79,0	77,7	85,8	84,7	132,3	77,8	131,0	76,2	139,1	85,0	137,9	84,2	70,8
4000	129,0	79,0	77,7	85,8	84,6	135,3	77,8	134,1	76,2	142,1	85,1	141,0	84,3	70,8
5000	131,6	78,9	77,6	85,7	84,6	138,2	77,8	136,9	76,3	145,0	85,2	143,9	84,4	70,8



**Tabela 3:** Níveis de pressão sonora de impacto normalizado corrigido dos caminhos de transmissão sonora direto e por flancos do exemplo de cálculo da norma ISO 12354-2:2017.

$f$ (Hz)	$L_{n,Dd}$ (dB)	$L_{n,Df1}$ (dB)	$L_{n,Df2}$ (dB)	$L_{n,Df3}$ (dB)	$L_{n,Df4}$ (dB)	$L'_n$ (dB)
50	57,3	47,8	49,5	44,1	45,0	58,7
63	55,9	45,9	47,5	42,4	43,4	57,2
80	53,8	46,9	48,4	43,1	44,1	56,1
100	51,8	42,4	44,2	43,7	44,7	54,0
125	49,9	40,2	42,0	41,2	42,4	51,9
160	47,7	37,9	39,7	38,5	39,7	49,6
200	45,2	35,9	37,6	35,2	36,5	47,0
250	42,5	33,4	34,9	32,1	33,3	44,3
315	39,7	30,5	32,0	29,0	30,3	41,4
400	36,9	27,6	29,0	25,9	27,2	38,6
500	34,3	24,9	26,3	23,1	24,4	35,9
630	31,7	22,1	23,5	20,2	21,5	33,2
800	28,9	19,2	20,6	17,3	18,5	30,4
1000	26,3	16,5	17,8	14,5	15,7	27,8
1250	23,8	14,1	15,5	11,7	12,9	25,2
1600	20,9	12,7	14,1	8,6	9,8	22,7
2000	18,3	11,4	12,8	5,8	7,0	20,4
2500	15,8	9,9	11,2	3,2	4,3	18,2
3150	13,1	7,0	8,3	0,2	1,4	15,4
4000	10,3	4,0	5,2	-2,8	-1,7	12,5
5000	7,7	1,1	2,4	-5,7	-4,6	9,8

Com as correções sugeridas obtém-se o valor ponderado de  $R'_w = 57,5$  dB e  $L'_{n,w} = 41$  dB. No desempenho ao ruído aéreo ocorreu uma variação de 0,4 dB entre o resultado ponderado apresentado no exemplo de cálculo da norma [7] e o valor corrigido proposto, enquanto para o resultado do desempenho ao ruído de impacto a estimativa foi igual para ambas as situações. Isto está diretamente relacionado às correções sugeridas que, para o desempenho acústico ao ruído de impacto, em sua maioria, são sugestões

para arredondamento de valores, enquanto para o desempenho acústico ao ruído aéreo existiram correções significativas na transmissão sonora nos caminhos de transmissões entre as paredes internas do exemplo proposto pela norma.

Obtém-se o mesmo resultado ponderado de  $R'_w = 57,5$  dB e  $L'_{n,w} = 41$  dB quando o cálculo é efetuado considerando a conversão dos índices redução sonora aparente em laboratório ( $R'_{lab}$ ) e nível de pressão sonora normalizado ( $L_n$ ) para seus valores de campo através da relação entre o tempo de reverberação estrutural em laboratório e em campo. Isto apoia a adoção direta do tempo de reverberação estrutural em campo ( $T_{s,situ}$ ) utilizada no exemplo de cálculo proposto pela norma.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta publicação buscou identificar erros presentes em parte das normas ISO 12354-1:2017 e ISO 12354-2:2017 e propôs alterações para uma futura revisão. Entretanto se limitou ao estudo do método detalhado de estimação do desempenho acústico de elementos de edificação.

Os erros encontrados não invalidam o método detalhado que a norma propõe, entretanto podem prejudicar a interpretação de seus processos de cálculo.

Os autores sugerem a ampliação desta discussão para os demais métodos e anexos apresentados no conjunto de normas.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

#### REFERÊNCIAS

[1] HASSAN, Osama A. B. *Building acoustics and vibration: theory and practice*. Singapura: World Scientific, c2009. 947 p., il. ISBN 9789812838339

[2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-1**: Edificações Habitacionais — Desempenho — Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

[3] CREMER, Lothar; HECKL, Manfred. **Structure-borne sound: structural vibrations and sound radiation at audio frequencies**. Springer Science & Business Media, 2013.

[4] GERRETSEN E. **Calculation of sound transmission between dwellings by partitions and flanking structures**. *Appl. Acoust.* 1979, 12 pp. 413–433

[5] GERRETSEN E. **Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings**. *Appl. Acoust.* 1986, 19 pp. 245–264

[6] RICHTER, U. **Nachhallzeit und mittlere Schnelle von ebenen Platten bei Biegewellenanregung**. *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik*, v. 5, n. 6, p. 189-192, 1968.

[7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-1: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms**, 2017.

[8] \_\_\_\_\_. **ISO 12354-2: Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 2: Impact sound insulation between rooms**, 2017.

[9] PATRÍCIO, J. **Acústica nos edifícios - 7ª Edição, Revista e Aumentada**. 7. ed. Espanha: Engebook, 2018. 400 p., il. ISBN 9789897232622 (broch.).

[10] SANTONI, Andrea; FAUSTI, Patrizio; BONFIGLIO, Paolo. **Building materials: Influence of physical, mechanical and acoustic properties in sound prediction models**. *Building Acoustics*, v. 26, n. 1, p. 3-20, 2019.

[11] BRITISH STANDARD. **BS EN 12354-2: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance**

*of elements - Part 2: Impact sound insulation between rooms*, 2000.

## APÊNDICE A

A norma ISO 12354:2017, em suas partes 1 e 2, apresenta a conversão de valores de índice de redução sonora aparente em laboratório ( $R'$ ) e nível de pressão sonora normalizada em laboratório ( $L_n$ ) para seus valores em campo. Isso se dá através, respectivamente, das Equações A1 e A2.

$$R'_{situ} = R - 10 \log \left( \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right), \quad (A1)$$

$$L_{n,situ} = L_n + 10 \log \left( \frac{T_{s,situ}}{T_{s,lab}} \right), \quad (A2)$$

Sendo,

$R'_{situ}$ : índice de redução sonora aparente em campo;

$R$ : índice de redução sonora aparente

$L_{n,situ}$ : nível de pressão sonora normalizado em campo;

$L_n$ : nível de pressão sonora normalizado

$T_{s,situ}$ ,  $T_{s,lab}$ : tempo de reverberação estrutural, respectivamente, em campo e em laboratório.

A Tabela A1 apresenta a estimativa de isolamento sonoro dos elementos da construção do exemplo de cálculo com o uso das Equações A1 e A2. Na tabela A2 estão dispostos os valores da estimativa da transmissão sonora por via estrutural direta e por flancos do ruído aéreo.

Os valores para a transmissão sonora direta e por flancos do ruído de impacto estão dispostos na Tabela A3.



**Tabela A1:** Índices de redução sonora corrigido dos caminhos de transmissão sonora direto e por flancos do exemplo de cálculo da norma ISO 12354-1:2017.

$f$ (Hz)	Piso de separação		Piso flut.	P Ext. 1	P Ext. 2	P Int 1	P Int 2
	$L_n$ (dB)	R (dB)	$\Delta L_{situ}$ (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	58,7	31,5	0,0	27,5	26,5	32,1	32,4
63	60,4	30,9	2,3	28,3	27,4	32,3	32,6
80	62,9	35,9	5,4	26,6	25,9	31,0	31,3
100	66,5	37,6	8,3	32,8	31,7	27,1	27,4
125	67,5	39,1	11,2	34,7	33,6	29,7	29,5
160	68,0	40,8	14,4	36,4	35,3	32,4	32,1
200	67,7	43,3	17,4	37,9	36,8	36,3	36,0
250	67,4	46,3	20,3	40,3	39,8	40,1	39,8
315	67,4	49,2	23,3	43,4	42,9	43,6	43,3
400	67,5	52,2	26,4	46,4	46,0	46,9	46,6
500	67,7	54,9	29,3	49,2	48,8	49,8	49,6
630	67,9	57,6	32,3	52,0	51,6	52,8	52,5
800	68,1	60,4	35,4	54,9	54,5	55,8	55,5
1000	68,3	63,0	38,3	57,6	57,2	58,5	58,3
1250	68,5	65,6	41,2	59,5	59,1	61,3	61,1
1600	68,8	68,5	44,4	59,2	58,8	64,3	64,1
2000	69,0	71,1	47,4	58,9	58,5	67,0	66,8
2500	69,2	73,3	50,3	58,6	58,2	68,9	68,7
3150	69,4	73,0	53,3	58,3	58,0	68,6	68,4
4000	69,6	72,6	56,4	58,0	57,7	68,4	68,2
5000	69,8	72,3	59,3	57,8	57,5	68,2	68,0

**Tabela A2:** Índices de redução sonora corrigido dos caminhos de transmissão sonora direto e por flancos do exemplo de cálculo da norma ISO 12354-1:2017.

$f$ (Hz)	Piso de separação					P Ext. 1		P Ext. 2		P Int. 1		P Int. 2		$R'$ (dB)
	$R_{Dd}$ (dB)	$R_{Id}$ (dB)	$R_{2d}$ (dB)	$R_{3d}$ (dB)	$R_{4d}$ (dB)	$R_{D1}$ (dB)	$R_{I1}$ (dB)	$R_{D2}$ (dB)	$R_{22}$ (dB)	$R_{D3}$ (dB)	$R_{33}$ (dB)	$R_{D4}$ (dB)	$R_{44}$ (dB)	
<b>50</b>	31,5	41,2	39,4	44,7	43,7	41,2	44,9	39,4	42,4	44,7	45,8	43,7	45,2	28,6
<b>63</b>	33,2	41,3	39,6	44,6	43,6	43,6	45,8	41,9	43,4	46,9	46,1	45,9	45,5	29,9
<b>80</b>	41,4	43,0	41,5	46,6	45,6	48,4	44,1	46,9	42,0	52,0	45,0	51,0	44,4	33,3
<b>100</b>	45,9	47,0	45,3	45,7	44,7	55,4	50,4	53,6	47,9	54,0	41,4	53,0	40,9	34,8
<b>125</b>	50,3	48,8	47,0	47,8	46,5	60,0	52,4	58,2	49,8	59,0	44,1	57,8	43,0	37,2
<b>160</b>	55,2	50,5	48,7	50,0	48,7	65,0	54,1	63,2	51,6	64,4	46,8	63,2	45,7	39,6
<b>200</b>	60,7	52,6	50,9	53,2	52,0	70,0	55,7	68,2	53,2	70,6	50,7	69,3	49,7	42,8
<b>250</b>	66,5	55,3	53,9	56,7	55,4	75,6	58,2	74,1	56,3	76,9	54,6	75,7	53,5	46,2
<b>315</b>	72,5	58,4	56,9	59,9	58,7	81,7	61,4	80,2	59,4	83,2	58,1	81,9	57,1	49,5
<b>400</b>	78,5	61,5	60,0	63,1	61,9	87,9	64,5	86,4	62,6	89,5	61,5	88,3	60,5	52,7
<b>500</b>	84,1	64,3	62,9	66,0	64,8	93,6	67,4	92,1	65,5	95,3	64,6	94,1	63,6	55,6
<b>630</b>	89,9	67,2	65,8	69,0	67,8	99,5	70,3	98,1	68,5	101,3	67,7	100,1	66,7	58,6
<b>800</b>	95,8	70,1	68,7	72,0	70,8	105,6	73,4	104,2	71,5	107,5	70,9	106,2	69,9	61,7
<b>1000</b>	101,3	72,9	71,5	74,9	73,7	111,2	76,2	109,8	74,4	113,2	73,8	112,0	72,9	64,5
<b>1250</b>	106,9	75,3	73,9	77,7	76,5	116,5	78,2	115,1	76,5	118,9	76,7	117,7	75,8	67,1
<b>1600</b>	113,0	76,7	75,4	80,8	79,6	121,2	78,1	119,8	76,3	125,3	80,0	124,1	79,1	68,8
<b>2000</b>	118,5	78,0	76,7	83,7	82,5	125,4	78,0	124,0	76,3	131,0	82,9	129,9	82,1	70,1
<b>2500</b>	123,6	79,2	77,8	85,9	84,7	129,4	77,9	128,1	76,2	136,1	85,0	135,0	84,1	70,9
<b>3150</b>	126,2	79,0	77,7	85,8	84,7	132,3	77,8	131,0	76,2	139,1	85,0	137,9	84,2	70,8
<b>4000</b>	129,0	79,0	77,7	85,8	84,6	135,3	77,8	134,1	76,2	142,1	85,1	141,0	84,3	70,8
<b>5000</b>	131,6	78,9	77,6	85,7	84,6	138,2	77,8	136,9	76,3	145,0	85,2	143,9	84,4	70,8



**Tabela A3:** Níveis de pressão sonora de impacto normalizado corrigido dos caminhos de transmissão sonora direto e por flancos do exemplo de cálculo da norma ISO 12354-2:2017

$f$ (Hz)	$L_{n,Dd}$ (dB)	$L_{n,Df1}$ (dB)	$L_{n,Df2}$ (dB)	$L_{n,Df3}$ (dB)	$L_{n,Df4}$ (dB)	$L'_n$ (dB)	$f$ (Hz)	$L_{n,Dd}$ (dB)	$L_{n,Df1}$ (dB)	$L_{n,Df2}$ (dB)	$L_{n,Df3}$ (dB)	$L_{n,Df4}$ (dB)	$L'_n$ (dB)
<b>50</b>	58,7	49,1	50,8	45,5	46,5	60,1	<b>630</b>	35,6	26,0	27,4	24,2	25,4	37,1
<b>63</b>	58,1	47,6	49,3	44,3	45,3	59,3	<b>800</b>	32,7	23,0	24,4	21,1	22,3	34,2
<b>80</b>	57,4	50,4	51,9	46,8	47,8	59,7	<b>1000</b>	30,0	20,1	21,5	18,1	19,4	31,4
<b>100</b>	58,1	48,7	50,5	50,1	51,0	60,3	<b>1250</b>	27,3	17,6	19,0	15,2	16,4	28,8
<b>125</b>	56,2	46,6	48,4	47,6	48,8	58,3	<b>1600</b>	24,3	16,1	17,5	12,0	13,2	26,1
<b>160</b>	53,5	43,8	45,5	44,3	45,6	55,4	<b>2000</b>	21,6	14,7	16,0	9,1	10,2	23,7
<b>200</b>	50,3	41,0	42,8	40,4	41,7	52,2	<b>2500</b>	18,9	13,1	14,4	6,4	7,5	21,3
<b>250</b>	47,2	38,1	39,6	36,8	38,1	49,0	<b>3150</b>	16,1	10,0	11,3	3,3	4,4	18,4
<b>315</b>	44,2	35,0	36,4	33,5	34,7	45,9	<b>4000</b>	13,2	6,9	8,2	0,1	1,2	15,4
<b>400</b>	41,1	31,8	33,3	30,2	31,4	42,8	<b>5000</b>	10,5	3,9	5,2	-2,9	-1,8	12,6
<b>500</b>	38,4	29,0	30,4	27,2	28,4	40,0	-	-	-	-	-	-	-