

## **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS $D_{nT,w}$ AFERIDAS *IN LOCO* E AS RESULTANTES DO MÉTODO DE CÁLCULO DA NORMA EN 12354-1 EM SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA**

NASCIMENTO, Néio Lúcio Freitas; COELHO, Fabiana Curado; MACIEL, Cândida de Almeida.

Síntese Acústica Arquitetônica.

### **RESUMO**

A ABNT NBR 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho, comumente chamada de Norma de Desempenho, completou em julho de 2016 três anos de exigibilidade. Neste período, foi possível observar que os diversos setores da construção civil estão se empenhando no desenvolvimento de processo e sistemas que atendam aos requisitos desta norma, principalmente os relacionados à acústica, por se tratar de um critério normativo novo para este tipo de edificação. Entretanto, ainda há uma grande lacuna de dados laboratoriais, o que dificulta as boas práticas de projeto e execução, necessárias para garantir o atendimento aos requisitos de desempenho acústico. Atualmente no Brasil, os fabricantes têm escassas opções de laboratórios capacitados para atestar o Índice de Redução Sonora Ponderado ( $R_w$ ) de seus produtos, desde materiais a sistemas destinados a parede, pisos e coberturas. Este trabalho propõe analisar como a escassez de dados pode influenciar os desvios de valores esperados para a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ) de paredes, índice determinado na ABNT NBR 15.575-4:2013 para atestar o desempenho acústico da edificação. Para tanto, este trabalho comparou os valores de  $D_{nT,w}$ , aferidos em campo, de seis sistemas de vedação vertical interno, conforme a metodologia da norma ISO 140-4, com a  $D_{nT,w}$  resultante do método de cálculo da norma EN 12354-1 para as mesmas seis situações construtivas, obtidos através de dados de  $R_w$  disponíveis em bibliografia e catálogos nacionais. Este estudo evidencia a influência do elemento separador e dos flancos no resultado da  $D_{nT,w}$  calculada e os desvios em relação à  $D_{nT,w}$  ensaiada *in loco*.

**Palavras-chave:** NBR 15.575, Norma de desempenho, desempenho acústico, sistema de vedação vertical interna, parede, ISO 140-4, EN 12354-1.

### **ABSTRACT**

The standard ABNT NBR 15.575:2013 – Residential Buildings – Performance, commonly called Performance Standard, completed in 2016 July, three years of liability. In this period, it is possible to observe that the various sectors of construction are struggling in the development of process and systems that meet the requirements of this standard, especially those related to acoustics, for it is a new normative criteria for this type of building. However, there is still a large gap of laboratory data, which affects the good design and development practices, necessary to ensure compliance with acoustic performance requirements. Currently in Brazil, manufacturers have few options for qualified laboratories to certify the Sound Reduction Index ( $R_w$ ) of its products, from materials to systems for wall, floors and roofs. This study aims to analyze how the scarcity of data can influence the values of deviations expected for the Standardized Difference Weighted level ( $D_{nT,w}$ ) of walls, index given in ABNT NBR 15575-4: 2013 to certify the acoustic performance of a building. Therefore, this study compared the  $D_{nT,w}$  values, measured in the field, of six internal vertical sealing systems, according to the methodology of the ISO 140-4 standard, with the resulting  $D_{nT,w}$  of the standard calculation model EN 12354-1 for the same six

mounting situations, obtained by  $R_w$  data available in literature and national catalogs. This study demonstrate the influence of the separating element and flanks in the result of the  $D_{nT,w}$  calculated and the respective deviations regarding the  $D_{nT,w}$  measured in loco.

**Keywords:** NBR 15.575, Performance standard, acoustic performance, internal vertical sealing system, wall, ISO 140-4, EN 12354-1.

## 1. INTRODUÇÃO

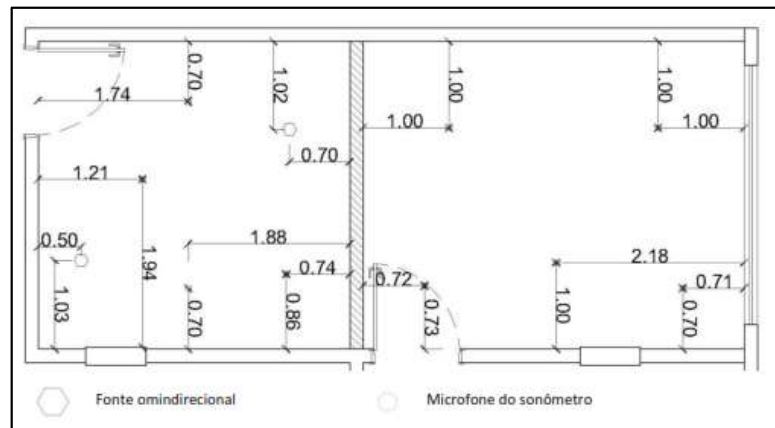
O tema desempenho acústico é consideravelmente novo no âmbito da construção civil de edificações habitacionais no Brasil. O surgimento da ABNT NBR 15575, incentivou o desenvolvimento do tema, proporcionando maior embasamento bibliográfico e acadêmico. O trabalho de NETO (2010), dentre outros assuntos, analisa em paredes brasileiras os parâmetros de vedação vertical interna estabelecidos pela NBR 15575-4 para análise em laboratório, o Índice de Redução Sonora Ponderado ( $R_w$ ), e campo, a Diferença Padronizada de Nível Ponderada ( $D_{nT,w}$ ). Esta norma determina com critério de comprovação de desempenho da edificação o  $D_{nT,w}$  obtido em ensaio na edificação. Contudo, o construtor necessita desenvolver o projeto com a certeza de que se bem executado o desempenho acústico do sistema de parede será o especificado. Para isso podem ser utilizados sistemas de cálculos de estimativa de desempenho de elementos da edificação, tais como os definidos na EN 1235-1.

A EN 12354-1 apresenta duas metodologias de cálculo de previsão de  $D_{nT,w}$ . Um método completo que considera mais variáveis e realiza análise do desempenho dos materiais envolvidos no sistema em cada banda de frequência. Outro método simplificado que considera o índice de redução sonora ponderado do elemento separador e dos elementos que se conectam a este, chamados flancos, e suas interações no processo de transmissão de energia sonora. Entretanto, há ainda uma escassez de dados laboratoriais de materiais de construção brasileiros para embasar a previsão do comportamento em campo dos sistemas construtivos. São poucos os laboratórios nacionais capacitados para atestar o índice  $R_w$  de um produto, e poucos dados nacionais bibliográficos disponíveis, o que diminui a confiabilidade deste parâmetro no momento de projeto.

Em 2015, o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Distrito Federal - SINDUSCON-DF em parceria com Associação de Empresas do Mercado Imobiliário do Distrito Federal - ADEMI-DF publicou os resultados de uma série de laudos acústicos de campo de diferentes sistemas construtivos. O intuito foi identificar o comportamento acústico de diferentes sistemas construtivos utilizados nas habitações do Distrito Federal – DF e regiões, uma vez que existia pouca caracterização dos materiais de construção comercializados nesta região. A Síntese Acústica Arquitetônica foi a entidade responsável pela realização dos ensaios e elaboração dos relatórios. Os ensaios de isolamento sonoro ao ruído aéreo foram executados de acordo com a norma ISO 140-4, norma de procedimentos vigente época dos ensaios, iniciados em 2013. Foram medidos os níveis sonoros emitidos, recebidos e residual e o tempo de reverberação, conforme ISO 3382-2. Para obtenção do valor único, os valores de  $D_{nT,w}$  foram ponderados conforme ISO 717-1.

Os ensaios foram realizados em diferentes obras, mas a Obra II se destacou no que se refere a metodologia de comparação de diferentes sistemas de parede. Nesta foram construídos dois ambientes divididos pelo elemento separador sob análise. A cada ensaio realizado, o elemento separador era retirado e executado outro no mesmo local. Esse procedimento garantiu que se mantivessem constantes em todos os ensaios: os flancos e a volumetria dos ambientes. Assim, as características da transmissão marginal foram influenciadas apenas pela junção com

elemento separador. Além disso, foram mantidos os mesmos pontos de locação de fonte sonora e microfone. Na referida obra, foram realizados os ensaios de seis sistemas diferentes de vedações verticais internas, mantendo as características dos demais elementos envolvidos, passíveis de influenciar os resultados de  $D_{nT,w}$ . A figura 1 ilustra a disposição dos ambientes ensaiados, a marcação dos pontos de medição e identifica o elemento ensaiado:



**Figura 1:** Planta Baixa Ambiente de Ensaio.

Fonte: SINDUSCON-DF & ADEMI-DF, 2015

Ambiente com área de aproximadamente 15 m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,90 m. Laje de piso e teto nervurada tipo cabaça em concreto com mesa de 10cm espessura e nervuras de 30 cm, espessura total de 40 cm sem forro. Alvenaria de bloco de concreto de 14cm com reboco de 1,5cm em cada face e divisas entre ambientes variados nos seguintes sistemas.

- I1-P1 – Alvenaria de bloco de concreto de 9 cm com encabeçamento e reboco de 1,5 cm em cada face.
- I1-P2 – Alvenaria de bloco de concreto de 14 cm com encabeçamento e reboco de 1,5 cm em cada face.
- I1-P3 – Alvenaria de bloco de concreto de 11 cm com encabeçamento e reboco de 1,5 cm em cada face.
- I1-P4 – Alvenaria de bloco cerâmico de 9 cm com encabeçamento e reboco de 1,5 cm em cada face.
- I1-P5 – Parede no sistema *drywall* composta por chapa de gesso, montante de 90 mm preenchido com lã e chapa de gesso, espessura total de 11,5 cm.
- I1-P6 - Parede no sistema *drywall* composta por duas chapas de gesso, montante de 90mm preenchido com lã e uma chapa de gesso, espessura total de 12,75cm
- I1-P7 – Parede no sistema *drywall* composta por duas chapas de gesso, montante de 90 mm preenchido com lã e duas chapas de gesso, espessura total de 14 cm. (SINDUSCON-DF & ADEMI-DF, 2015)

Este trabalho tem como objetivo analisar como a escassez de dados pode influenciar os desvios de valores esperados para a  $D_{nT,w}$  de paredes. A análise parte da comparação de valores  $D_{nT,w}$  obtido através cálculos normatizados de previsão, com os valores obtidos em ensaios acústicos de campo. Devido à escassez de dados sobre os materiais nacionais, definiu-se por utilizar nesse artigo a metodologia simplificada de cálculo, que necessita apenas dos dados de  $R_w$  e massa específica superficial ( $m^2$ ) dos elementos envolvidos para desenvolver a modelagem matemática. Calcular os valores de  $D_{nT,w}$  da referida obra I1, através da metodologia simplificada da EN 12354-1 demonstrou-se algo pertinente para realização do presente estudo. Pois, uma vez que a disposição construtiva dos chamados flancos, não foi alterada, suas

características de  $R_w$  e  $m'$  também se mantiveram constantes. Assim, os fatores de influência a serem observados nos cálculos foram reduzidos apenas às características do elemento separador e sua correlação com as características permanentes dos flancos.

Para a realização dos cálculos utilizou-se dados bibliográficos nacionais disponíveis e simulações de  $R_w$  a partir de  $m'$ , além de informações do projeto e dimensões dos ambientes obtidas junto ao SINDUSCON-DF, mantendo o compromisso da não identificação da obra ensaiada. As fontes bibliográficas utilizadas em cada situação, além da necessidade de simulação de  $R_w$  serão detalhadas na metodologia deste trabalho, onde está descrita a aplicação da metodologia simplificada prescrita pela EN 12354-1.

## 2. METODOLOGIA – CÁLCULO DE $D_{nT,w}$

Calculou-se a  $D_{nT,w}$  de acordo com os requisitos da norma EN 12354-1, conforme o método simplificado. Esse método utiliza os índices  $R_w$ , as massas específicas superficiais  $m'$  e as áreas tanto do elemento separador quanto dos flancos, além dos volumes dos ambientes envolvidos.

Os valores de  $R_w$  e de  $m'$  dos elementos separadores e das alvenarias de flanco, foram retirados dos Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais (CBIC, 2013). Os valores de  $R_w$  e  $m'$  do pilar e da laje nervurada foram calculados a partir de um peso específico de  $2500 \text{ kg/m}^3$  compatível com o do concreto armado. Para obtenção do valor aproximado de  $R_w$  da laje, considerou-se que esta é composta por dois elementos monolíticos distintos, mesa e nervura. Assim, obteve-se os valores de  $R_w$  para cada elemento, que foram ponderados de acordo com suas respectivas áreas. A tabela 1 apresenta os valores característicos utilizados para as paredes separadoras em cada um dos seis sistemas:

**Tabela 1:** Características dos Elementos Separadores dos Diferentes Sistemas Propostos

Sistema	Material do elemento separador	Área ( $\text{m}^2$ )	$R_w$ (dB)	$m'$ ( $\text{kg/m}^2$ )
I1-P1	Alvenaria bloco de concreto 9 cm	12,1	41	180
I1-P2	Alvenaria bloco de concreto 14 cm	12,1	45	230
I1-P3	Alvenaria bloco de concreto 11,5 cm	12,1	42	210
I1-P4	Alvenaria de bloco cerâmico 9 cm	12,1	38	120
I1-P5	<i>Drywall</i> 115/90/600 CH/CH LM50	12,1	41	22
I1-P7	<i>Drywall</i> 140/90/600 CH+CH/CH+CH LM50	12,1	49	46

Fonte: SINDUSCON-DF & ADEMI-DF, 2015

Na bibliografia nacional, não foi identificado um  $R_w$  relacionado ao sistema I1-P6, nem mesmo em documentos específicos sobre *Drywall* (DRYWALL,2015), e seu desempenho não poderia ser estimado através da  $m'$  do sistema. Optou-se por não inserir esse objeto no grupo de sistemas estudados.

A tabela 2 apresenta as características dos flancos utilizados para os seis sistemas. As últimas três colunas representam a consideração de heterogeneidade de cada flanco. Esta, tem influência nos valores de  $m'$  e de  $R_w$  do flanco enquanto conjunto:

**Tabela 2:** Características dos Flancos Utilizadas no Método Simplificado da EN 12354-1

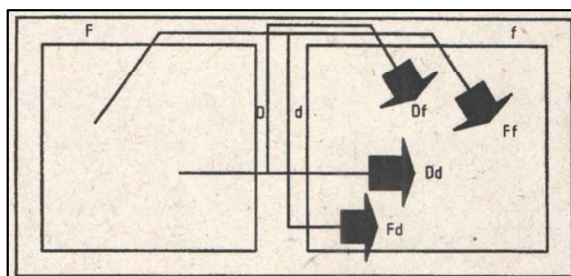
Nº do flanco	Ambiente	Material do elemento separador	Área (m <sup>2</sup> )	R <sub>w</sub> (dB)	m' (kg/m <sup>2</sup> )	Área do conjunto (m <sup>2</sup> )	R <sub>w</sub> do conjunto (dB)	m' do conjunto (kg/m <sup>2</sup> )
1	Emissor	Laje em CA, nervura 40 cm, mesa 10 cm	14,3	48	333,3	14,3	48	333,3
1	Receptor	Laje em CA, nervura 40 cm, mesa 10 cm	14,3	48	333,3	14,3	48	333,3
2	Emissor	Laje em CA, nervura 40 cm, mesa 10 cm	14,3	48	333,3	14,3	48	333,3
2	Receptor	Laje em CA, nervura 40 cm, mesa 10 cm	14,3	48	333,3	14,3	48	333,3
3	Emissor	Alvenaria de bloco de concreto 14 cm	13,8	45*	230,0*	13,8	45	230,0
3	Receptor	Alvenaria de bloco de concreto 14 cm	13,8	45*	230,0*	13,8	45	230,0
4	Emissor	Alvenaria de bloco de concreto 14 cm Pilar de concreto 20 cm espessura	13,6 0,1	45* 59	230,0* 500,0	13,8	45	232,7
4	Receptor	Alvenaria de bloco de concreto 14 cm Pilar de concreto 20 cm espessura Porta de madeira maciça s/ trat. de fresta	11,4 0,1 2,2	45* 59 21	230,0* 500,0 200,0	13,8	29	227,9

\* Dados retirados do Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais (CBIC, 2013)

No método simplificado da EN 12354-1 também é necessário determinar os índices de redução de vibração para junções,  $K_{ij}$ , em que  $ij$  indicam o caminho de transmissão marginal que está sendo analisado, na direção emissor-receptor. Para os sistemas de blocos de concreto e cerâmico, foi utilizado nos flancos 1 e 2 – lajes superior e inferior – as equações de junção rígida cruzada. Já nos flancos 3 e 4 desses mesmos sistemas – paredes laterais – foi utilizado as equações de junção rígida em “T”. Para os sistemas em *Drywall* foi utilizado em todos os flancos as equações de junção entre elemento rígido e leve. Conforme a EN 12354-1, todas as equações de  $K_{ij}$  citadas acima são descritas em função do fator  $M$ , definido na equação 01, que traça uma relação entre a massa específica superficial do elemento  $i$  ( $m_i'$ ) no caminho de transmissão  $ij$ , já citado, e a massa específica superficial do elemento perpendicular ( $m_{li}'$ ) formador da junção:

$$M = \log m_{li}' / m_i' \quad [\text{Eq. 01}]$$

Através dos dados descritos anteriormente, foi possível calcular a contribuição da parede separadora e de cada flanco para a transmissão de ruído aéreo. A figura 2 ilustra as formas de transmissão de ruído aéreo calculadas através do método da EN 12354-1. A parede separadora é denominada como letra “D”, enquanto os flancos são denominados “F”. É utilizado maiúsculo para os elementos pertencentes ao ambiente emissor e minúsculo para os do ambiente receptor.



**Figura 2:** Características da Transmissão Sonora Entre Ambientes.

Fonte: EN 12354-1, 2000.

Através da equação 02 é calculado o Índice de Redução Sonora Aparente Ponderado  $R_w'$  posteriormente relacionado com o volume do ambiente para obter o parâmetro  $D_{nT,w}$  desejado.

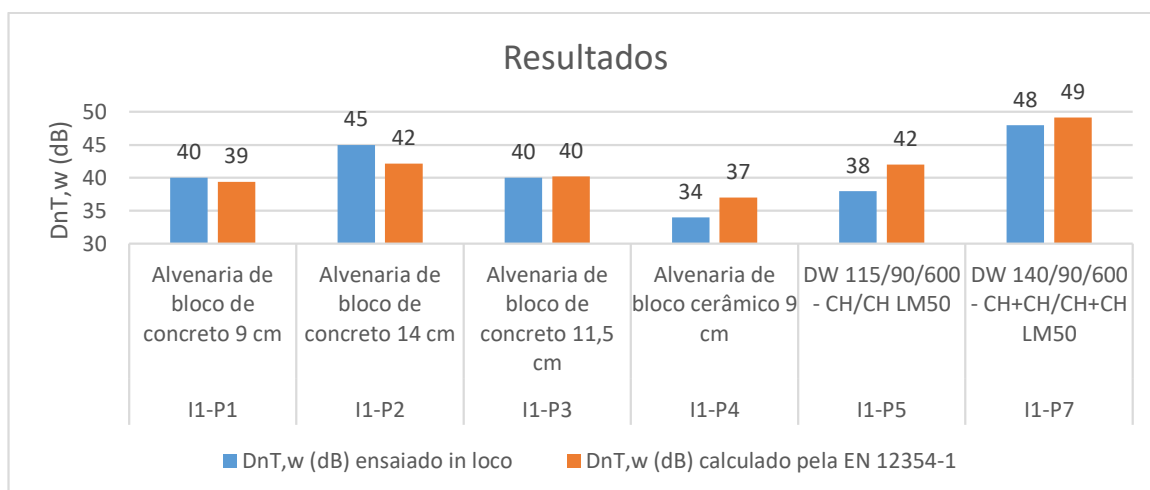
Na equação 02 existem duas contribuições distintas: Índice de Redução Sonora Ponderado do elemento separador ( $R_{Dd,w}$ ) e Índices de Redução Sonora Ponderados de Flancos nos caminhos de transmissão flanco-flanco, direto-flanco e flanco direto ( $R_{Ff,w}$ ,  $R_{Df,w}$  e  $R_{Fd,w}$ ). Estes índices influenciam o resultado de  $R_w'$  matematicamente da mesma forma.

$$R_w' = -10 \log \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \text{ dB} \quad [\text{Eq. 02}]$$

Isto é, as características e o comportamento do elemento separador e de um flanco qualquer pode influenciar o resultado de  $R_w'$  e conseqüentemente  $D_{nT,w}$  da mesma forma. Percebe-se assim, uma influência significativa do comportamento dos flancos no resultado da  $D_{nT,w}$  calculada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta os resultados de  $D_{nT,w}$  obtidos *in loco* e os obtidos através do método simplificado de cálculo da EN 12354-1 para cada um dos sistemas avaliados:



**Figura 3:** Gráfico dos Resultados.

De acordo com capítulo 5 da EN 12354-1, estima-se que o método simplificado de cálculo apresenta um desvio de até 2 dB com tendência de superestimar o isolamento. Porém, na análise dos resultados apresentados, tratando-se do mesmo método de cálculo, é possível perceber um comportamento distinto entre os três primeiros sistemas e os três últimos.

Nas situações em que o elemento separador é composto por alvenaria de bloco de concreto, os valores calculados pela EN 12354-1 apresentam  $D_{nT,w}$  iguais ou abaixo dos medidos *in loco*. O Sistema I1-P1 apresenta o valor de cálculo de 1 dB abaixo do ensaiado e o I1-P3 obteve resultado idêntico. A alvenaria de bloco de concreto 14 cm apresenta o valor calculado de 3 dB abaixo da  $D_{nT,w}$  medido *in loco*. Observa-se que nesses casos o cálculo da EN 12354-1 apresentou um resultados de  $D_{nT,w}$  a favor da segurança. Por outro lado, o método de cálculo aplicado para os três últimos sistemas apresentam um valor de  $D_{nT,w}$  consideravelmente acima dos medidos *in loco*. O sistema I1-P4, em bloco cerâmico de 9 cm, apresenta um valor calculado 3 dB acima da  $D_{nT,w}$  medida em campo, isto é, contra a segurança e acima da previsão de 2 dB

da EN 12354-1. O cálculo dos sistemas em *Drywall*, I1-P5 e I1-P7, também apresenta superestimação em relação ao valor ensaiado.

### 3.1 Análise da contribuição de cada barreira no cálculo da $D_{nT,w}$

Conforme a equação 02, os índices de redução sonora de flancos influenciam os valores da  $D_{nT,w}$  calculada. Para melhor visualizar a influência dos índices de redução sonora dos elementos separador e flancos, as tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados para as contribuições do elemento separador  $R_d$  e dos flancos  $R_{f1}$ ,  $R_{f2}$ ,  $R_{f3}$  e  $R_{f4}$  de cada um dos seis sistemas modelado.

**Tabela 3:** Resultados da Contribuição de Cada Barreira na  $D_{nT,w}$  Calculada em I1-P1 e I1-P2

Barreira	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	I1-P1 - bloco de concreto 9 cm			I1-P2 - bloco de concreto 14 cm		
			$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado
Parede ensaiada	$R_{Dd,w}$	$R_d$	41,0	40,5	39	45,0	44,2	42
	$R_{F1d,w}$		58,8			60,6		
	$R_{F2d,w}$		58,8			60,6		
	$R_{F3d,w}$		54,3			56,2		
	$R_{F4d,w}$		54,3			56,2		
Flanco 1	$R_{Df,w}$	$R_{f1}$	58,8	55,2	39	60,6	56,8	42
	$R_{Ff,w}$		57,6			59,2		
Flanco 2	$R_{Df,w}$	$R_{f2}$	58,8	55,2	39	60,6	56,8	42
	$R_{Ff,w}$		57,6			59,2		
Flanco 3	$R_{Df,w}$	$R_{f3}$	54,3	51,5	39	56,2	53,2	42
	$R_{Ff,w}$		54,8			56,2		
Flanco 4	$R_{Df,w}$	$R_{f4}$	46,2	43,4	39	48,1	45,1	42
	$R_{Ff,w}$		46,7			48,1		

**Tabela 4:** Resultados da Contribuição de Cada Barreira na  $D_{nT,w}$  Calculada em I1-P3 e I1-P4

Barreira	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	I1-P3 - bloco de concreto 11,5 cm			I1-P4 - bloco cerâmico 9 cm		
			$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado
Parede ensaiada	$R_{Dd,w}$	$R_d$	42,0	41,4	40	38,0	37,7	37
	$R_{F1d,w}$		59,1			58,0		
	$R_{F2d,w}$		59,1			58,0		
	$R_{F3d,w}$		54,7			53,2		
	$R_{F4d,w}$		54,7			53,2		
Flanco 1	$R_{Df,w}$	$R_{f1}$	59,1	55,9	40	58,0	53,5	37
	$R_{Ff,w}$		58,6			55,3		
Flanco 2	$R_{Df,w}$	$R_{f2}$	59,1	55,9	40	58,0	53,5	37
	$R_{Ff,w}$		58,6			55,3		
Flanco 3	$R_{Df,w}$	$R_{f3}$	54,7	52,2	40	53,2	49,9	37
	$R_{Ff,w}$		55,7			52,7		
Flanco 4	$R_{Df,w}$	$R_{f4}$	46,7	44,1	40	45,1	41,8	37
	$R_{Ff,w}$		47,5			44,6		

**Tabela 5:** Resultados da Contribuição de Cada Barreira na  $D_{nT,w}$  Calculada em I1-P5 e I1-P7

Barreira	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	I1-P5 - DW duas chapas + lâ 11,5 cm			I1-P7 - DW quatro chapas + lâ 14 cm		
			$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado	$R_{ij,w}$ (dB)	Composição $R_{ij,w}$ (dB)	$D_{nT,w}$ (dB) calculado
Parede ensaiada	$R_{Dd,w}$	$R_d$	41,0	41,0	42	49,0	48,9	49
	$R_{Fd,w}$		71,5			72,3		
	$R_{F2d,w}$		71,5			72,3		
	$R_{F3d,w}$		68,7			69,5		
	$R_{F4d,w}$		68,8			69,6		
Flanco 1	$R_{Df,w}$	$R_{f1}$	71,5	71,0	42	72,3	69,4	49
	$R_{Ff,w}$		80,7			72,5		
Flanco 2	$R_{Df,w}$	$R_{f2}$	71,5	71,0	42	72,3	69,4	49
	$R_{Ff,w}$		80,7			72,5		
Flanco 3	$R_{Df,w}$	$R_{f3}$	68,7	67,5	42	69,5	64,5	49
	$R_{Ff,w}$		73,8			66,2		
Flanco 4	$R_{Df,w}$	$R_{f4}$	60,6	59,5	42	61,4	56,5	49
	$R_{Ff,w}$		65,9			58,2		

Percebe-se que nos quatro primeiros sistemas modelados, os de blocos de concreto e cerâmico, houve dois fatores agindo como principais limitantes da  $D_{nT,w}$ : o  $R_d$  e o  $R_{f4}$ , sendo este último o flanco que possui o valor de  $R_w$  afetado pela existência de uma porta no ambiente receptor. Nota-se também que nos sistemas em *Drywall*, o principal fator limitante foi o  $R_{Dd}$ , mesmo que  $R_{f4}$  tenha apresentado valores consideravelmente abaixo de  $R_{f1}$ ,  $R_{f2}$  e  $R_{f3}$ .

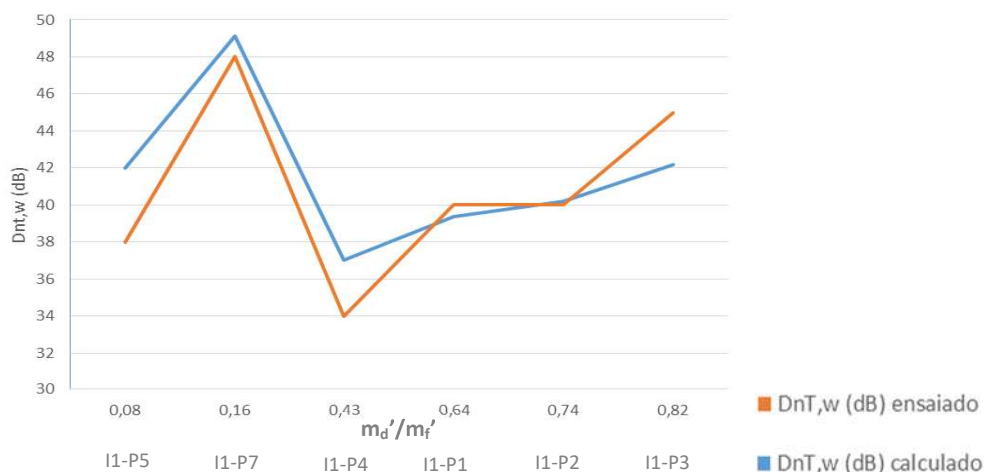
Os índices de redução sonora de flancos ( $R_{Ff,w}$ ,  $R_{Df,w}$  e  $R_{Fd,w}$ ) são influenciados prioritariamente por dois fatores: o Índice de Redução Sonora Ponderado  $R_w$  dos elementos do caminho de transmissão em questão (Ff, Df ou Fd); e o Índice de Redução de Vibração para Junções  $K_{ij}$ , que é calculado em função do fator M (equação 01) dos elementos do caminho de transmissão em questão.

Estas duas variáveis ( $R_w$  e  $K_{ij}$ ) sofrem influência da heterogeneidade de elementos no flanco, como pode ser observado na tabela 2 que apresenta os dados do flanco 4 do ambiente receptor. Este flanco heterogêneo possui um  $R_w$  global de 29 dB, devido a presença do elemento porta de madeira maciça com  $R_w = 21$  dB.

### 3.2 Correlação da diferença de valores obtido entre a $D_{nT,w}$ e a razão entre massas específicas superficiais do elemento separador e dos flancos

Nota-se também que a superestimação do cálculo da  $D_{nT,w}$  em relação ao ensaiado se fez presente nos sistemas que apresentavam pequenas massas superficiais quando comparadas às massas dos flancos. A figura 4 apresenta o gráfico das  $D_{nT,w}$  calculadas e ensaiadas em função da razão entre massa específica do elemento separados  $m_d'$  e a massa específica média dos flancos  $m_f'$ , que é aproximadamente 282 kg/m<sup>2</sup>:





**Figura 4:**  $D_{nT,w}$  (dB) x Razão A Entre  $m_d'$  do Elemento Separador e  $m_f'$  Médio dos Flancos.

Percebe-se que nos sistemas em que a razão é menor que 0,5; no caso, os sistemas em *Drywall*, e bloco cerâmico; obteve-se resultados da  $D_{nT,w}$  calculada superestimados em relação aos medidos. Por outro lado, os sistemas com valores mais próximos a um, como o bloco de concreto de 14 cm de espessura, mesmo material das alvenarias dos flancos, o resultados da  $D_{nT,w}$  calculada está a favor da segurança.

A tabela 2 mostra que a heterogeneidade não causa uma variação tão expressiva nos valores de  $m'$  do flanco enquanto conjunto. O mesmo flanco 4 teve seu  $R_w$  de conjunto altamente influenciado pela porta de madeira maciça, enquanto a variação de  $m'$  de conjunto foi de 232,7 para 227,9 kg/m<sup>2</sup>.

Entretanto, a influência matemática de  $m'$  na determinação da  $D_{nT,w}$  pela EN 12354-1 reside no Índices de Redução de Vibração para Junções,  $K_{ij}$ . Como citado anteriormente, este índice é calculado através do fator M, definido na equação 01, em função da relação das massas superficiais  $m_i'$  e  $m_{ii}'$  dos elementos no caminho em questão e não da massa  $m'$  individualmente.

Vale ressaltar que os dados entrada referentes aos elementos separadores, utilizados no desenvolvimento do cálculo, são dados genéricos do Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais (CBIC, 2013). A inexistência dos dados específicos dos fabricantes dos materiais utilizados também contribui para a incerteza dos resultados dos cálculos de  $D_{nT,w}$  pela EN 12354-1.

#### 4. CONCLUSÕES

Após a publicação da NBR 15.575, a construção civil brasileira deparou-se com a necessidade de utilização de métodos de previsão de desempenho acústico dos sistemas construtivos. Várias metodologias de cálculo consolidadas já são normatizadas e amplamente utilizadas em diferentes países. Todavia, para aplicá-las são necessários dados dos materiais que compõe os sistemas construtivos, informações raras quando relacionadas aos fabricantes brasileiros.

A partir de uma pequena amostragem de sistemas de parede e da utilização de dados genéricos de materiais construtivos, observou-se a diferença entre os valores  $D_{nT,w}$  obtidos em cálculo e ensaio. É fato que as características dos flancos, tais como  $R_w$  e massas específicas, influenciam

tanto quanto as características do elemento separador nos resultados obtidos através de método simplificado de cálculo da EN 12354-1. Entretanto, as relações observadas entre as diferentes características dos materiais e os resultados obtidos através do método e cálculo não podem se consideradas conclusivas.

Faz-se necessário aprofundar o estudo verificando o quanto a utilização de dados específicos dos materiais aplicados na obra pode reduzir as incertezas observadas. Além disso é necessário avaliar o grau de influência de cada fator no resultado do método de previsão e sua correlação com os valores obtidos em campo.

No entanto, conclui-se que a aplicação da metodologia simplificada da EN 12354-1, principalmente quando utilizados dados de entrada genéricos, deve ser acompanhada de um fator de segurança, conforme as informações de incerteza de cálculo apresentados pela própria norma. Ainda, recomenda-se que ensaios de campo sejam realizados, durante a execução da obra, a fim de verificar possíveis desvios de resultados.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4 Edifícios Habitacionais – Desempenho. Parte 4:** Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL (DRYWALL). **Desempenho Acústico em Sistemas Drywall.** São Paulo, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais.** Brasília, 2013.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **DIN EN 12354-1 – Building Acoustics – Estimation of Acoustic Performance of Building from the Performance of Elements. Part 1:** Airborne Sound Insulation Between Rooms. Brussels, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 140-4 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4:** Field measurements of airborne sound insulation between rooms. Genebra, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-2 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.** Geneva, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 717-1 Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2:** Airborne sound insulation. Geneva, 2013.

NETO, M. F. F. Bertoli; S. R. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal.** Universidade Estadual de Campinas, 2010.

SINDICATO DA INDÚSTRIA E CONSTRUÇÃO DO DISTRITO FEDERAL (SINDUSCON-DF); ASSOCIAÇÃO DE EMPRESAS DO MERCADO IMOBILIÁRIO DO DISTRITO FEDERAL (ADEMI-DF). **Avaliação do Desempenho Acústico de Edificações em Diferentes Sistemas Construtivos, conforme a Norma de Desempenho ABNT NBR 15575.** Brasília, 2015.