

RUÍDO DE IMPACTO EM LAJES: Análise comparativa entre desempenho de modelos computacionais e ensaios de campo

Luciano Nepomuceno Carvalho - lucianonecar@gmail.com
Acústica de Edificações e Ambiental
Poli Integra - USP
São Paulo/SP, 18/10/2015

INTRODUÇÃO

Desde julho de 2013, todos os projetos residenciais protocolados nos respectivos órgãos municipais devem seguir os critérios de desempenho descritos na ABNT NBR 15575. Estes critérios demandam um nível mínimo a ser atendido, sem excluir níveis intermediários e superiores, que também podem ser objetivados dependendo da qualidade e apelo do empreendimento. Dentro destes critérios, é necessário avaliar o desempenho dos sistemas construtivos e, dentre todos, o ruído de impacto em lajes é o critério que mais preocupa acústicos, incorporadores, construtores e, por conseguinte, o cliente final. Esta preocupação é resultado da dificuldade no atendimento deste índice normativo, pois ao longo dos anos na construção civil adquiriu-se uma cultura construtiva que não favorece o bom desempenho acústico de lajes ao ruído de impacto. Lajes extremamente esbeltas, com a mínima resistência possível e sem contrapiso são comumente encontradas nos projetos estruturais que, por solicitação de outras áreas, estão presentes pois barateiam o custo total da obra.

Quando uma obra está em andamento, é possível ensaiar o desempenho acústico destes sistemas, para verificação de atendimento à NBR 15575. Porém ao longo do tempo observou-se a necessidade de retorno à fase de projeto pois, com uma obra em andamento e com custos fechados, um sistema construtivo em desacordo com a norma representava um impacto significativo no orçamento das obras.

Portanto quando falamos em projeto acústico de edifícios, a existência de uma ou mais ferramentas de predição para os sistemas construtivos projetados se faz presente. A grande maioria das ferramentas de predição existentes no mercado são desenvolvidas fora do país, devido ao pouco ou nenhum interesse de pesquisa e desenvolvimento nesta subárea no Brasil.

Para os estudos realizados neste artigo, foram utilizados dois softwares. O primeiro visa a predição do desempenho acústico de laboratório ($L_{n,w}$) do sistema construtivo laje. O segundo software é responsável pelo modelo computacional como um todo. São inseridos como principais dados de entrada o volume dos ambientes, as tipologias de laje e paredes e seus respectivos índices de desempenho acústico. O modelo computacional apresentará, então, os resultados dos índices obtidos em campo simulados (situação do edifício construído). O cálculo do desempenho futuro em campo é feito conforme procedimento constante nas normas europeias EN 12354 e são os índices que devem ser levados em conta no projeto acústico, uma vez que a norma de desempenho brasileira NBR 15575 especifica que o desempenho dos sistemas construtivos deve ser avaliado na condição de entrega do imóvel ao cliente final.

Para que seja feita a análise comparativa, todos os ensaios em campo constantes neste relatório foram executados por laboratório especializado e precedidos de rigorosa assessoria técnica para preparação dos elementos e/ou sistemas a serem submetidos aos ensaios normalizados pelo padrão ISO 140-7.

METODOLOGIA

Procedimentos

Conforme mencionado, fora realizada uma análise entre os níveis de desempenho acústico ao ruído de impacto de sistemas de piso medidos em campo (situações reais) em comparação ao desempenho acústico ao ruído de impacto obtido através de modelos computacionais (situação simulada).

Inicialmente foram compilados os dados obtidos através das medições em campo e selecionadas 8 amostras (Tabela 1). A partir daí foram realizadas as simulações computacionais com as mesmas condições de volume e espessura de laje das amostras ensaiadas. É importante salientar que as simulações não foram feitas com intuito de obter o mesmo resultado das medições, pois este trabalho visa justamente salientar a diferença entre o desempenho medido e o desempenho simulado deste sistema construtivo.

Conjunto	Amostra	Descrição da Composição
A	1	Laje zero espessura 10cm
	2	Laje zero espessura 12cm
B	3	Laje esp.: 10cm + contrapiso esp.: 3cm
	4	Laje esp.: 10cm + contrapiso esp.: 5cm
	5	Laje esp.: 12cm + contrapiso esp.: 3cm
	6	Laje esp.: 12cm + contrapiso esp.: 5cm
C	7	Laje esp.: 10cm + contrapiso esp.: 5cm + manta soundsoft
	8	Laje esp.: 12cm + contrapiso esp.: 5cm + manta optima

Tabela 1 – Descrição das amostras e suas composições

O primeiro conjunto é constituído pelas amostras numeradas de 1 a 2 e é caracterizado pelas lajes sem contrapiso (laje zero). No segundo conjunto estão as amostras numeradas de 3 até 6 e caracteriza-se pelas lajes que possuem contrapiso. O último conjunto conta com as amostras 7 e 8 e representa lajes com contrapiso flutuante, ou seja, quando há adição de material elástico entre a laje e o contrapiso.

As medições foram executadas de acordo com o padrão da norma ISO 140-7, com máquina de impacto normalizada, situada em quatro posições diferentes, por amostra testada, medindo-se com sonômetro Classe 1 no recinto imediatamente abaixo do piso em teste (receptor) os níveis de pressão sonora de impacto padronizados em bandas de terços de oitava de frequências entre 100 Hz e 3.150 H, em diversas posições normalizadas de forma a obter os resultados totais médios.

Os modelos computacionais foram elaborados no software *SonArchitect*, da empresa espanhola *Sound of Numbers*, enquanto que os dados de entrada de desempenho acústico das lajes e paredes foram extraídos do software *Insul*, da neozelandesa *Marshall Day Acoustics*. Para estes modelos foram simulados os mesmos volumes de ambiente das amostras medidas em campo (Figura 1).

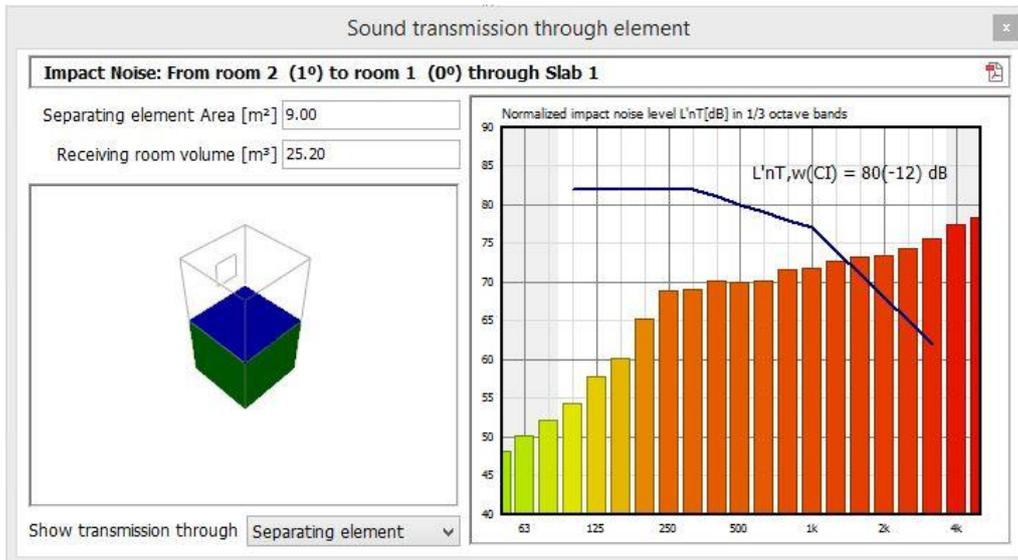


Figura 1 – Área dos ambientes simulados
Fonte: Acervo do autor

Para as vedações verticais, foram utilizadas paredes de bloco de concreto espessura 14cm (peso do bloco 10kg) revestidos com 1cm de gesso dos dois lados (Figura 2). A espessura das lajes varia de acordo com cada amostra.

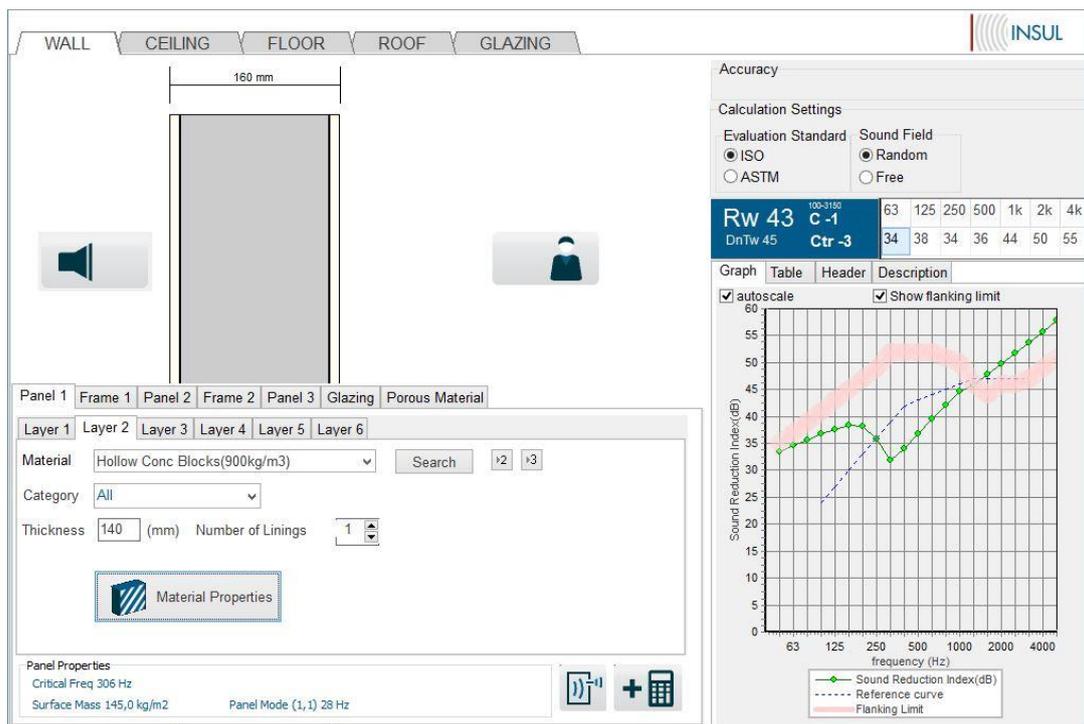


Figura 2 – Vedação utilizada nas simulações
Fonte: Acervo do autor

Local dos ensaios

Os ensaios foram realizados em obras situadas no município de São Paulo/SP, conforme representado na Figura 3.

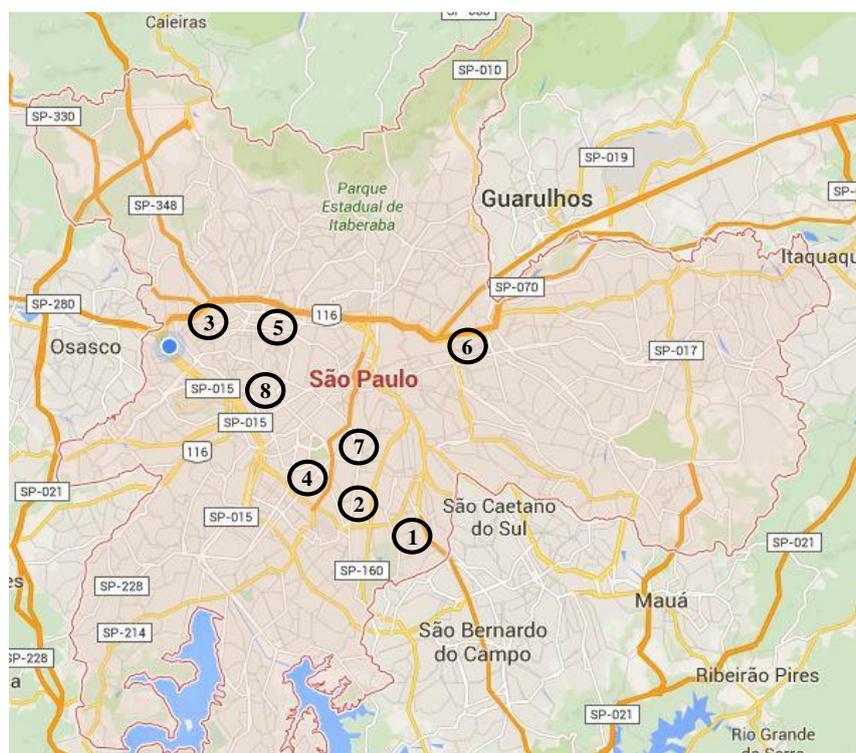


Figura 3 – Localização das amostras em São Paulo/SP

Fonte: Google Maps

Em sua grande maioria, os volumes das salas receptoras variam entre 20m³ e 30m³, volume aceitável para a maioria das situações de dormitórios entregues nos empreendimentos atualmente.

Equipamentos utilizados

Foram utilizados os seguintes equipamentos nestes ensaios:

- Máquina de Impacto modelo EM50, da marca Look Line (Figura 4);
- Sonômetro modelo *Blue Solo*, da marca 01 dB – Classe 1 (Figura 5);
- Calibrador modelo QC-10, da marca Quest Technologies – Classe 1 (Figura 6).



Figura 4 – Tapping Machine



Figura 5 – Sonômetro Blue Solo



Figura 6 – Calibrador QC-10 e Selo de calibração

APRESENTAÇÃO DOS ENSAIOS E SIMULAÇÕES

O presente estudo comparativo do desempenho acústico entre lajes simuladas, tem como referência inicial o desempenho acústico da laje nas medições em campo, razão pela qual este estudo foi feito.

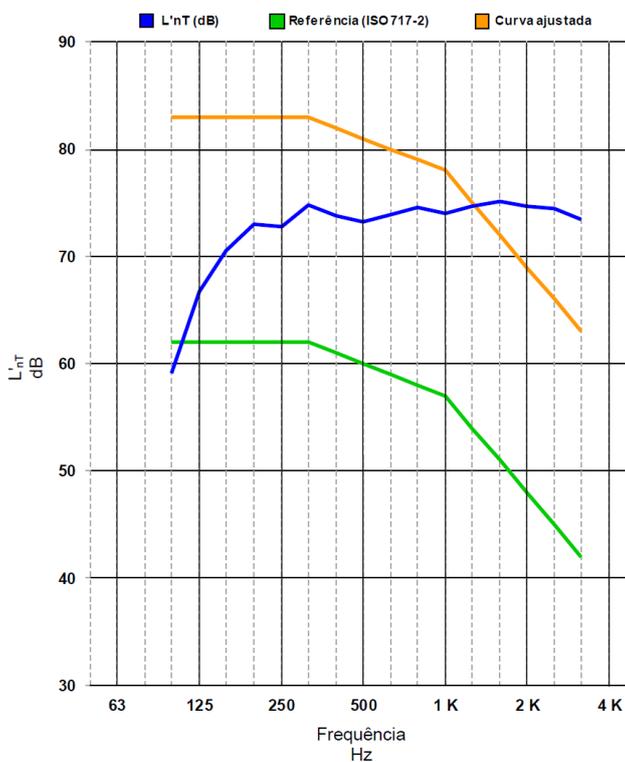
Conjunto A – Amostra 1

- **Ensaio de campo**

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 10cm.

Volume da sala receptora: 29m³.

Frequência Hz	L _{nT} dB
50	-
63	-
80	-
100	59,1
125	66,7
160	70,5
200	73,0
250	72,8
315	74,8
400	73,8
500	73,2
630	73,9
800	74,6
1000	74,0
1250	74,7
1600	75,1
2000	74,7
2500	74,4
3150	73,5
4000	-
5000	-

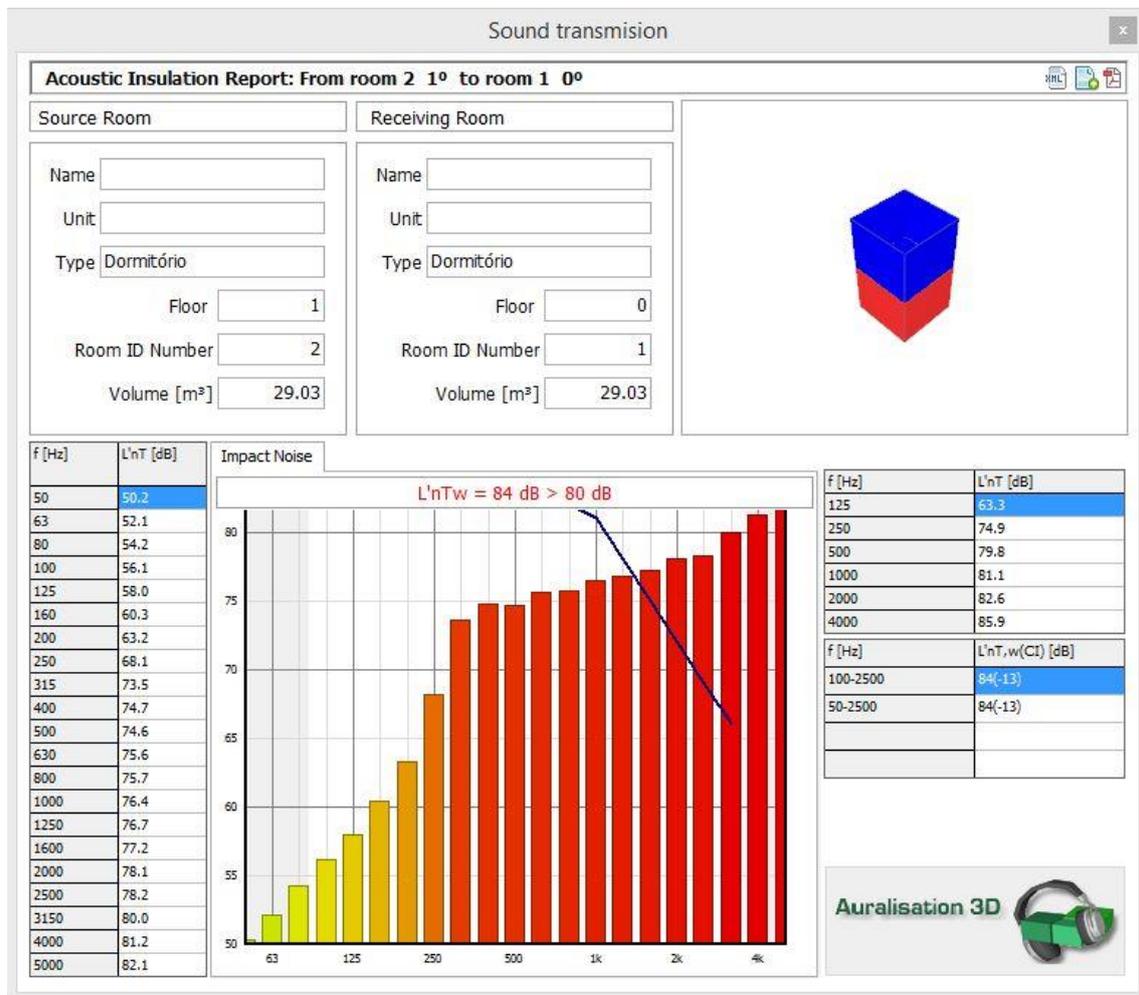


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$L'_{nT,w} = 81 \text{ dB}$

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 84 \text{ dB}$ (+ 3 dB diferença)

Conjunto A – Amostra 2

- **Ensaio de campo**

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 12cm.

Volume da sala receptora: 21,5m³.

Frequência f, (Hz)	L'nT (terço de oitava), dB
50	54,9
63	60,8
80	56,8
100	58,5
125	65,8
160	67,8
200	64,2
250	64,6
315	66,6
400	68,5
500	69,6
630	69,7
800	70,9
1000	70,8
1250	70,8
1600	71,0
2000	71,0
2500	70,7
3150	69,9
4000	68,9
5000	67,4

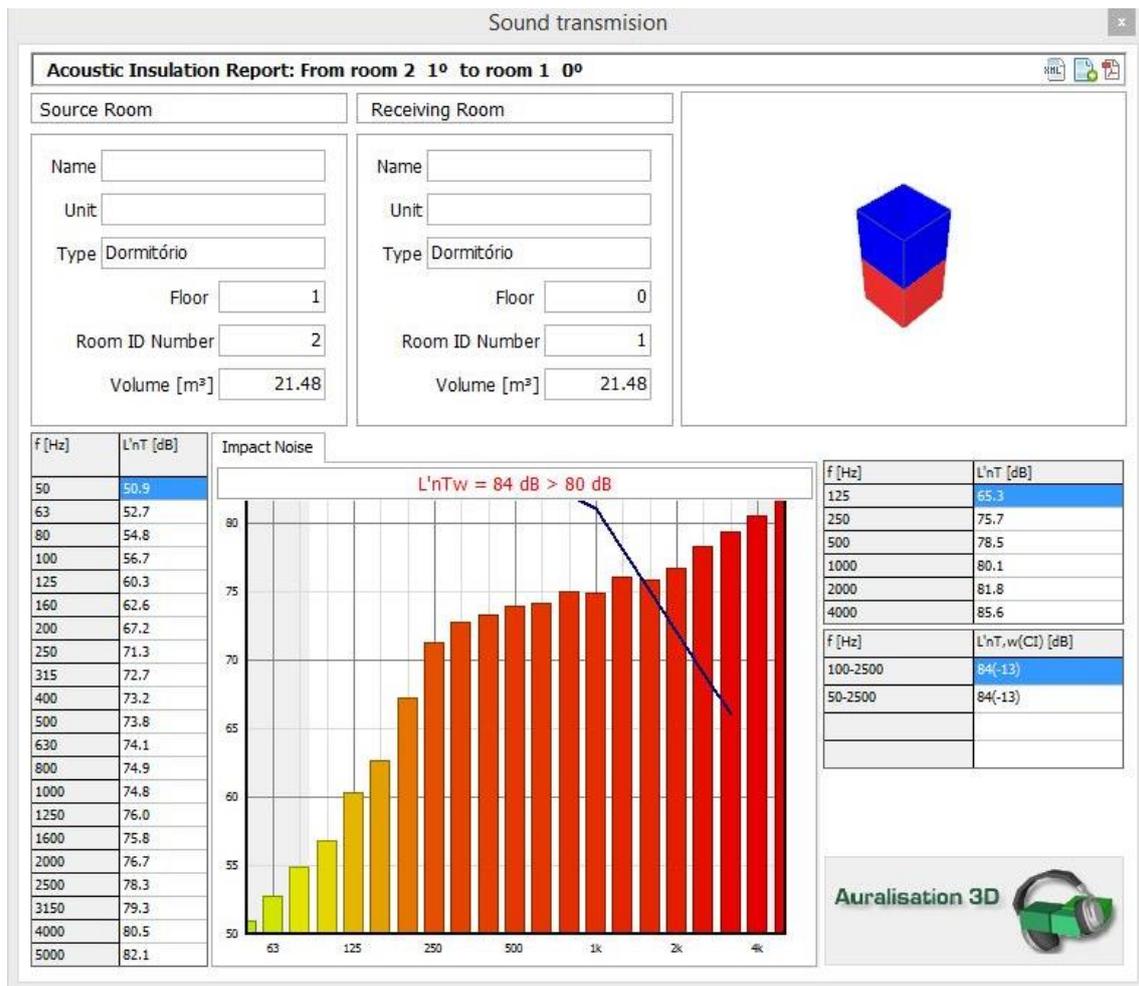


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$L'_{nT,w} = 77 \text{ dB}$

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 83 \text{ dB}$ (+ 6 dB diferença)

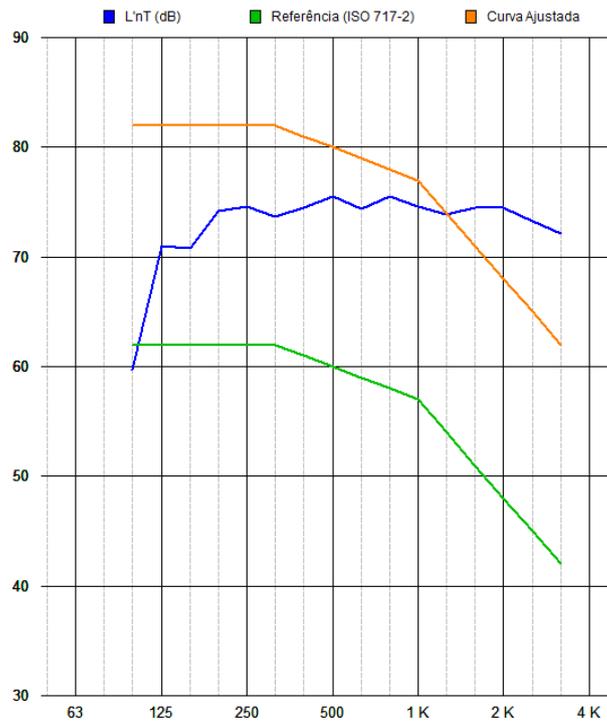
Conjunto B – Amostra 3

- **Ensaio de campo**

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 10cm e contrapiso de cimento e areia de 3cm de espessura, com reforço de fibra.

Volume da sala receptora: 21,9m³.

Frequência f, (Hz)	L'nT (terço de oitava), dB
50	.
63	.
80	.
100	59,7
125	71,0
160	70,8
200	74,2
250	74,6
315	73,7
400	74,5
500	75,5
630	74,4
800	75,5
1000	74,6
1250	73,9
1600	74,5
2000	74,5
2500	73,3
3150	72,1
4000	.
5000	.

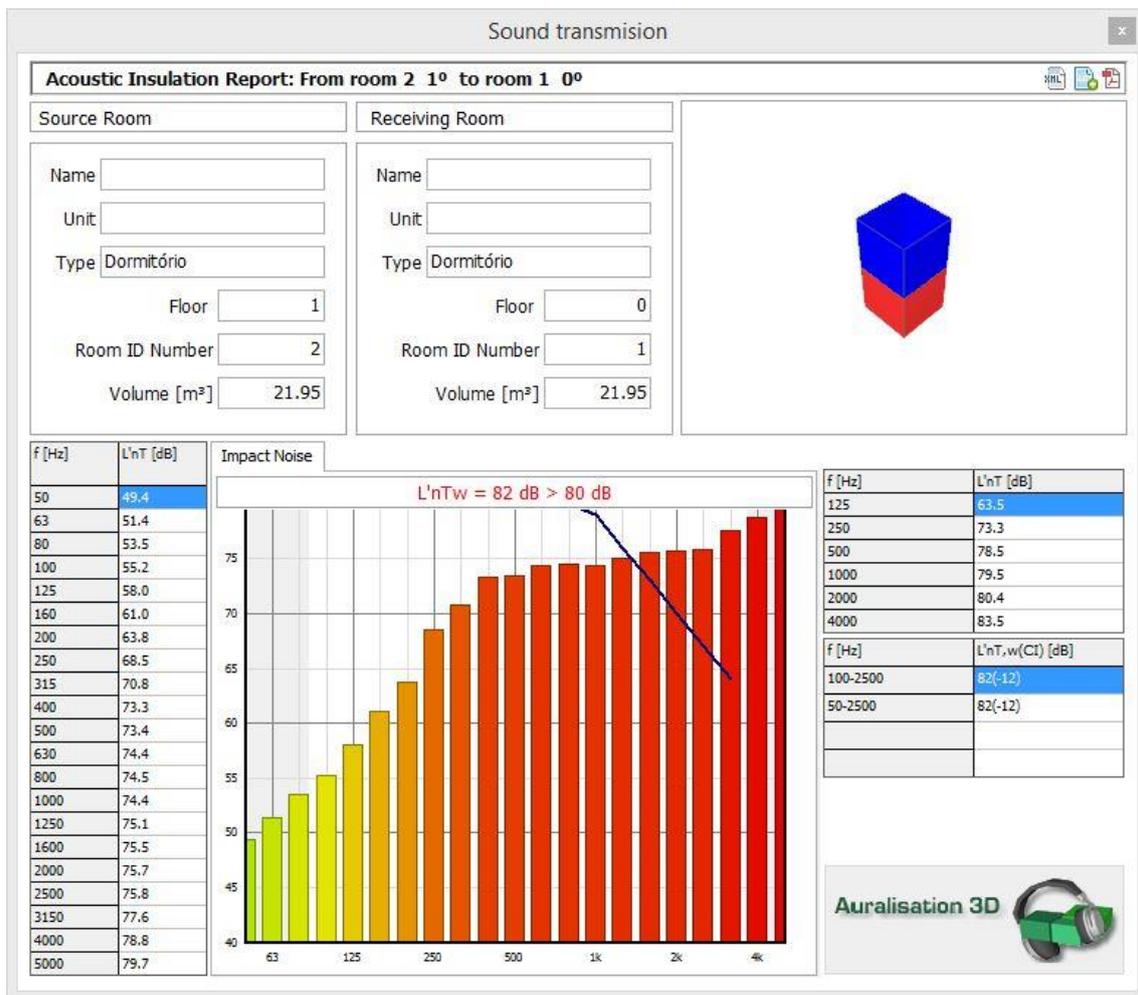


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$L'_{nT,w} = 80$ dB

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 82 \text{ dB}$ (+ 2 dB diferença)

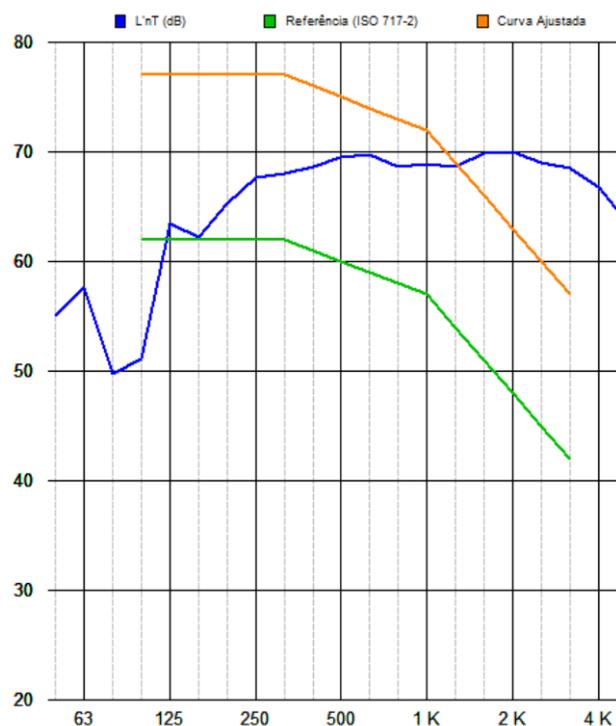
Conjunto B – Amostra 4

• Ensaio de campo

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 10cm e contrapiso de cimento e areia de 5cm de espessura.

Volume da sala receptora: 30m³.

Frequência f, (Hz)	L'nT (terço de oitava), dB
50	55,0
63	57,6
80	49,7
100	51,1
125	63,5
160	62,2
200	65,3
250	67,6
315	68,0
400	68,6
500	69,5
630	69,8
800	68,7
1000	68,9
1250	68,7
1600	69,9
2000	70,0
2500	69,0
3150	68,5
4000	66,8
5000	63,6

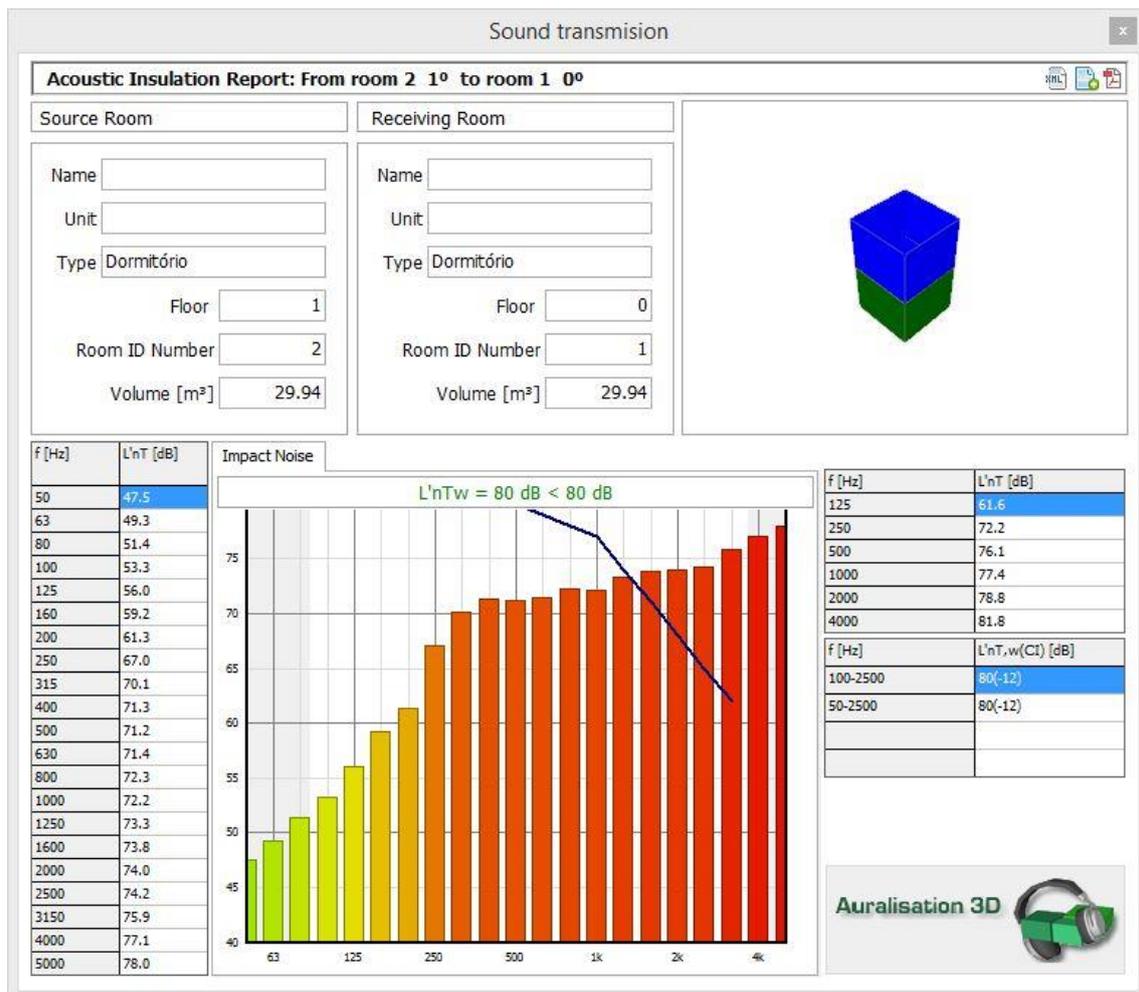


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$L'_{nT,w} = 75 \text{ dB}$

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 80 \text{ dB}$ (+ 5 dB diferença)

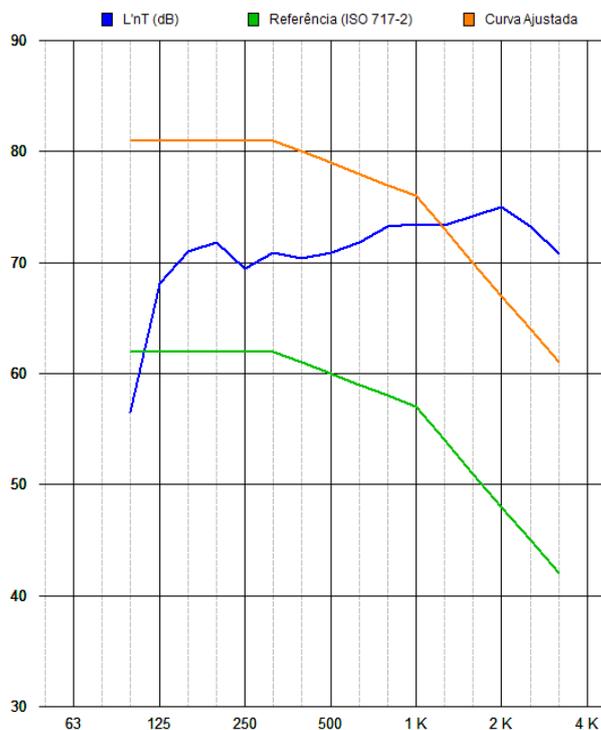
Conjunto B – Amostra 5

• Ensaio de campo

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 12cm e contrapiso de cimento e areia de 3cm de espessura, com reforço de fibra.

Volume da sala receptora: 22m³.

Frequência f, (Hz)	L'nT (terço de oitava), dB
50	.
63	.
80	.
100	56,5
125	68,1
160	71,0
200	71,8
250	69,5
315	70,9
400	70,4
500	70,9
630	71,8
800	73,3
1000	73,5
1250	73,4
1600	74,2
2000	75,0
2500	73,3
3150	70,8
4000	.
5000	.

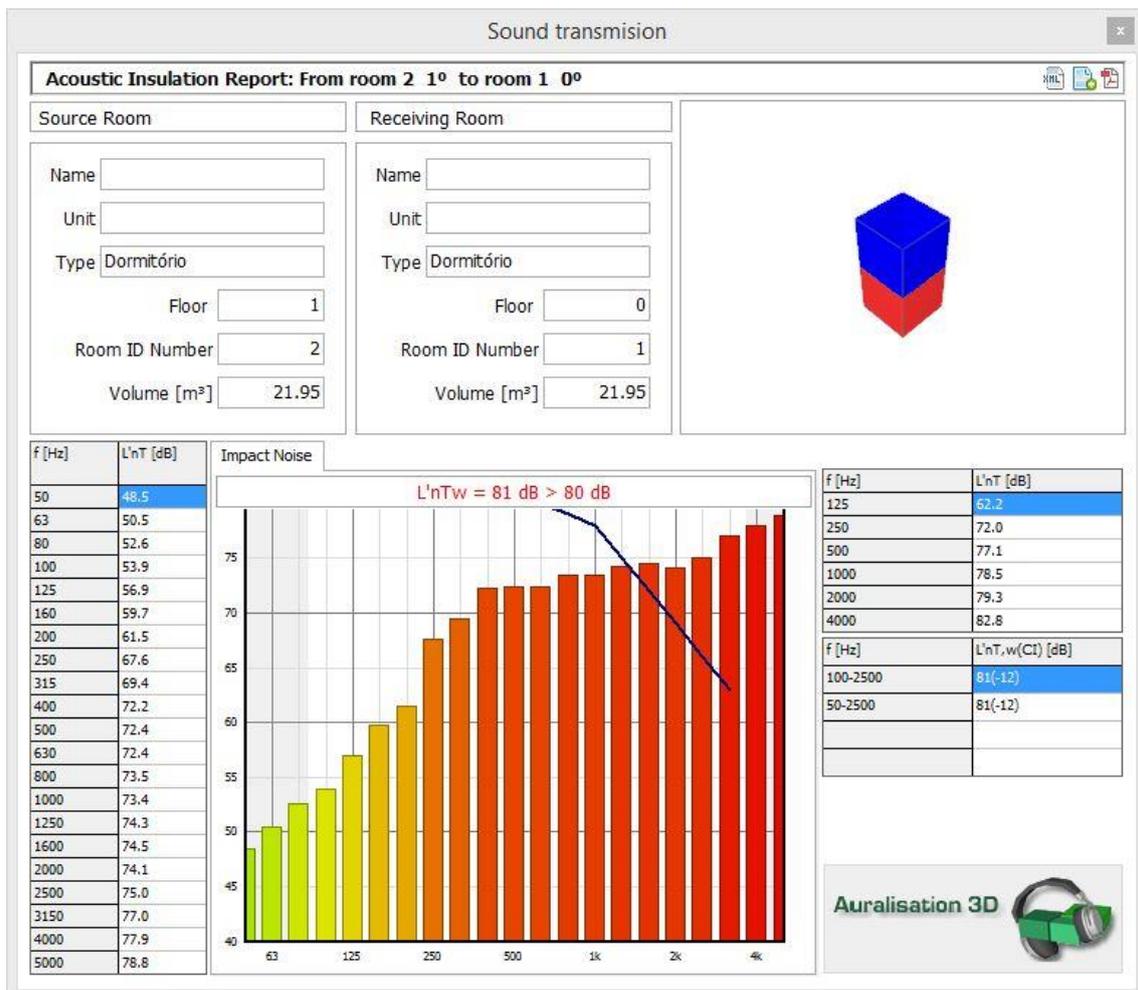


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$L'_{nT,w} = 75 \text{ dB}$

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 81 \text{ dB}$ (+ 6 dB diferença)

Conjunto B – Amostra 6

• Ensaio de campo

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 12cm e contrapiso de cimento e areia de 5cm de espessura.

Volume da sala receptora: 46m³.

Frequência Hz	L' _{nT} dB
50	.
63	.
80	.
100	59,0
125	60,6
160	67,6
200	68,9
250	66,8
315	67,3
400	69,1
500	69,4
630	69,7
800	70,8
1000	72,1
1250	73,0
1600	76,2
2000	73,1
2500	72,9
3150	71,1
4000	.
5000	.

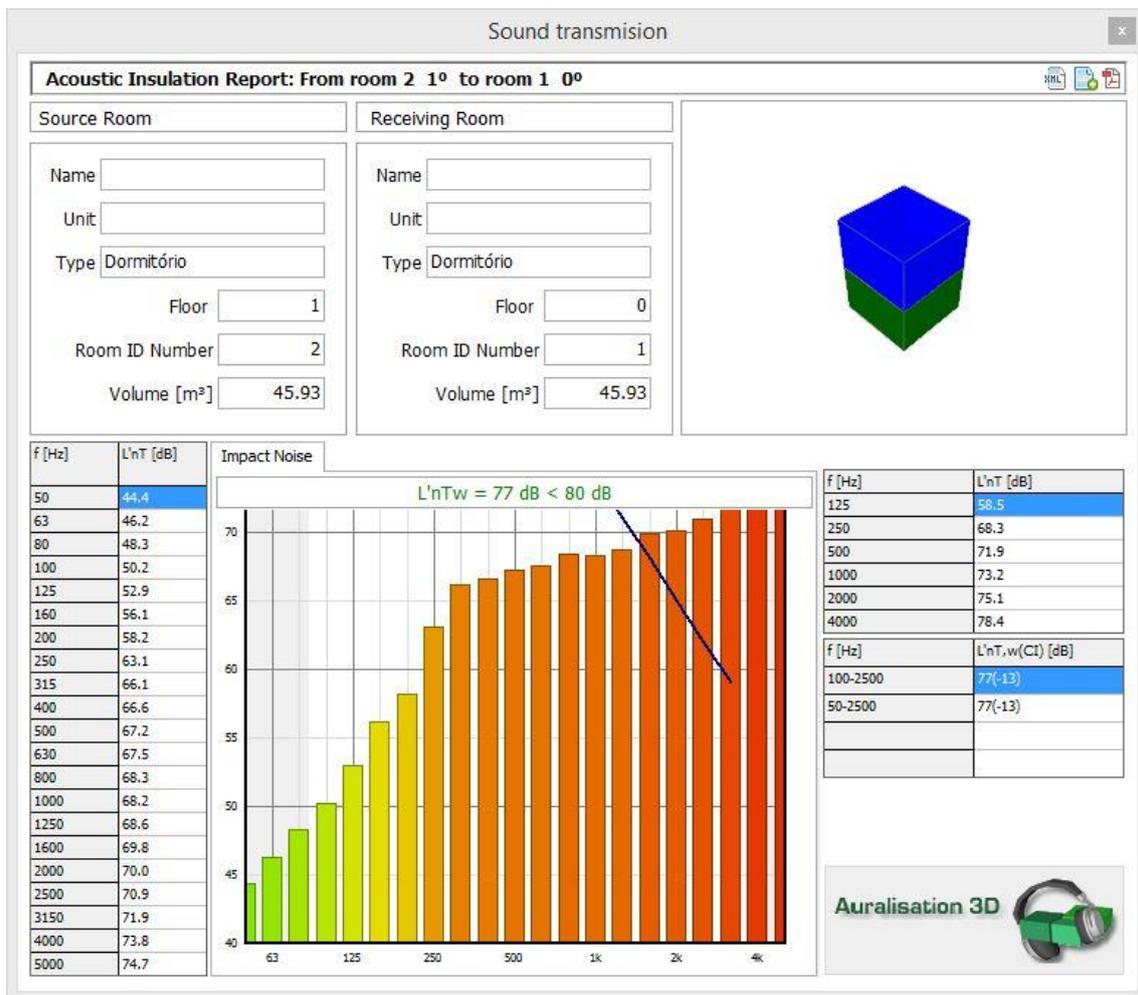


Classificação de acordo com ISO 717-2:

L'_{nT,w} = 79 dB

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 77 \text{ dB}$ (+ 2 dB diferença)

Conjunto C – Amostra 7

• Ensaio de campo

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 10cm e contrapiso de cimento e areia de 5cm de espessura + manta acústica Soundsoft da Aubicon esp.= 5mm aplicada entre laje e contrapiso.

Volume da sala receptora: 24m³.

Frequência Hz	L' _{nT} dB
50	.
63	.
80	.
100	61,2
125	61,5
160	64,3
200	64,2
250	63,0
315	61,7
400	61,4
500	61,7
630	61,4
800	60,6
1000	63,3
1250	62,2
1600	62,4
2000	61,4
2500	58,9
3150	55,6
4000	.
5000	.

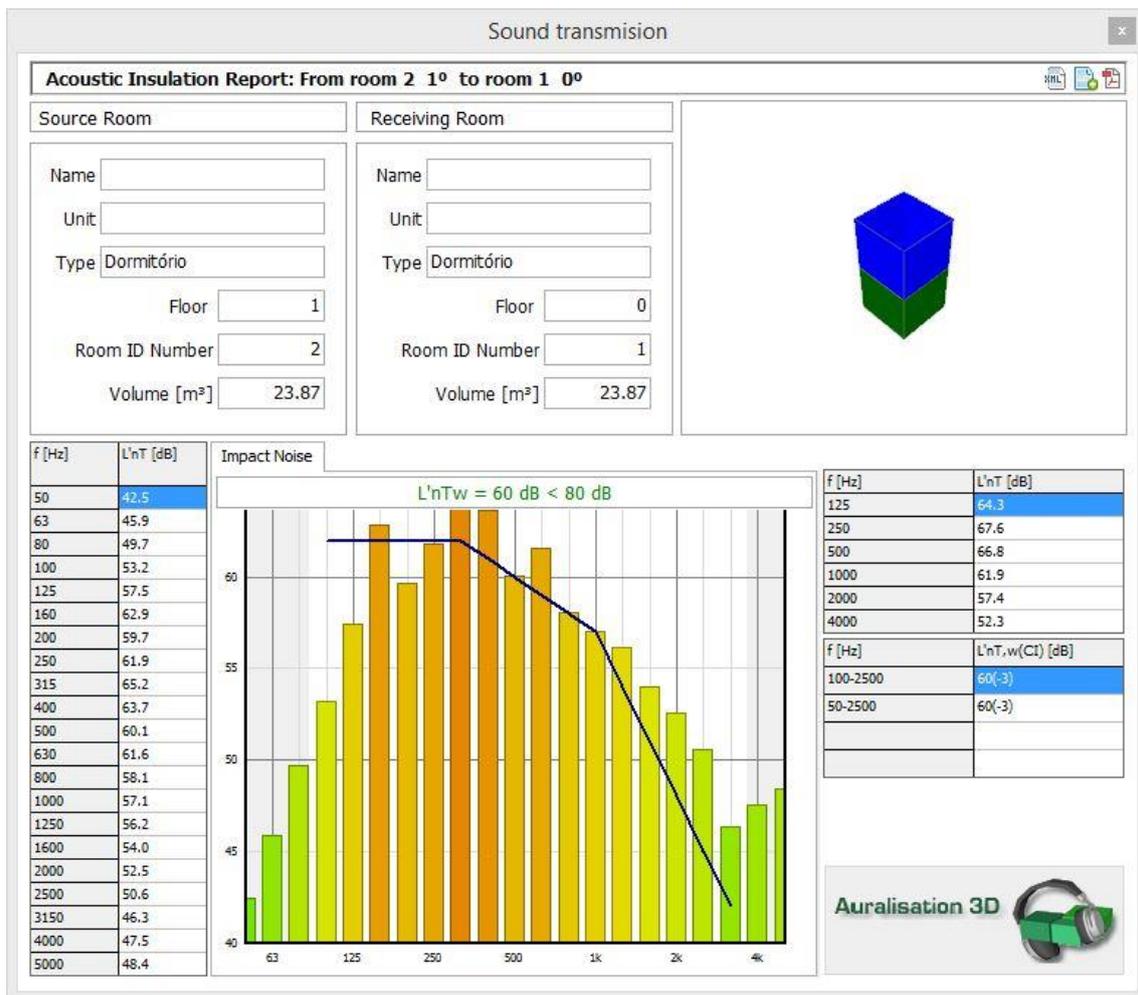


Classificação de acordo com ISO 717-2:

L'_{nT,w} = 66 dB

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- Simulação computacional



Auralisation 3D 

Classificação de acordo com simulação:

$L'_{nT,w} = 60 \text{ dB}$ (- 6 dB diferença)

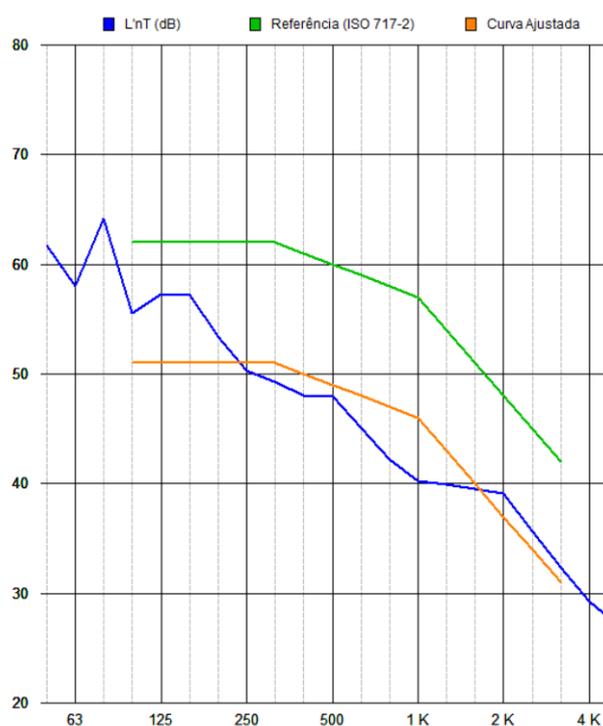
Conjunto C – Amostra 8

• Ensaio de campo

Descrição da amostra: Laje de concreto armado, esp.= 12cm e contrapiso de cimento e areia de 5cm de espessura + manta acústica Optima Piso da Isover esp.=15mm aplicada entre laje e contrapiso.

Volume da sala receptora: 21,5m³.

Frequência f, (Hz)	L'nT (terço de oitava), dB
50	61,7
63	58,0
80	64,2
100	55,5
125	57,3
160	57,2
200	53,4
250	50,3
315	49,3
400	48,0
500	47,9
630	45,1
800	42,2
1000	40,2
1250	39,9
1600	39,5
2000	39,1
2500	35,6
3150	32,3
4000	29,2
5000	27,1

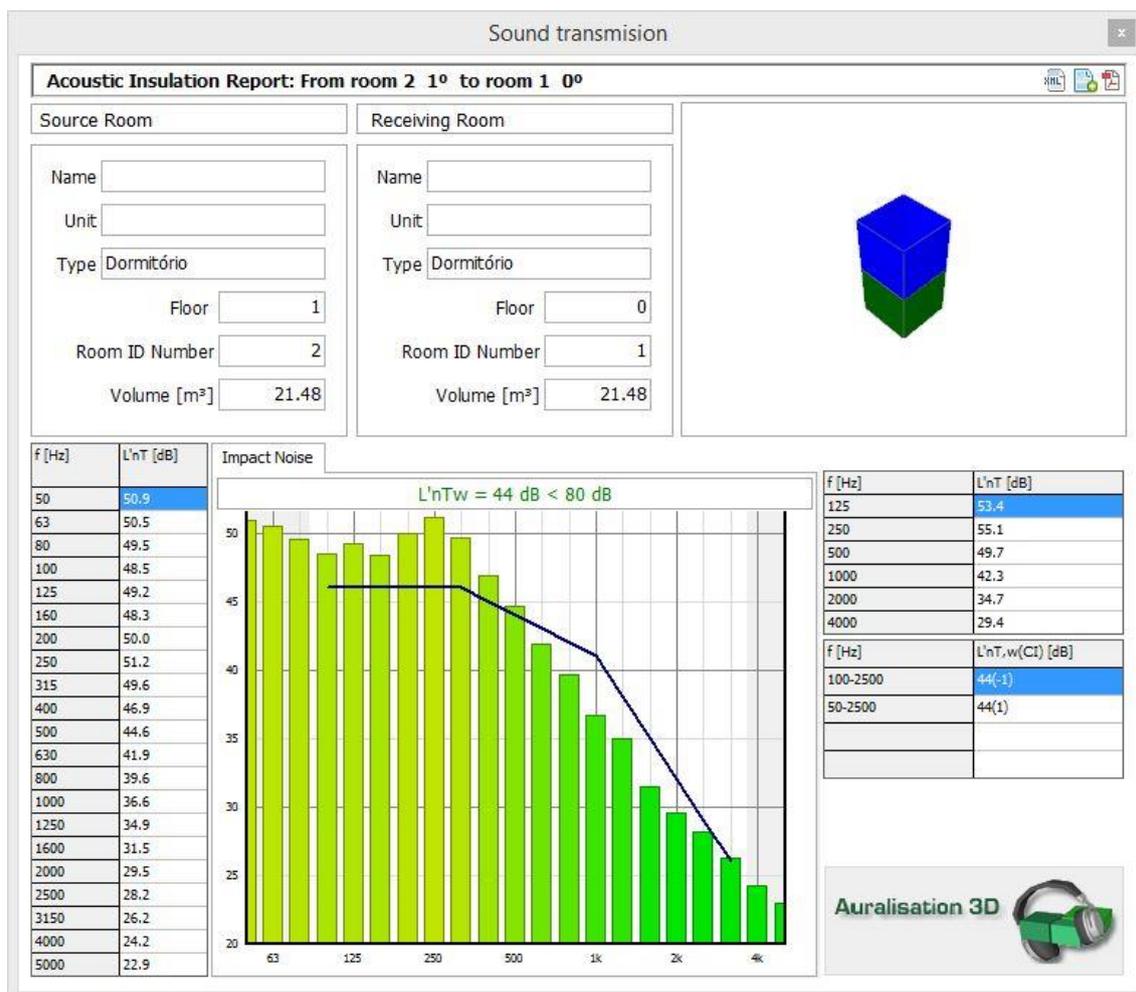


Classificação de acordo com ISO 717-2:

$$L'_{nT,w} = 49 \text{ dB}$$

Avaliação baseada nos resultados de medições de campo obtidas em bandas de terço de oitava pelo método de engenharia.

- **Simulação computacional**



Classificação de acordo com simulação:

$$L'_{nT,w} = 44 \text{ dB } (-6 \text{ dB diferença})$$

Obs.: Os dados de desempenho acústico das mantas acústicas (ΔL_w) foram fornecidos pelos fabricantes, em laudos técnicos realizados em laboratórios brasileiros acreditados.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

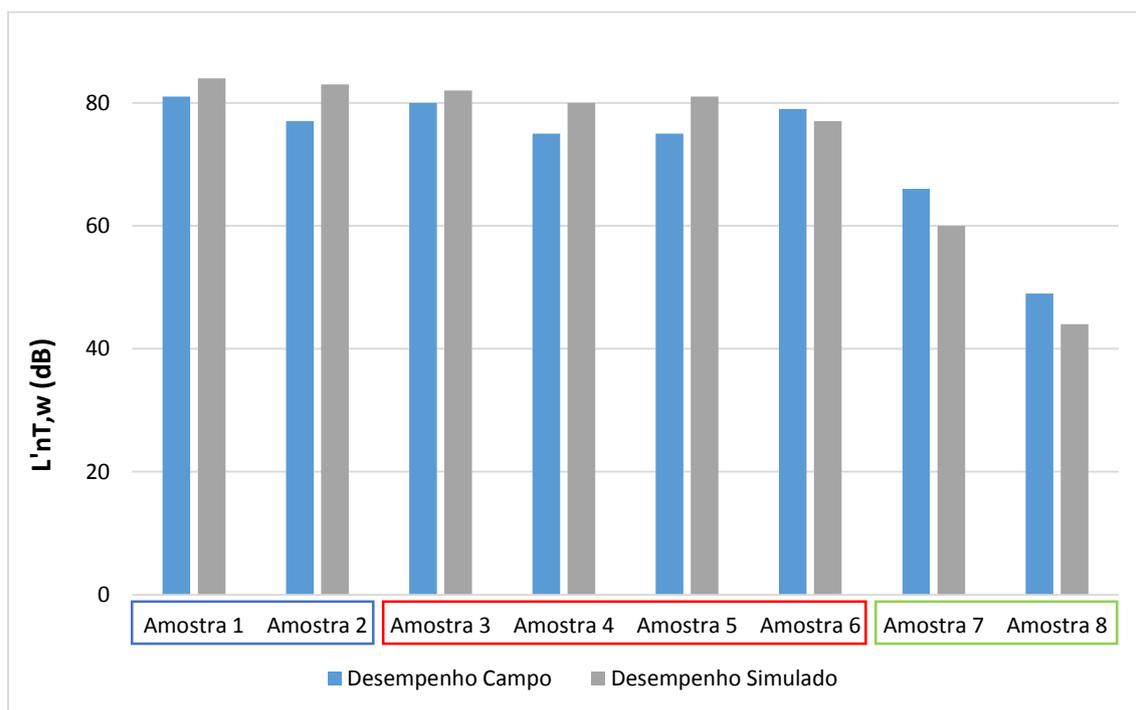


Figura 7 – Gráfico dos $L'_{nT,w}$ ensaiados em campo e simulados em software

Pela análise do gráfico de níveis de ruído de impacto ensaiados em campo e simulados em software, podemos constatar uma melhoria do desempenho ao ruído de impacto conforme contrapisos ou mantas são integrados ao sistema de laje. Também é possível notar uma linearidade nos resultados de predição, mesmo quando a diferença em relação ao resultado obtido em campo chega a 6 dB (Amostra 5), por exemplo. Isso ocorre porque uma simulação leva em consideração um modelo perfeito, onde não haja falha nas junções estruturais do edifício, onde as massas e densidades dos elementos construtivos sejam sempre iguais aos valores inseridos como dado de entrada nos softwares, dentre várias situações que não podemos garantir situações que não ocorrem em uma obra.

No caso do Conjunto A, que compreende as Amostras 1 e 2, notamos que a simulação nos dá níveis muito próximos, enquanto que quando ensaiados em campo, a diferença entre os níveis foi maior.

Para o Conjunto B, encontram-se as Amostras 3 a 6. Podemos notar uma diferença maior entre os valores ensaiados e simulados, principalmente nas Amostras 4 e 5 onde, coincidentemente, os sistemas de laje das duas amostras totalizam 15cm de espessura (laje + contrapiso). Apesar da diferença de volume entre as amostras, esta diferença pode representar a necessidade de revisão nos dados de entrada durante a fase de simulação dos materiais, uma vez que o nível de isolamento ao ruído de impacto está sendo superior ao medido em situações reais. Outro questionamento que deve ser feito é o porquê de os resultados em campo estarem piores entre as Amostras 5 e 6, sendo que a espessura do contrapiso foi aumentada. Se olharmos para os valores simulados destas amostras, continuaremos a notar que a melhora no isolamento é pequena, mas existe, validando o estudo.

O Conjunto C talvez possua as amostras mais interessantes ensaiadas/simuladas. De maneira geral, o que se constatou foi que as simulações têm uma leve tendência a aumentar (piorar) o $L'_{nT,w}$ resultante, porém nestas amostras os índices simulados foram inferiores aos obtidos em campo. Este questionamento pode ser respondido, mais uma vez, pela justificativa construtiva. O software entende que, em situações construtivas perfeitas, o valor será o obtido. Porém, principalmente quando se trata de mantas acústicas, temos muitos problemas com a nossa mão de obra pois a falta de pessoal especializado na construção civil brasileira impede a garantia de níveis de isolamento ótimos destes produtos, acarretando em resultados muito aquém do ideal quando ensaiados em campo.

Os métodos de predição eletrônicos apesar de atuais em nosso país devido à NBR 15575, são largamente utilizados em países onde o estudo da acústica é amplamente difundido. Este estudo comparativo desenvolvido embasará outros trabalhos nesta área que mais insatisfação provoca entre os usuários de imóveis residenciais coletivos, além de prosseguir com a discussão sobre a confiabilidade e validade dos resultados obtidos pelas simulações eletrônicas, de modo a buscar a melhoria contínua de métodos e procedimentos utilizados atualmente.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais**. 2013.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 140-7 – Acoustics – Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 7: Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors**. 1998.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 717-2 – Acoustics – Rating of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements – Part 2: Impact Sound Insulation**. 1996.

EN – European Standard. **EN 12354 – Building Acoustics – Estimations of Acoustic Performance of Elements – Part 2: Impact Sound Insulation Between Rooms**. 2000.