

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Cidades Sustentáveis e Inteligentes

**FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PISOS COM
DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DE DESEMPENHO ACÚSTICO**

**TOOL FOR ANALYSIS OF THE ECONOMIC FEASIBILITY OF FLOORING SYSTEMS WITH
DIFFERENT ACOUSTIC PERFORMANCE CLASSIFICATIONS**

Gabriela Meller, Willian Magalhães De Lourenço, Elaise Gabriel, Dinara Xavier Da Paixão e Giane De
Campos Grigoletti

RESUMO

As mudanças constantes na arquitetura das edificações brasileiras podem afetar positivamente ou negativamente o desempenho acústico das edificações, na qual os construtores buscam reduzir custos e otimizar a aplicação de recursos financeiros. Diante de que o ruído pode afetar a venda do imóvel e a satisfação do usuário, foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo do custo de construção de sistemas de pisos, para servir de subsídio na escolha dos sistemas que apresentam melhor custo-benefício para empresas de engenharia, setor imobiliário e usuários.

Palavras-Chave: isolamento sonoro; desempenho acústico; orçamento

ABSTRACT

Para auxiliar o projetista na elaboração de projetos adequados e com melhor custo-benefício, ferramentas podem ser utilizadas. Essas podem ser aplicadas para análises quantitativas e objetivas do custo e desempenho acústico de materiais e sistemas construtivos a serem empregados, verificando se os valores se enquadram nos requeridos pelo projetista e pela legislação vigente. Este trabalho tem o objetivo de elaborar uma ferramenta de análise de viabilidade econômica de sistemas de pisos com diferentes classificações de desempenho acústico e apresentar o seu funcionamento e aplicabilidades.

Keywords: sound insulation, acoustic performance, budget.

FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS DE PISOS COM DIFERENTES CLASSIFICAÇÕES DE DESEMPENHO ACÚSTICO

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida das pessoas está diretamente ligada ao ambiente em que se vive. Assim, o conforto acústico em edificações é um fator crucial na análise do ambiente construído, sendo essencial que os níveis sonoros em cada ambiente estejam adequados à sua finalidade e uso. O aumento dos ruídos urbanos devido ao crescimento das cidades tem gerado efeitos cada vez mais prejudiciais à saúde humana (THEMANN; MASTERSON, 2019; YUAN *et al.*, 2019). Além disso, a arquitetura das edificações brasileiras tem passado por constantes modificações em técnicas construtivas e materiais empregados, que afetam diretamente o conforto ambiental (PARK; LEE; JEONG, 2018). É importante salientar que as mudanças realizadas podem tanto beneficiar como prejudicar a experiência do usuário no empreendimento.

Portanto, para se garantir um desempenho eficiente, é de extrema importância ter conhecimento dos parâmetros de desempenho acústico e os critérios exigidos pelas normas técnicas, como a norma brasileira de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2021a; ABNT, 2021b; ABNT, 2021c; ABNT, 2021d; ABNT, 2021e; ABNT, 2021f). Essa norma estabelece os critérios mínimos para avaliações de desempenho acústico em residências, levando em consideração, não só o condicionamento acústico do ambiente, mas também, o controle de ruído e a preservação da qualidade ambiental.

Denota-se que a moradia se tornou um produto comercializável e os construtores podem procurar reduzir os custos e otimizar o uso dos recursos financeiros. Isso pode ser possível ao concentrar os investimentos em atributos valorizados pelo público-alvo. O ruído, sendo um dos fatores que podem interferir na venda do imóvel e, conseqüentemente, na satisfação ou insatisfação do usuário é um dos itens que deve ser considerado (FERNÁNDEZ, 2006).

Para realizar orçamentos precisos é necessário observar que o valor final do elemento construtivo orçado deve considerar o custo unitário, valor do frete de cada insumo até a obra (custos diretos), encargos sociais referentes à mão-de-obra (custos indiretos) e os benefícios e despesas indiretas (BDI) (TISAKA, 2006). Assim, ao analisar o custo final de acordo com o tipo de sistema estrutural de vedação horizontal, por exemplo, esta escolha afetará diretamente no custo do empreendimento, pois cada estrutura irá demandar diferentes quantidades de materiais, mão-de-obra, horas de serviços e equipamentos.

Denota-se que embora o orçamento detalhado seja preciso, algumas empresas podem necessitar financiar o custo da obra, o que pode ocasionar em juros e, conseqüentemente, aumento do custo final (SILVA *et al.*, 2015; MATTOS, 2010). Para orçar com maior precisão e rapidez, há diversos programas de orçamentação disponíveis no mercado, como: OrçaFascio, Orse, Comp90, Arquimedes, SeObra, Volare, Sienge, EngWhere, Magma 8, Tron-Orc, entre outros.

Os coeficientes e valores unitários dos insumos utilizados nos softwares de orçamentação podem provir de um banco de dados próprio ou de tabelas de composições orçamentárias como: SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), TCPO (Tabela de Composições e Preços para Orçamentos), SBC (Stablin: Sistemas e Consultorias de Custos), ORSE (Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe), CPOS (Companhia Paulista de Obras e Serviços), FDE (Fundação para o Desenvolvimento da Educação), SETOP (Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas), entre outros, sendo o ORSE também utilizado para fins de financiamento da Caixa Econômica Federal quando não há a composição orçamentária discriminada pelo SINAPI.

Para auxiliar o projetista na elaboração de projetos adequados e com melhor custo-benefício, ferramentas podem ser utilizadas. Essas podem ser aplicadas para análises

quantitativas e objetivas do custo e desempenho acústico de materiais e sistemas construtivos a serem empregados, verificando se os valores se enquadram nos requeridos pelo projetista e pela legislação vigente. Este trabalho tem o objetivo de elaborar uma ferramenta de análise de viabilidade econômica de sistemas de pisos com diferentes classificações de desempenho acústico e apresentar o seu funcionamento e aplicabilidades.

2 MÉTODO

A pesquisa se classifica como de natureza aplicada, com finalidade exploratória, apresentando uma abordagem quantitativa. Os procedimentos técnicos adotados são característicos de pesquisas bibliográficas e pesquisa de campo com a compilação de dados necessários para a realização da ferramenta para análise de custo. O trabalho está dividido em três etapas: compilação dos valores de transmissão sonora; orçamentação dos sistemas de pisos e; elaboração da planilha eletrônica para simulação da viabilidade econômica de sistemas de pisos com diferentes classificações de desempenho acústico.

2.1 COMPILAÇÃO DOS DESEMPENHOS ACÚSTICOS

Na primeira etapa, a fim de constituírem um banco de dados a ser utilizado na planilha, há a compilação dos valores de transmissão sonora de diferentes materiais que são componentes dos sistemas de pisos. Tais valores, determinados em ensaios de laboratório ou em campo, abrangem grande parte dos elementos construtivos utilizados no país, cujos valores foram verificados se estavam em conformidade com as exigências da NBR 15.575 (ABNT, 2021c) quanto ao ruído aéreo e de impacto. Os índices compilados foram: o nível sonoro aparente equivalente padronizado ponderado ($L'_{nT,w}$) e a diferença padronizada de nível ponderada ($D'_{nT,w}$) para diferentes sistemas de pisos.

As principais fontes de dados compilados para as lajes foram obtidas da literatura de Pedroso (2007) e da ISO 12354-2 (ISO, 2017). Já os valores de transmissão sonora dos pisos (com e sem piso flutuante na sua composição) foram retirados dos trabalhos de Brondani (1999), Nunes, Zini e Pagnussat (2014), Neubauer (2009), Pedroso (2007), Ferraz (2008) e Capraro (2011).

Destaca-se que os sistemas construtivos nacionais têm suas particularidades e, na maioria das vezes, os dados publicados em outros países, podem não condizer com a realidade brasileira. Em virtude disso, somente as informações compiladas de diferentes desempenhos de isolamento ao ruído realizadas no Brasil são utilizadas no banco de dados da ferramenta de análise de custo dos sistemas de pisos. Além disso, é importante destacar que para fins de comparação de desempenho acústico somente é possível comparar sistemas que tenham sido testados nos mesmos locais em virtude de terem a mesma condição de contorno.

Os dados dos bancos de dados da planilha servem como exemplos. Em virtude de que no Brasil há poucos ensaios realizados em laboratório, foram utilizados na ferramenta estudos de ensaios em campo, porém, aconselha-se a não utilizar valores em campo para realizar previsões de projeto. É aconselhável que o usuário adicione uma fonte de dados própria, mas seus valores podem ser utilizados como estimativas caso as condições de contorno sejam semelhantes. Assim, os dados inseridos na planilha servirão como banco de dados inicial para que o usuário realize simulações na ferramenta.

2.2 ORÇAMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE PISOS

A segunda etapa é composta da orçamentação dos custos dos sistemas de pisos que são utilizados na ferramenta. Para isso, buscou-se orçar os valores e situações mais próximos possíveis dos elementos compilado na pesquisa.

Tais dados foram obtidos com o uso do software Orçafascio, subsidiando todo o seu banco de dados para orçamento da ferramenta. Seu banco de dados são o SINAPI, ORSE, CPOS, FDE, SBC e SETOP. Para os casos no qual o banco de dados utilizado dos valores de preços unitários foi provindo de outros estados (SETOP, CPOS, FDE e ORSE), foi realizada a troca dos valores dos insumos para os do SINAPI do estado do Rio Grande do Sul (RS). Dessa forma, os coeficientes podem ser provindos de outros estados e os valores unitários são ajustados conforme o SINAPI-RS, fazendo com que este orçamento seja válido para fins de financiamento na Caixa Econômica Federal. Os valores unitários foram orçados em fevereiro de 2023.

2.3 ELABORAÇÃO DA PLANILHA ELETRÔNICA

Já a terceira parte do estudo se constitui na elaboração de uma planilha eletrônica, no software Microsoft Excel, para simulação do custo de construção de diferentes sistemas de piso atenuadores do ruído de impacto e aéreo, empregando elementos com maior ou menor isolação. Estes elementos também foram analisados quanto ao nível de desempenho acústico.

A planilha foi dividida por abas para uma maior facilidade de operação. Na primeira aba é analisado quanto ao ruído de impacto, em que o usuário poderá escolher entre três opções de análise (laje, laje com revestimento de piso e laje com piso flutuante), a qual está programada para apresentar seus respectivos valores de custo por metro quadrado, $L'_{nT,w}$, análise de atendimento e ao nível de desempenho acústico atingido quanto as exigências da NBR 15.575-3 (ABNT, 2021c).

A operação desta aba é feita por meio da definição da área dos sistemas de pisos a serem analisados. Após esta etapa, é realizada a escolha do tipo de sistema construtivo a ser orçado e analisado, como somente a laje (Orçamento 1), laje com aplicação de revestimento de piso (Orçamento 2) ou laje com piso flutuante (Orçamento 3). Nesse momento é apresentado ao usuário o índice ponderado correspondente ao material indicado, obtendo-se, na forma de gráfico, a verificação do atendimento da NBR 15.575 (ABNT, 2021c), informando o nível no qual se encontra (superior, intermediário ou mínimo). A quantificação do orçamento de cada tipo de simulação realizada é exibida em forma de gráfico de coluna para melhor visualização.

Em outra aba é possível realizar a mesma verificação quanto ao ruído aéreo ($D'_{nT,w}$) em que também é possível analisar, por exemplo, a influência da aplicação de forro de gesso, no qual o usuário irá realizar a inserção dos dados de forma similar à aba anterior.

Na terceira aba é possível comparar e verificar o custo, atendimento à norma e o desempenho de cada sistema construtivo analisado (laje com ou sem contrapiso, com ou sem material resiliente e com ou sem forro) de acordo com a NBR 15.575 (ABNT, 2021c). Este resumo, de até três tipos de sistemas de pisos, serve para facilitar a escolha do material com melhor custo-benefício quanto ao sistema construtivo analisado.

Nas abas seguintes estão os bancos de dados que o usuário poderá modificar ou inserir novos valores caso necessário. Também é possível modificar o valor dos insumos nos arquivos referentes a composição orçamentária de cada sistema de piso compilado. Porém, para não desconfigurar a ferramenta orçamentária, o usuário deve selecionar essa modificação realizada nos arquivos adicionais da respectiva composição e inseri-la no banco de dados da ferramenta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse trabalho foi criada uma planilha eletrônica de simulação do custo de construção de diversos sistemas de pisos que visam atenuar os ruídos aéreos e de impacto, empregando elementos com maior ou menor isolamento sonora. É importante evidenciar que a planilha realiza as comparações de sistemas de pisos entre pavimentos tipo (lajes de entrepiso), em virtude de que o sistema de cobertura com acesso ao público pode contemplar sistemas construtivos diferentes, como a aplicação de manta de impermeabilização, telhado verde, variação de carregamento (que poderia acarretar em uma laje mais espessa), entre outros fatores que influenciam diretamente no custo e desempenho do sistema.

A operação planilha inicia-se com a inserção da área total do sistema de piso a ser analisado nas abas “Orçamento - Ruído de Impacto” e “Orçamento - Ruído Aéreo” (Figura 1). É importante destacar que a área do sistema de piso só pode ser considerada para o custo, em virtude de que as dimensões e características da laje podem interferir na flexão da mesma e no comportamento acústico do ambiente.

Figura 1 - Exemplo de inserção de área na planilha

| SISTEMA DE PISO | |
|---|---|
| Inserção da área total do sistema de piso a ser analisado | |
| Área total: | <input type="text" value="4"/> m ² |

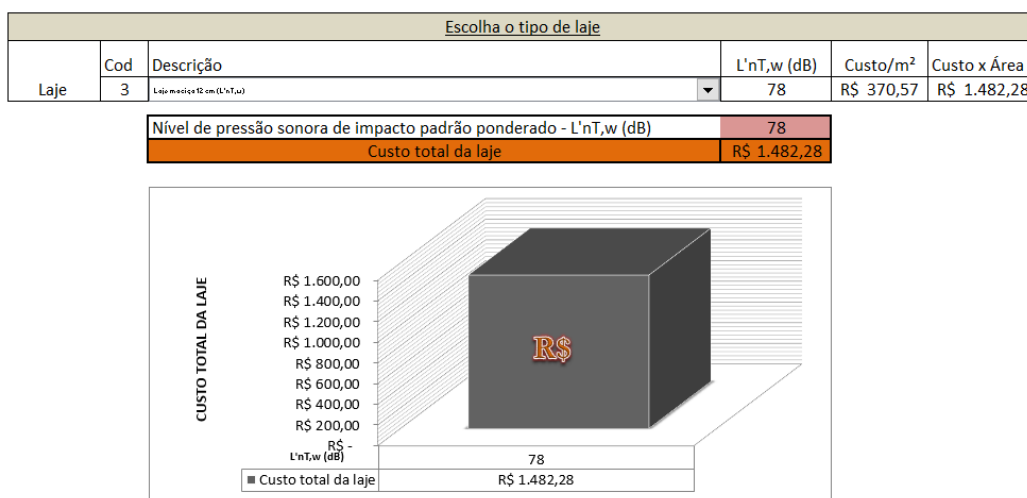
Fonte: autores.

3.1 ORÇAMENTO E ANÁLISE DE DESEMPNHO DO RUÍDO DE IMPACTO

Após a determinação da área total do elemento de divisão horizontal na aba “Orçamento – Ruído de Impacto”, é possível realizar três tipos de orçamentos: Orçamento 1 – refere-se a laje “bruta”; Orçamento 2 – apresenta o campo de escolha de sistemas de laje e revestimentos de piso e; Orçamento 3 – remete para sistemas de pisos com material resiliente (piso flutuante).

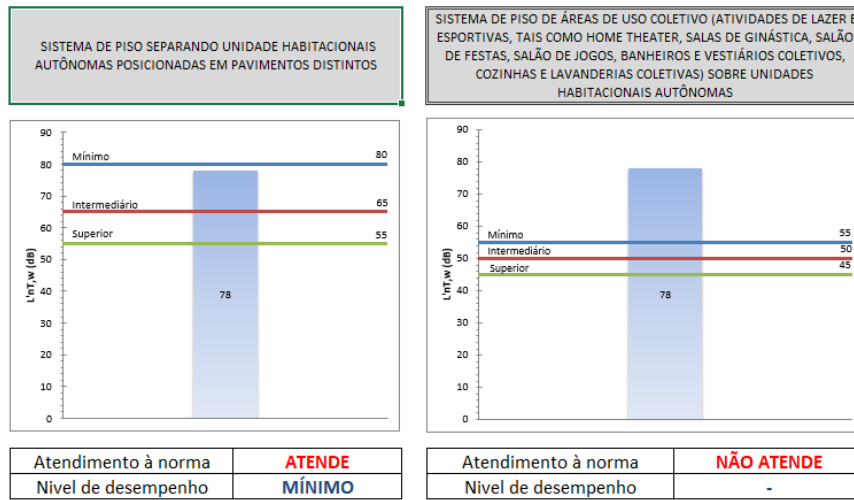
No Orçamento 1 (item 1.1 da aba), é possível escolher o sistema construtivo, analisar seu respectivo $L'_{nT,w}/L_{n,w}$, custo por metro quadrado, custo total na laje e desempenho quanto à norma. A Figura 2 exibe a visualização da escolha do tipo de sistema construtivo com o respectivo orçamento e $L'_{nT,w}$. A Figura 3 apresenta a verificação da classificação do sistema escolhido diante dos critérios da NBR 15.575-3 (ABNT, 2021c).

Figura 2 - Exemplo de Orçamento 1 (laje maciça de 12 cm) quanto ao ruído de impacto



Fonte: autores.

Figura 3 - Verificação da classificação do sistema escolhido diante dos critérios da NBR 15.575- 3



Fonte: autores.

Para a realização deste orçamento são apresentados campos para a escolha do tipo de laje a ser analisado conforme a lista já cadastrada nos bancos de dados da ferramenta. A partir disso, a planilha apresentará o $L'_{nT,w}/L_{n,w}$, custo por metro quadrado e o custo total do sistema escolhido em função da área desejada (Figura 4).

Figura 4 - Escolha do sistema, determinação do $L'_{nT,w}/L_{n,w}$, custo por metro quadrado e custo total.

| 1.1 RÚIDO DE IMPACTO EM SISTEMAS DE PISOS - ORÇAMENTO 1 | | | | | |
|---|-----|---|-------------|----------------------|--------------|
| Escolha o tipo de laje | | | | | |
| Laje | Cod | Descrição | L'nT,w (dB) | Custo/m ² | Custo x Área |
| | 1 | - | - | R\$ - | R\$ - |
| | | Laje maciça 10 cm + 20 mm de regularização (Ln,w) | - | | |
| | | Laje maciça 12 cm (Ln,w) | - | | |
| | | Insira a descrição da laje | R\$ - | | |
| | | Insira a descrição da laje | | | |
| | | Insira a descrição da laje | | | |
| | | Insira a descrição da laje | | | |

Fonte: autores.

Para melhor visualização, é exibido na ferramenta um quadro com o nível de pressão sonora de impacto padrão ponderado selecionado, o custo total da laje e um gráfico de coluna com o resumo dos mesmos. Na Figura 5 é apresentado um exemplo com a escolha da laje maciça de 12 cm de espessura com área total de 4 m².

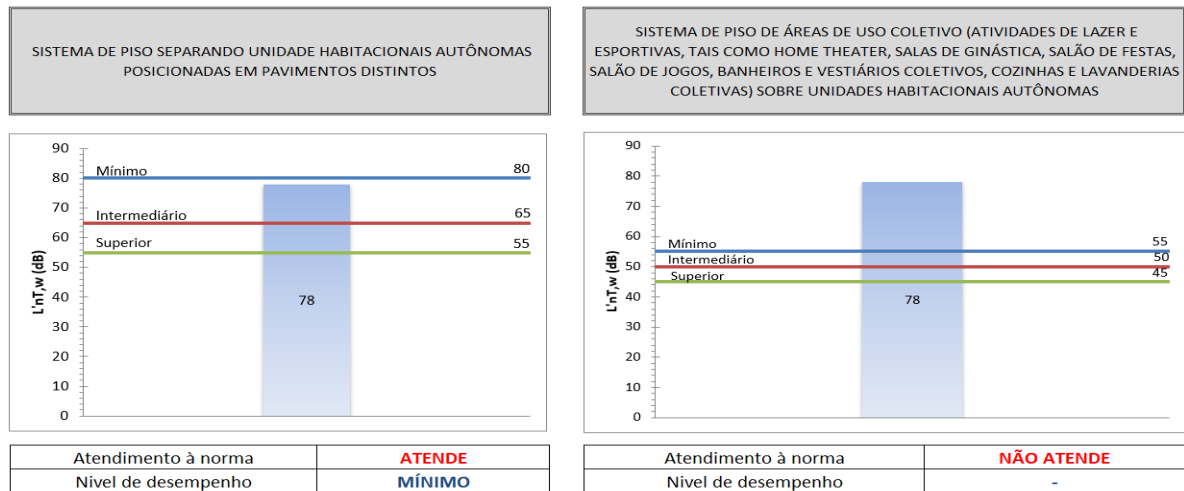
Juntamente com a escolha do sistema, a planilha efetuará a análise do desempenho do sistema escolhido conforme estabelecido pela NBR 15.575-3 (ABNT, 2021c), sendo apresentado em um gráfico de colunas mostrando o valor do $L'_{nT,w}$ obtido e a comparação com os valores determinados pela norma para este tipo de elemento. Observa-se que os valores de desempenho variam de acordo com a localização da laje pois podem separar unidades habitacionais autônomas ou sistema de piso em áreas de uso coletivo (Figura 6).

Figura 5 - $L'_{nT,w}$, custo total da laje e gráfico de coluna

| 1.1. RUÍDO DE IMPACTO EM SISTEMAS DE PISOS - ORÇAMENTO 1 | | | | | |
|--|-----|--|------------------|----------------------|--------------|
| Escolha o tipo de laje | | | | | |
| | Cod | Descrição | $L'_{nT,w}$ (dB) | Custo/m ² | Custo x Área |
| Laje | 1 | - | - | R\$ - | R\$ - |
| | | Laje maciça 10 cm + 20 mm de regularização (L,w) | - | | |
| | | Laje maciça 12 cm (L,w) | - | | |
| | | Inserir a descrição da laje | R\$ - | | |
| | | Inserir a descrição da laje | | | |
| | | Inserir a descrição da laje | | | |
| | | Inserir a descrição da laje | | | |

Fonte: autores.

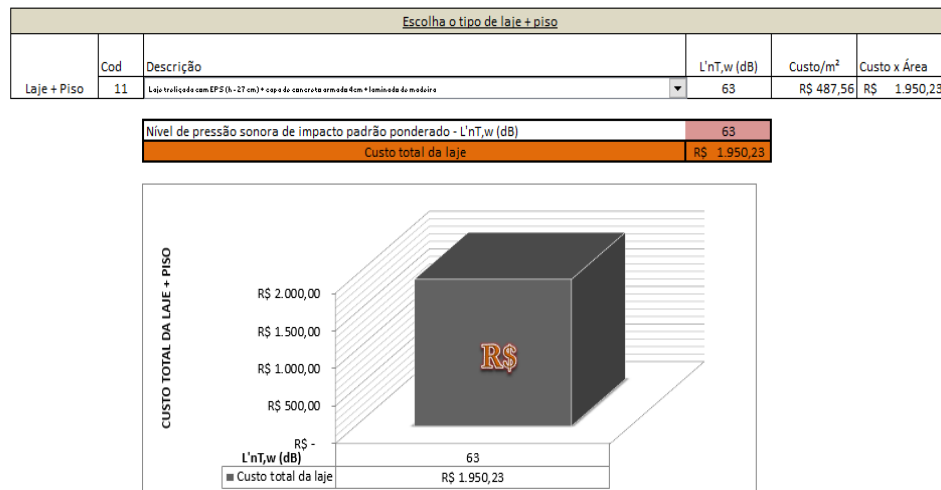
Figura 6 - Verificações quanto à norma de desempenho para laje maciça de 12 cm.



Fonte: autores.

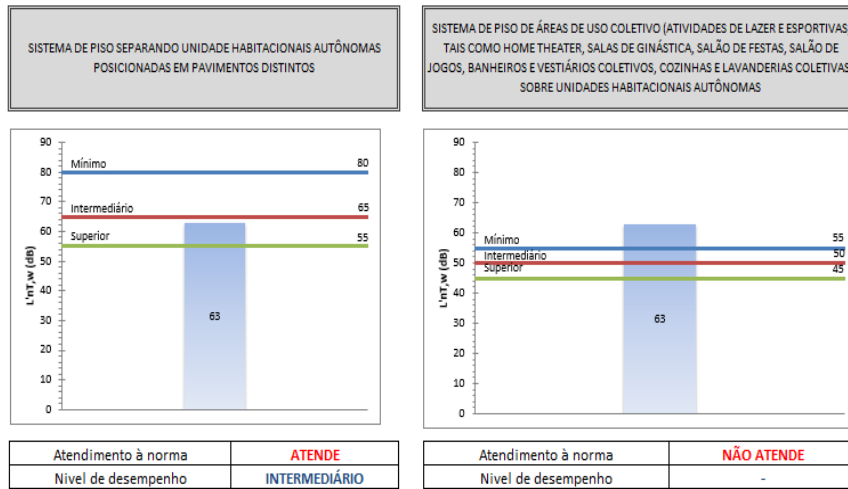
O Orçamento 2 refere-se aos sistemas de pisos que contemplam laje e revestimento de piso, sua operação é similar ao Orçamento 1, o qual o banco de dados está na aba “Dados $L'_{nT,w}$ e Orçamentos”. A visualização do Orçamento 2 está apresentada nas Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Exemplo de Orçamento 2 (laje treliçada com EPS 27 cm + capa de concreto armado 4 cm + cerâmica esmaltada) quanto ao ruído de impacto.



Fonte: autores.

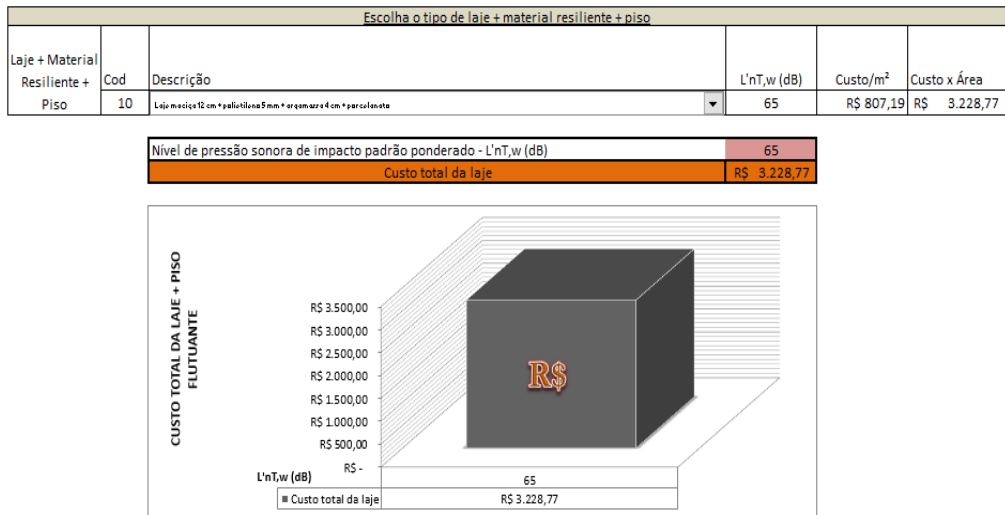
Figura 8 - Verificação da classificação do sistema escolhido diante dos critérios da NBR 15.575- 3 do Orçamento 2



Fonte: autores.

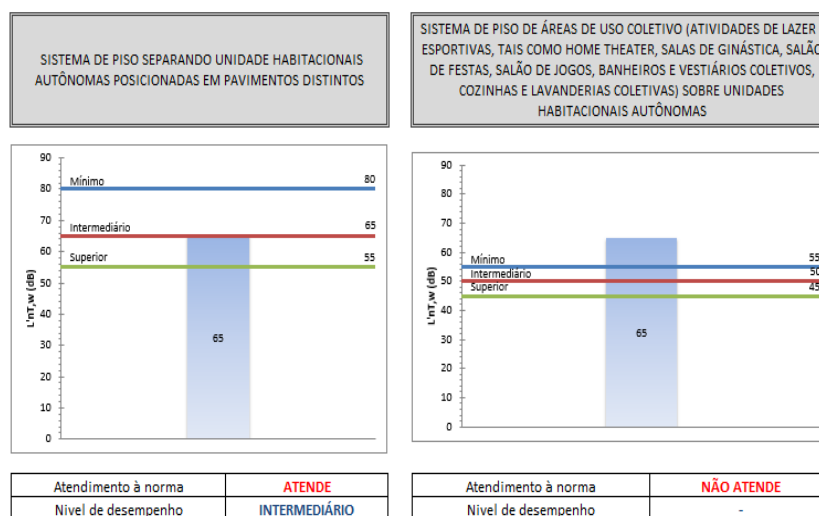
O Orçamento 3 (Figuras 9 e 10) concerne sistemas de pisos com a aplicação dos materiais resilientes contemplados na literatura, o qual sua operação é semelhante aos Orçamentos 1 e 2. O banco de dados do $L'_{nT,w}$ e seus respectivos orçamentos se localizam na aba “Dados $L'_{nT,w}$ e Orçamentos” da ferramenta.

Figura 9 - Verificação da classificação do sistema escolhido diante dos critérios da NBR 15.575- 3



Fonte: autores.

Figura 10 - Verificação da classificação do sistema escolhido diante dos critérios da NBR 15.575- 3 do Orçamento 3



Fonte: autores.

Denota-se, que caso o usuário da ferramenta desejar aumentar o banco de dados, a planilha já está programada para a inserção de novos valores de $L'_{nT,w}$. Caso o operador pretenda alterar o valor de alguma composição ou insumo orçado, o mesmo deverá localizar a planilha referentes ao orçamento desejado, alterar seu valor (cuja planilha já estão programadas para adicionar o BDI, caso necessário) e inseri-lo manualmente na aba “Dados de $L'_{nT,w}$ e Orçamentos” da ferramenta.

3.2 ORÇAMENTO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DO RUÍDO AÉREO

Após a determinação da área total do elemento de divisão horizontal na aba “Orçamento – Ruído Aéreo”, é possível realizar três tipos de orçamentos: orçamento 1 – apresenta o campo de escolha de sistemas de laje e revestimentos de piso; Orçamento 2 – remete para sistemas de pisos com material resiliente (piso flutuante) e; Orçamento 3 – refere-se à sistemas que contemplam os sistemas de pisos com aplicação de forro no pavimento inferior.

No Orçamento 1 (item 2.1 da aba) o usuário poderá escolher o sistema construtivo por meio dos campos de escolha (Figura 11), analisar seu respectivo $D'_{nT,w}$, custo por metro quadrado, custo total do sistema e seu desempenho quanto a NBR 15.575-3 (ABNT, 2021c).

Figura 11 - Escolha do sistema, determinação do $D'_{nT,w}$, custo por metro quadrado e custo total

| 2.1 Escolha o tipo de laje + piso | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|---|------------------|----------------------|--------------|---|
| | Cod | Descrição | $D'_{nT,w}$ (dB) | Custo/m ² | Custo x Área | |
| Laje + Piso | 1 | - | - | R\$ 0,00 | R\$ | - |
| | | Laje Maciça 10 cm + argamassa 4 cm + piso cerâmico | - | | | |
| | | Laje Maciça 12 cm + argamassa com brita leve 4 cm (12:3) + piso porcelanato | - | | | |
| | | Laje Treliçada (EPS 5 cm) + capa de concreto armado 4 cm + piso laminado de madeira | - | | | |
| | | Laje Treliçada (EPS 5 cm) + capa de concreto armado 4 cm + piso de cerâmica esmaltada | - | | | |
| | | Inserir a descrição do elemento de vedação horizontal | - | | | |

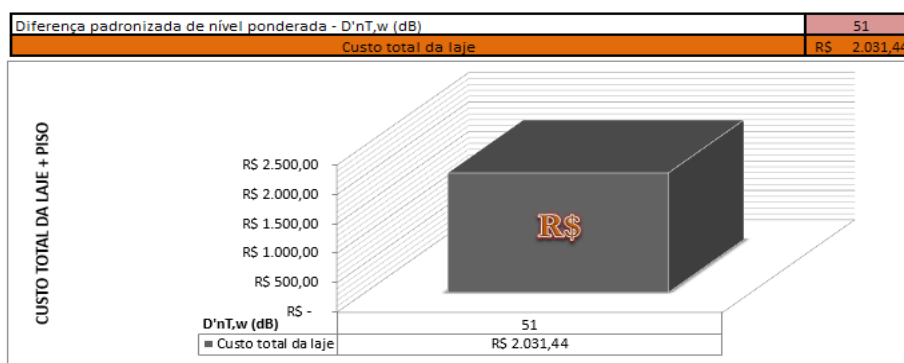
Fonte: autores.

Para melhor visualização, é apresentado na ferramenta um quadro com o valor total do orçamento escolhido, diferença padronizada de nível ponderada e um gráfico de coluna com o resumo dos mesmos. A Figura 9 apresenta um exemplo com a escolha da laje maciça com 12

cm de espessura, argamassa com brita leve (1:2:3), com 4 cm de espessura e revestimento de porcelanato, com área total de 4 m².

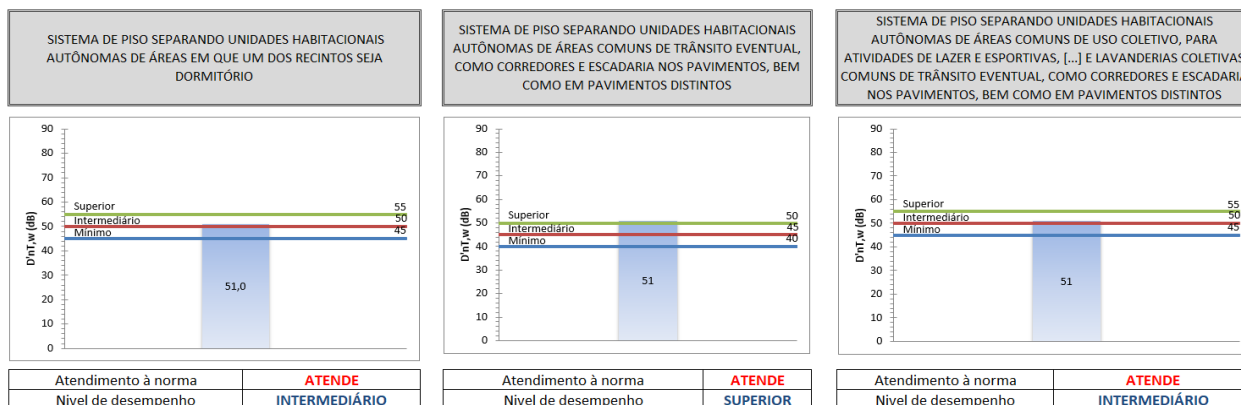
Em conjunto com a escolha do sistema de piso, a planilha efetuará a análise do desempenho do sistema escolhido conforme estabelecido pela norma, a qual verificará seu atendimento em sistema de piso que separam unidades habitacionais autônomas de áreas em que um dos recintos seja dormitório, sistema de piso que separam unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos e em sistema de piso que separam unidades habitacionais autônomas de áreas comuns de uso coletivo, para atividades de lazer e esportivas, lavanderias coletivas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos, bem como em pavimentos distintos (Figura 12 e 13).

Figura 12 - $D'_{nT,w}$, custo total da laje e gráfico de coluna.



Fonte: autores.

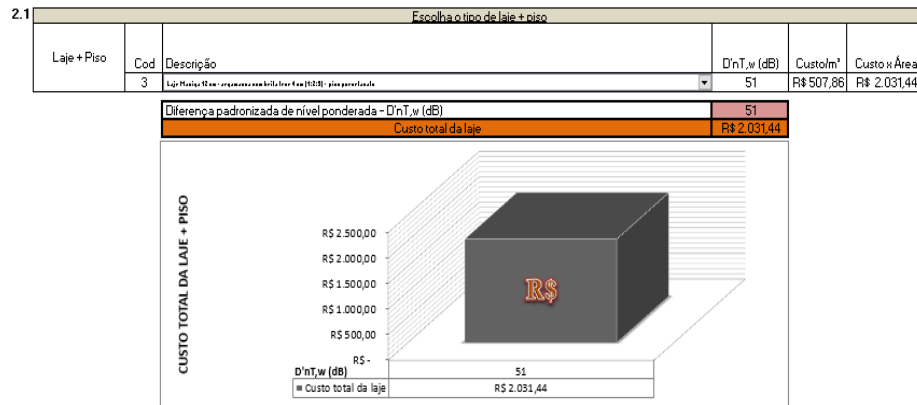
Figura 13 - Verificações quanto à norma de desempenho



Fonte: autores.

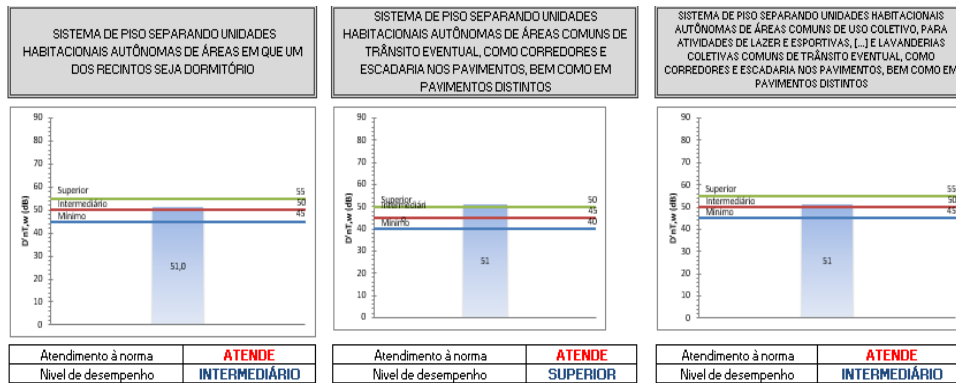
As Figuras 14 e 15 apresentam a visualização geral deste orçamento na planilha. O exemplo da figura se refere a uma laje Maciça de 12 cm de espessura com argamassa com brita leve 4 cm, traço 1:2:3, e piso porcelanato.

Figura 14 - Orçamento 1 quanto ao ruído aéreo



Fonte: autores.

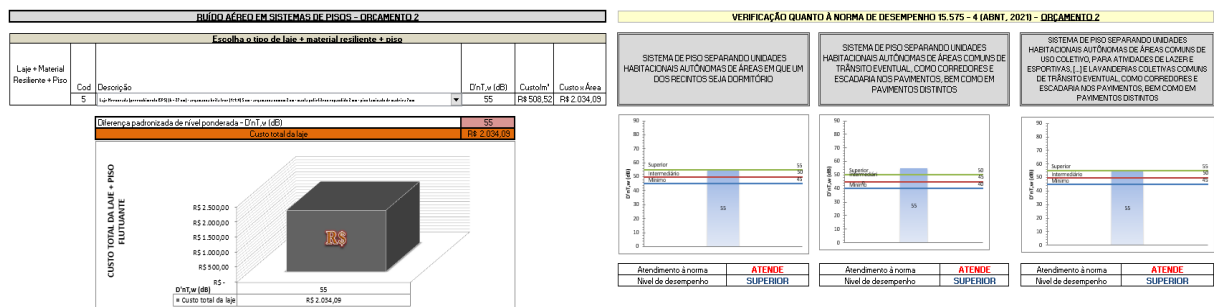
Figura 15 - Verificações quanto à norma de desempenho do Orçamento 1



Fonte: autores.

O Orçamento 2 (Figura 16), que tem uma operação similar ao Orçamento 1, remete aos sistemas de pisos com a aplicação dos materiais resilientes contemplados na literatura, verificando-se quanto ao atendimento na norma e ao seu custo de execução. O Figura 12 apresenta um exemplo de simulação de uma laje nervurada de 27 cm com preenchimento, argamassa com brita leve (1:1:4) de espessura de 5 cm, argamassa comum de 2 cm, manta polietileno expandido de 2 mm e piso laminado de madeira de 7 mm.

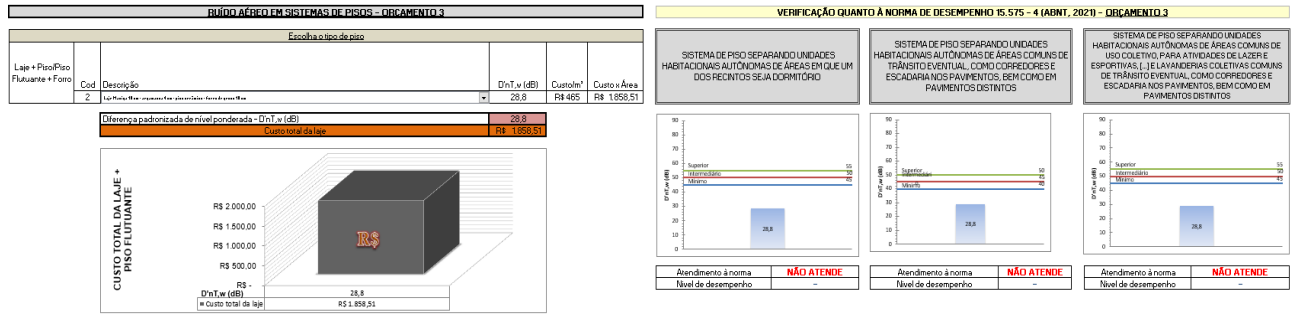
Figura 16 - Orçamento 2 quanto ao ruído aéreo



Fonte: autores.

O Orçamento 3, refere-se aos sistemas de pisos com aplicação de forro de gesso no pavimento inferior, em que sua distância da laje pode ser 10 ou 15 cm. Seu funcionamento é semelhante aos orçamentos anteriores, o qual também apresenta o $D'_{nT,w}$, custo por metro quadrado, custo total, gráfico resumo do custo e seção de verificação quanto ao atendimento à norma (Figura 17).

Figura 17 - Orçamento 2 quanto ao ruído aéreo



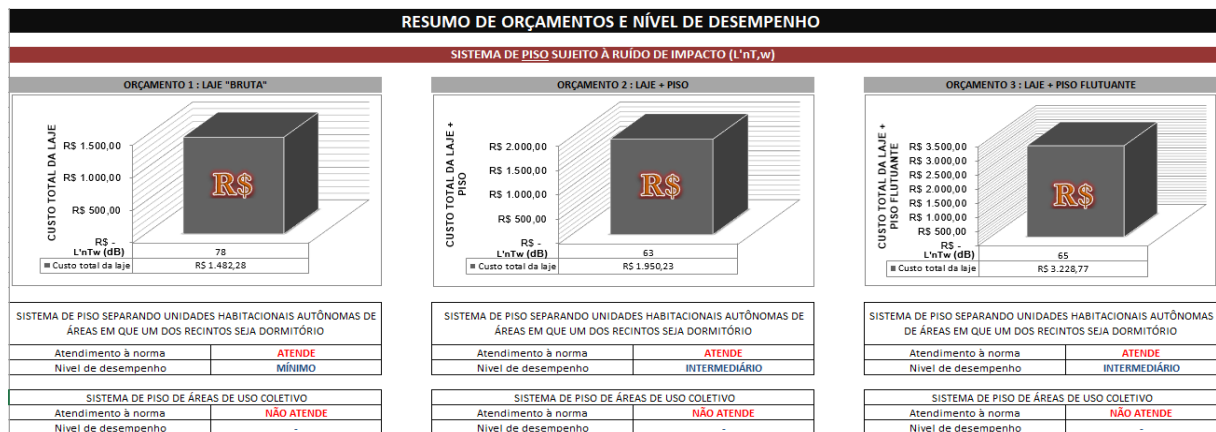
Fonte: autores.

O banco de dados do $D'_{nT,w}$ e seus respectivos orçamentos se localizam na aba “Dados $D'_{nT,w}$ e Orçamentos” da ferramenta. Similar ao orçamento do ruído de impacto, também é possível adicionar novos valores de $D'_{nT,w}$, na qual a planilha já está programada para esta função. Igualmente, as alterações nas composições orçamentárias podem ser realizadas nas planilhas, organizadas em pastas, que estão anexas à planilha principal, cujos resultados finais deverão ser inseridos manualmente na ferramenta caso sejam alterados.

3.3 QUADRO GERAL DE RESUMO DE ORÇAMENTOS E NÍVEL DE DESEMPENHO

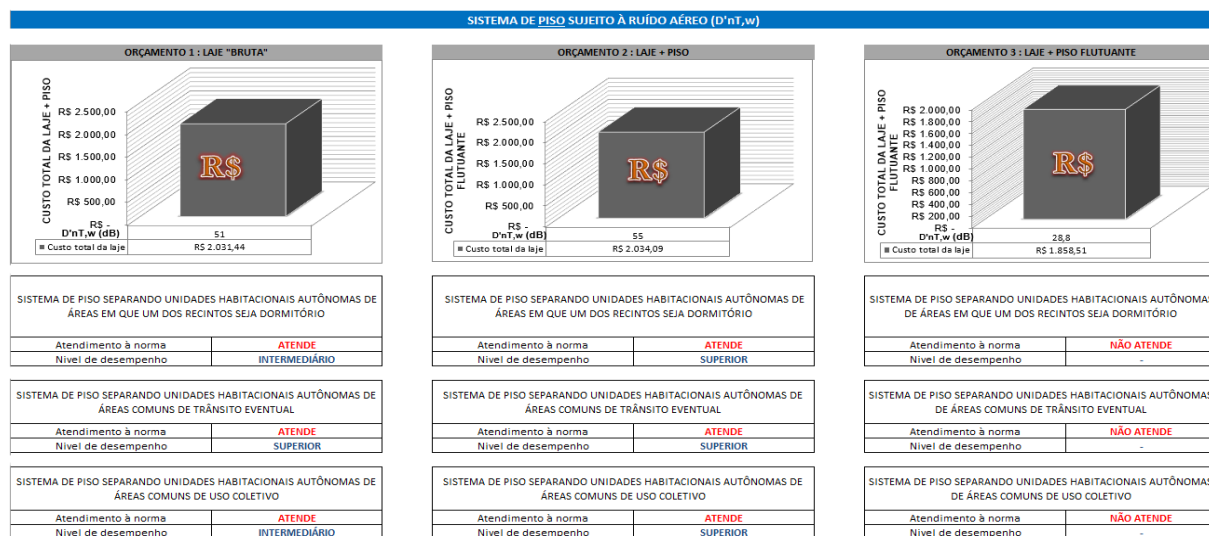
Para fins de resultado da análise do custo e desempenho acústico dos diversos sistemas de pisos caracterizados, é apresentado, na aba “Análise”, um quadro resumido de cada simulação realizada. Esta seção da planilha tem a finalidade de auxiliar a escolha dos sistemas de pisos com melhor custo-benefício, exibindo-os de forma sucinta, as simulações gerais do preço que seria utilizado para executá-los em que seus resultados são para a mesma área, juntamente com seu valor de isolamento sonora e o nível de desempenho atingido (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Quadro resumo de sistemas de pisos sujeito à ruído de impacto



Fonte: autores.

Figura 19 - Quadro resumo de sistemas de pisos sujeito à ruído aéreo



Fonte: autores.

É possível verificar com a ferramenta que nem sempre o sistema mais caro possui o melhor desempenho acústico. Ficou, também, ressaltada a importância da execução de sistemas construtivos de piso flutuante para atendimento a bons desempenhos acústicos, segundo a norma de desempenho. Por exemplo, é possível manter o sistema de construção das lajes maciças, um dos mais populares, desde que seja qualificada a equipe de execução de contrapiso para a aplicação do sistema de piso flutuante, buscando, assim, um método construtivo mais efetivo.

4 CONCLUSÃO

Esse trabalho apresenta uma ferramenta de análise da viabilidade econômica de diferentes sistemas de pisos. Essa é uma iniciativa importante para incentivar o uso de elementos com desempenho acústico adequado na construção de edifícios residenciais no Brasil. Ao considerar tanto o custo de construção quanto o desempenho acústico dos sistemas de pisos, essa ferramenta pode auxiliar empresas de engenharia e do setor imobiliário a tomar decisões informadas sobre quais sistemas de pisos utilizar em seus projetos, a fim de oferecer melhores produtos ao público-alvo e buscar garantir a satisfação dos usuários.

Além disso, a ferramenta também ajuda a verificar se os sistemas de pisos simulados atendem à norma de desempenho ABNT NBR 15.575-3 (2021c), que estabelece requisitos mínimos para o desempenho acústico de edificações residenciais no Brasil. Isso é importante pois se procura que as edificações sejam confortáveis acusticamente e ofereçam um ambiente saudável e agradável aos usuários. Buscou-se uma operação fácil, intuitiva e eficiente para os usuários, a fim de que seus operadores sejam incentivados a analisar a melhor solução construtiva para sua edificação, sempre visando o melhor desempenho acústico.

Nesse trabalho foi realizada a compilação de diversos estudos que realizaram ensaios de isolamento acústico em campo, de diferentes sistemas de pisos utilizados no país, em virtude de ainda haver poucos ensaios realizados em laboratório. Portanto, o banco de dados da ferramenta serve como exemplo, visto que não é aconselhável utilizar valores em campo para realizar previsões de projeto. Assim, é aconselhável que o usuário adicione uma fonte de dados própria, porém, o banco de dados dos valores de desempenho acústico pode ser utilizado como estimativa, caso as condições de contorno sejam semelhantes. Destaca-se, também, que a área

do sistema de piso só pode ser considerada para o custo (não para a classificação quanto ao desempenho acústico), em virtude de que as dimensões e características da laje podem interferir no comportamento acústico do ambiente.

Portanto, essa ferramenta tem a finalidade de servir de subsídio para as empresas de engenharia, setor imobiliário e usuários, demonstrando que a aplicação de um elemento de melhor desempenho acústico, nem sempre se caracterizará em significativo aumento de custo, se necessitando adaptar, principalmente, a técnica de execução dos revestimentos de piso para piso flutuante. Por fim, ao facilitar a escolha de sistemas de pisos com melhor custo-benefício em termos de execução e desempenho acústico, essa ferramenta pode contribuir para a disseminação de boas práticas na construção civil e para a melhoria da qualidade das edificações residenciais no país.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1:** Edificações – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021a.
- _____. **NBR 15.575-2:** Edificações – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2021b.
- _____. **NBR 15.575-3:** Edificações – Desempenho. Parte 3: Requisitos para sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2021c.
- _____. **NBR 15.575-4:** Edificações – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2021d.
- _____. **NBR 15.575-5:** Edificações – Desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2021e.
- _____. **NBR 15.575-6:** Edificações – Desempenho. Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2021f.
- BRONDANI, S. A. **Pisos flutuantes: análise da performance acústica para ruído de impacto.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Maria, 1999.
- CAPRARO, G. V. **Estudo de ruídos em lajes de edifícios residenciais.** Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2011.
- FERNÁNDEZ, J. A. C. G. Ciclo de vida familiar e o projeto de empreendimentos multifamiliares. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2006.
- FERRAZ, R. **Atenuação de ruído de impacto em pisos de edificações de pavimentos múltiplos.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, UFMG, Belo Horizonte, 2008.
- ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12354-2:** Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 2: Impact sound insulation between rooms London, 2017.
- MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras.** São Paulo: PINI, 2010. 426 p.
- NEUBAUER, P. M. **Estudo comparativo entre diversas composições com pisos flutuantes de madeira natural – assoalho e tacos – quanto ao isolamento do ruído de impacto.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Maria, 2009.
- NUNES, M. F. O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D. T. Desempenho acústico de sistemas de piso: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto. In: XXV ENCONTRO SOBRAC (Sociedade Brasileira de Acústica). **Anais...** Campinas: São Paulo, 2014. p. 140 - 147.

- PARK, S. H.; LEE, P. J.; JEONG, J. H. Effects of noise sensitivity on psychophysiological responses to building noise. **Building and Environment**, v. 136, p. 302–311, 2018.
- PEDROSO, M. A. T. **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, 2007.
- SILVA, K. *et al.* **ORÇAMENTO**: A composição de custos na construção civil. *Revista Pensar Engenharia*, Belo Horizonte, v. 1, n. 3, jan. 2015.
- THEMANN, C. L.; MASTERSON, E. A. Occupational noise exposure: A review of its effects, epidemiology, and impact with recommendations for reducing its burden. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 146, n. 5, 2019.
- TISAKA, M. **Orçamento na construção civil**: consultoria, projeto e execução. São Paulo: PINI, 2006. 369 p.
- YUAN, M. YIN, C.; SUN, Y.; CHEN, W. Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. **Sustainable Cities and Society**, v. 50, n. 101678, 2019.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.