# UFOP

#### UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções
Mestrado Profissional em Construção Metálica (MECOM)



Paulo Henrique Silva Magalhães

ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE FECHAMENTOS INDUSTRIALIZADOS PARA EDIFICAÇÕES

Ouro Preto 2019

#### Paulo Henrique Silva Magalhães

## ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE FECHAMENTOS INDUSTRIALIZADOS PARA EDIFICAÇÕES

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Construção Metálica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Construção Metálica.

Orientadora: Profa. Rovadávia Aline de Jesus Ribas, D.Sc.

Coorientador: Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D.Sc.

Ouro Preto 2019

#### SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M188a Magalhães, Paulo Henrique Silva.

Análise do desempenho acústico de sistemas de fechamentos industrializados para edificações. [manuscrito] / Paulo Henrique Silva Magalhães. - 2019. 103 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Rovadávia Aline de Jesus Ribas. Coorientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Engenharia das Construções.

1. Sistema de fechamento. 2. Estrutura em aço. 3. Desempenho acústico. I. Ribas, Rovadávia Aline de Jesus. II. de Paula, Geraldo Donizetti . III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

**CDU 624** 





#### MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO Universidade Federal de Ouro Preto Escola de Minas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia das Construções Mestrado Profissional em Construção Metálica



# ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE SISTEMAS DE FECHAMENTOS INDUSTRIALIZADOS PARA EDIFICAÇÕES

## AUTOR: PAULO HENRIQUE SILVA MAGALHÃES

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 19 de dezembro de 2019, pela comissão examinadora composta pelos seguintes membros:

Rovadavia Aline de Jesus Ribas, D. Sc. – UFOP (Presidente)

Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D. Sc. - UFOP

Prof. Henor Arturde Souza N. Sc. – UFOP

Prof. Mário Luís Cabello Russo, D. Sc. - IFMG

#### **AGRADECIMENTOS**

A Deus, o criador, fonte de vida e amor, por sempre colocar pessoas verdadeiras em meu caminho;

Aos meus pais Edna e José Geraldo pelos exemplos de fé, força, trabalho e honestidade;

Aos padrinhos Nair e Tião pela grande amizade e amor incondicional;

A linda Carla, pelo companheirismo, dedicação e por tornar a vida mais doce;

A Profa. Orientadora Róvia e ao Prof. Henor pela confiança depositada, orientações, dedicação, paciência e críticas construtivas;

Ao grande amigo Daniel pela disposição de auxiliar no trabalho;

A república Madrugas com quem pude dividir valiosos momentos nesses anos;

Ao padrinho César, pelo amparo, gentileza e disponibilidade nos conhecimentos técnicos;

Aos colegas de curso pela rotina diária;

Aos demais familiares, amigos e professores que estiveram sempre na caminhada enviando energias positivas e contribuindo para a realização desse trabalho.

Obrigado. Tenho por vocês uma enorme Gratidão!

#### **RESUMO**

A inserção de novos métodos de execução e materiais no cotidiano da construção civil proporciona a melhora da qualidade de vida e o conforto dos usuários de edificações, possibilitada a partir de estudos e testes. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi analisar o desempenho acústico de sistemas de fechamentos industrializados aplicados a edificações, visando a adequação e otimização do conforto acústico para os usuários. O desempenho acústico dos sistemas de fechamentos foi realizado por meio de uma análise computacional, avaliando-se a Perda na Transmissão Sonora (PT) que ocorre através dos fechamentos. Os materiais avaliados foram: painéis de placa cimentícia (PLC), gesso acartonado (GEA), pré-moldado de concreto (PMC), concreto celular autoclavado (CCA), poliestireno expandido (EPS), vidro (VDO), placa de tiras de madeiras orientadas - oriented strand board (OSB) e alvenaria de tijolo cerâmico (ATC). As análises foram feitas com base em um método gráfico em painéis simples e duplos aplicando-se um modelo computacional. De acordo com os resultados das análises, pode-se verificar que composições de materiais dos fechamentos apresentaram os maiores valores de perda na transmissão sonora. Em painéis simples, a alvenaria de tijolo cerâmico (ATC) se destacou mediante o concreto celular autoclavado (CCA) e vidro (VDO), apresentando resultados inferiores de PT apenas quando comparada ao pré-moldado de concreto (PMC). Em painéis duplos, quando comparados com a ATC, o poliestireno expandido (EPS) obteve a maior PT, seguido por placa cimentícia (PLC), gesso acartonado (GEA), placa de tiras de madeiras orientadas combinado com gesso acartonado (OSB-GEA) e painel de tiras de madeiras orientadas (OSB).

Palavras-chave: Sistema de fechamento, estrutura em aço, desempenho acústico.

#### **ABSTRACT**

The insertion of new execution methods and materials in the daily construction provides a better quality of life and comfort for users, enabled by studies and tests. In this context, the goal of this work was to study the acoustic performance of industrialized closure systems applied to buildings, aiming to adequate and optimize acoustic comfort for users. The acoustic performance study of the closure systems was made through computational analysis, evaluating the Sound Transmission Loss (TL) that occurs through the closures. The materials evaluated were cementitious board (PLC), plasterboard (GEA), massive precast concrete (PMC), aerated autoclave concrete (CCA), expanded polystyrene panels (EPS), glass (VDO), oriented strand boards (OSB) and masonry (ATC). The analyses were made based on a graphical method in simple and double panels using a computational model. According to the results, it was possible to verify that closure systems with material compositions presented the highest transmission loss values. In simple panels, masonry (ATC) stood out when compared to aerated autoclave concrete (CCA) and glass (VDO), presenting lower TL results only when compared to the massive precast concrete (PMC). In double panels, when compared to the ATC, the expanded polystyrene panels (EPS) obtained the highest TL, followed by the cementitious board (PLC), the plasterboard (GEA), oriented strand boards combined with plasterboard (OSB-GEA) and oriented strand boards (OSB).

**Keywords:** Closure systems, steel structures, acoustic performance.

#### LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ATC Alvenaria de tijolo cerâmico

CCA Concreto celular autoclavado

λ Comprimento da onda de flexão

EPS Poliestireno expandido

GEA Gesso acartonado

L.L Ligação Linha-Linha

L.M. Lei da Massa

L.P Ligação Linha-Ponto

LVI Lã de vidro

M.G. Método Gráfico

NBR Norma técnica Brasileira

OSB Oriented Strand Board

P.P Ligação Ponto-Ponto

PLC Placa cimentícia

PMC Pré-moldado de concreto

PT Perda na Transmissão Sonora

VDO Vidro

### SUMÁRIO

| 1     | INTRODUÇÃO  | 10 |
|-------|---|----|
| 1.1   | Considerações iniciais  | 10 |
| 1.2   | Objetivo  | 11 |
| 1.3   | Justificativa   | 12 |
| 1.4   | Metodologia   | 12 |
| 1.5   | Estrutura do trabalho   | 13 |
|       |   |    |
| 2     | REFERENCIAL TEÓRICO   | 14 |
| 2.1   | Transmissão Sonora  | 14 |
| 2.2   | Perda na Transmissão Sonora                                       | 15 |
| 2.2.  | 1 Perda na transmissão sonora em painéis simples                  | 16 |
| 2.2.2 | 2 Perda na transmissão sonora em painéis simples – Método Gráfico | 20 |
| 2.2.3 | 3 Perda na transmissão sonora em painéis duplos segundo Sharp     | 23 |
| 2.3   | Avaliação do ruído  | 28 |
| 2.4   | Pesquisas relevantes na área de análise acústica                  | 29 |
|       |   |    |
| 3     | MATERIAIS E MÉTODOS   | 32 |
| 3.1   | Sistemas de Fechamentos   | 32 |
| 3.1.  | 1 Propriedades termofísicas                                       | 32 |
| 3.1.2 | 2 Alvenaria de tijolo cerâmico (ATC)                              | 33 |
| 3.1.3 | 3 Concreto celular autoclavado (CCA)                              | 34 |
| 3.1.4 | 4 Gesso acartonado (GEA)  | 34 |
| 3.1.  | 5 Placa de madeira (OSB)  | 36 |
| 3.1.6 | 6 Placa cimentícia (PLC)  | 36 |
| 3.1.7 | 7 Poliestireno expandido (EPS)                                    | 37 |
| 3.1.8 | Pré-moldado de concreto (PMC)                                     | 38 |
| 3.1.9 | 9 Vidro (VDO)   | 38 |
| 3.2   | Composição dos fechamentos  | 38 |
| 3.2.  | 1 Composição dos fechamentos simples                              | 39 |
| 3.2.2 | 2 Composição dos fechamentos duplos                               | 40 |
| 3.3   | Perda na transmissão sonora – Modelo computacional aplicado       | 40 |
| 3 1   | Validação do modelo computacional                                 | 42 |

| 4   | RESULTADOS E ANÁLISES45  |
|-----|--|
| 4.1 | Painéis simples45  |
| 4.2 | Painéis duplos com ligações Linha-Linha48  |
| 4.3 | Painéis duplos com ligações Linha-Linha, Linha-Ponto, Ponto-Ponto51  |
| 4.4 | Conclusões57   |
|     |  |
| 5   | CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES59  |
| 5.1 | Considerações finais59   |
| 5.2 | Sugestões para trabalhos futuros60   |
|     |  |
| RE  | FERÊNCIAS61  |
|     | <b>^</b>   |
|     | ÊNDICE A – Relatórios de perda na transmissão sonora65   |
| A.1 | - Relatório de perda na transmissão sonora para alvenaria de tijolo cerâmico (ATC) – Lei da Massa65  |
| A.4 | - Relatório de perda na transmissão sonora para concreto celular autoclavado (CCA) – Método Gráfico  |
| A.5 | - Relatório de perda na transmissão sonora para pré-moldado de concreto maciço (PMC) – Lei da Massa69  |
| A.6 | - Relatório de perda na transmissão sonora para pré-moldado de concreto maciço (PMC) – Método Gráfico  |
| A.7 | - Relatório de perda na transmissão sonora para vidro (VDO) - Lei da Massa71   |
| A.8 | - Relatório de perda na transmissão sonora para vidro (VDO) - Método Gráfico   |
|     | 72   |
| A.9 | <ul> <li>Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com<br/>argamassa projetada (EPS) – Ligação Linha-Linha73</li> </ul> |
| A.1 | 0 - Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS) – Ligação Linha-Ponto74                     |
| A.1 | 1 - Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS) – Ligação Ponto-Ponto75                     |
| A.1 | 2 - Relatório de perda na transmissão sonora para gesso acartonado (GEA) - Ligação Linha-Linha76   |
| A.1 | 3 - Relatório de perda na transmissão sonora para gesso acartonado (GEA) - Ligação Linha-Ponto77   |
| A.1 | 8 - Relatório de perda na transmissão sonora para <i>oriented strand board</i> (OSB) - Ligação Linha-Linha82                                       |
| A.1 | 9 - Relatório de perda na transmissão sonora para <i>oriented strand board</i> (OSB) - Ligação Linha-Ponto84                                       |
| A.2 | 0 - Relatório de perda na transmissão sonora para <i>oriented strand board</i> (OSB) - Ligação Ponto-Ponto85                                       |

| A.21 - Relatório de perda na transmissão sonora para placa cimentícia (PLC) - |    |
|---|----|
| Ligação Linha-Linha   | 87 |
| A.22 - Relatório de perda na transmissão sonora para placa cimentícia (PLC) - |    |
| Ligação Linha-Ponto   | 88 |

#### **CAPÍTULO 1**

#### 1 INTRODUÇÃO

#### 1.1 Considerações iniciais

Ruídos originados de fatores naturais ou do local podem se tornar incômodos e causar desconforto. Nos centros das cidades e em horários de alto movimento, as avenidas com grande circulação de veículos e pedestres possuem ruídos oriundos de carros (barulho do motor, frenagem, arrancada, buzinas e até colisões), de obras em construções, do apito de guardas de trânsito e demais. Em indústrias, os ruídos oriundos do processo produtivo podem causar transtornos irreversíveis aos trabalhadores, como a perda parcial ou até completa da audição.

Por conta dessas variadas situações, a avaliação dos problemas de ruídos se torna complexa. Como forma de minimizar os transtornos devido a eles, diversas maneiras para mensurá-los têm sido desenvolvidas, levando em consideração fatores físicos e comportamentais. Para isso, é analisado o que cada situação expõe de incômodo ao usuário e o que pode ser feito para aprimorar os métodos avaliativos (BISTAFA, 2011).

Para serem quantificadas e avaliadas as consequências do ruído na vida da população, cada país possui uma política de medições normativas que devem ser adotadas nas determinadas situações. No caso do Brasil, têm-se as normas NBR 15575 (ABNT, 2013a) para critérios de desempenho na edificação, NBR 10151 (ABNT, 2019) para métodos de medições de ruídos e NBR 10152 (ABNT, 2017a) para fixação de níveis de ruídos, adotando regras para o uso de equipamentos de proteção individual, que aumentam a incolumidade das pessoas, e melhorando o isolamento acústico nas edificações.

Em análises de conforto acústico de edificações, ondas sonoras que possuem direções e intensidades diferentes são observadas. Com isso, quando o som atinge algum material, como madeiras (pisos, portas, forro, janelas), alvenaria (laje e paredes), vidros (portas, janelas, divisórias) e demais, ocorre absorção sonora, ou seja, uma parcela do som é absorvida pelo material e outra se divide, sendo que a

parcela dividida possui parte refletida e parte transmitida (BISTAFA, 2011).

O percentual do som que é transmitido depende das propriedades de reflexão, absorção e transmissão do material, além das características do espaço onde está inserido. Uma forma de se analisar os dados a partir da interação entre ondas sonoras e os materiais da edificação é a partir da perda na transmissão sonora (PT), uma grandeza associada ao coeficiente de transmissão do material, que contabiliza a fração de energia sonora incidente que é transmitida através de uma barreira ou parede (BIES; HANSEN, 2003).

Essa perda indica o quanto é minimizado o som ao ser absorvido por um obstáculo (piso, parede, forro, teto, porta, janela ou demais elementos), sendo que a redução do som pode ser um fator para melhorar o desempenho acústico no interior da edificação. Portanto, a escolha de material pode ser baseada na estimativa de perda na transmissão sonora (PT), que se propaga por meio do ar (via aérea) ou por meio das estruturas da edificação (meio sólido).

Além do tipo de material, a forma de sua utilização afeta a perda na transmissão. Os painéis de fechamentos industrializados podem ser aplicados em estruturas simples, duplas ou triplas; quando uma estrutura para inibir grandes perdas é necessária, painéis duplos ou triplos são mais leves e efetivos do que painéis simples (BIES; HANSEN, 2003). A montagem desses painéis formam sistemas de fechamentos de rápida montagem, sendo muito utilizados em edificações estruturadas em aço (SALES, 2001).

Nos painéis compostos, os materiais das paredes devem ser mecânica e acusticamente isolados uns dos outros, possivelmente com a inserção de materiais que absorvem sons, como, por exemplo, lã de vidro, lã de rocha ou poliestireno (SALES, 2001).

#### 1.2 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo avaliar a perda na transmissão sonora de sistemas de fechamentos industrializados, compostos pelos materiais: placa cimentícia, gesso acartonado, pré-moldado de concreto, concreto celular autoclavado, poliestireno

expandido, vidro, madeira e alvenaria.

#### 1.3 Justificativa

O principal motivo para o desenvolvimento do trabalho baseia-se na questão do conforto humano, em relação à acústica. Mesmo que a sensação de conforto seja subjetiva, uma vez que cada pessoa possui um nível e consideração diferente de outra pessoa, há uma escala em que se considera o valor de quantos decibels (dB) se enquadram no nível de adequado conforto acústico, não sendo prejudicial à saúde dos usuários de uma edificação.

A análise acústica realizada no presente trabalho pretende verificar diferentes sistemas de fechamentos externos e internos que possam ser utilizados para minimizar a perda na transmissão sonora (PT) de edificações. Portanto, este estudo visa contribuir para o melhor entendimento do comportamento de diferentes sistemas de fechamentos de edificações estruturadas em aço em busca de melhoria do conforto acústico para seus usuários.

#### 1.4 Metodologia

O trabalho se baseia na aplicabilidade de materiais que podem ser utilizados como forma de isolamento para ruídos internos e externos em edificações.

Entre os materiais objetos deste estudo, considera-se estudar e comparar: painéis em placa cimentícia, gesso acartonado, pré-moldado de concreto, concreto celular autoclavado, poliestireno expandido, vidro, madeira e alvenaria.

O trabalho propõe a realização da estimativa e avaliação da perda na transmissão sonora dos sistemas de fechamentos propostos, por meio de simulação computacional utilizando-se o modelo desenvolvido por Fortes (2018).

Os sistemas de fechamentos dos painéis propostos são analisados também conforme os efeitos dos diferentes tipos de fixações existentes em suas faces. Considera-se Ligação Linha-Linha onde o contato do painel com a estrutura que o sustenta é uniforme nas duas faces; ligação Linha-Ponto onde um painel possui

contato uniforme com a sua estrutura de um lado e, do outro lado, a sua fixação é feita por barras resilientes; e ligação Ponto-Ponto onde as fixações de ambos lados são conectadas por barras resilientes (BISTAFA, 2011).

#### 1.5 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No presente Capítulo foi apresentada uma breve introdução ao tema, ressaltando-se o quanto é importante o conforto humano/acústico nas edificações, além de objetivo, justificativa e metodologia.

No Capítulo 2 apresenta-se o assunto Transmissão Sonora (PT) e como ocorre sua perda nos painéis simples e duplos, bem como pode ser feita uma avaliação do ruído, além dos principais trabalhos desenvolvidos na área que auxiliam na análise acústica.

No Capítulo 3 retratam-se os materiais e métodos aplicados na pesquisa, os sistemas de fechamentos, suas composições, o método utilizado para análise da perda na transmissão sonora, bem como o modelo computacional utilizado e sua validação.

No capítulo 4 apresentam-se os resultados e análises referentes às simulações comparativas efetuadas nos painéis simples e duplos.

No capítulo 5 apresentam-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. A seguir têm-se as referências e um apêndice.

#### **CAPÍTULO 2**

#### 2 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 Transmissão Sonora

A transmissão sonora pode ser propagada no recinto de uma edificação de duas maneiras: por via aérea, como é o exemplo da voz, em que o som é transmitido pelo ar, e pela própria estrutura, onde pode ser propagada por vibrações (SALES, 2001).

Para se fazerem as medições da perda na transmissão sonora, a norma NBR 10151 (ABNT, 2019) orienta que os pontos de medição estejam situados a uma distância mínima de 50 cm das paredes, teto e piso e de 1m de portas, janelas ou entradas de ar.

O coeficiente de transmissão sonora  $\tau$ , Eq. (1), caracteriza a capacidade de uma parede transmitir ou isolar o som. Sendo que, quanto menor o seu valor, mais poder isolante a parede possui e, consequentemente, maior é a perda na transmissão sonora que ocorre através dela (BISTAFA, 2011).

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \tag{1}$$

Sendo:

- $\tau$  = coeficiente de transmissão sonora da parede (adimensional);
- W<sub>i</sub> = potência sonora incidente (w);
- W<sub>t</sub> = potência sonora transmitida (w).

O coeficiente de transmissão sonora dos elementos em painéis compostos, onde se caracteriza a heterogeneidade por serem utilizados diversos materiais e elementos de fechamentos, bem como aberturas para ventilação, podem ser obtidos por meio do coeficiente de transmissão dos componentes individuais pelas Eq.(2) e Eq.(3) (BIES; HANSEN, 2003; BISTAFA, 2011).

$$\tau_c = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \tau_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$
 (2)

$$\tau_i = 10^{-PT_i/10} \tag{3}$$

#### Sendo:

- $\tau_c$  = coeficiente de transmissão sonora da parede composta (adimensional);
- S<sub>i</sub> = área do i-ésimo componente da partição (m²);
- $\tau_i$  = respectivo coeficiente de transmissão sonora (adimensional);
- $PT_{i}$  perda na transmissão sonora do i-ésimo componente da parede (dB).

Quando os elementos de uma edificação recebem a energia sonora, esta é transmitida por meio de sua estrutura de um cômodo para outro. Portanto, irradiando o campo sonoro oriundo da fonte sonora e causando vibrações pela estrutura da edificação (HASSAN, 2009).

#### 2.2 Perda na Transmissão Sonora

A perda na transmissão sonora depende diretamente da energia da fonte do som bem como do material da superfície que irá absorver a onda sonora propagada no ambiente. Dessa maneira, a energia sonora vai de encontro às divisórias do ambiente (piso, teto, paredes, portas e janelas). Essa a energia é divida em parcelas que são refletidas, absorvidas, dissipadas em calor e propagadas pela estrutura do material (SALES, 2001).

Na Figura 1 mostra-se um exemplo da reação da transmissão sonora num determinado ambiente de dois cômodos. Em corte, ilustram-se as paredes, uma porta e uma janela. Observa-se a fonte sonora (1) parcelas de som refletidas (2), parcelas absorvidas dentro dos elementos (3) e parcelas que são transmitidas para outro meio (4).

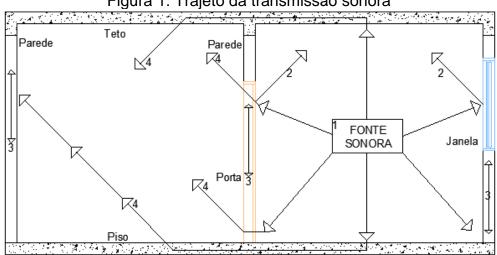


Figura 1: Trajeto da transmissão sonora

Fonte: Adaptado de HASSAN (2009).

#### 2.2.1 Perda na transmissão sonora em painéis simples

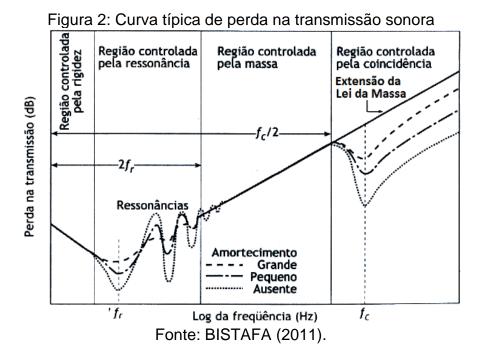
Para o caso de painéis simples, a perda na transmissão sonora pode ser expressa pela Eq. (4).

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{W_i}{W_t} \quad (dB)$$

#### Sendo:

- PT = Perda na transmissão sonora (dB);
- $\tau$  = coeficiente de transmissão sonora da parede (adimensional);
- W<sub>i</sub> = potência sonora incidente (w);
- W<sub>t</sub> = potência sonora transmitida (w).

Na Figura 2 mostra-se o gráfico onde é representada a curva típica de perda na transmissão sonora em função da frequência do som incidente em painéis sólidos e homogêneos.



De acordo com a Figura 2, podem ser observadas quatro regiões no gráfico, sendo elas: região controlada pela rigidez, região controlada pela ressonância, região controlada pela massa, região controlada pela coincidência.

#### a) Região controlada pela rigidez:

Nessa região, caracterizada pelas baixas frequências, a perda na transmissão sonora (PT) é controlada pela rigidez do material da parede, podendo ter seu valor de perda atenuado em situações de nível inferior ao valor da frequência de ressonância (fr), aproximadamente de 6 dB/oitava (BISTAFA, 2011).

#### b) Região controlada pela ressonância:

As ressonâncias mecânicas do painel no movimento da flexão são caracterizadas nessa área. A combinação construtiva das ondas de flexão ao se propagarem no painel é refletida nas bordas. As frequências se associam ao modo de vibração do painel e podem ser obtidas pela Eq.(5), ao se variarem os índices i e j. O movimento do painel é amplificado e controlado pelo amortecimento, o que também ocorre com a perda na transmissão em regiões controladas pela ressonância (BISTAFA, 2011).

$$f_{r_{ij}} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B_S}{M}} \left( \frac{i}{a^2} + \frac{j}{b^2} \right) Hz \quad [i, j, = 1, 2, 3, \dots]$$
 (5)

#### Sendo:

- $f_{r_{ij}}$  = Frequência de ressonância do painel simplesmente apoiado (Hz);
- B<sub>s</sub> = Rigidez à flexão do painel (Nm);
- M = Massa específica superficial do painel (kg/m²);
- a = Largura do painel (m);
- b = Comprimento do painel (m).

#### c) Região controlada pela massa:

Na região controlada pela massa do painel, a perda na transmissão sonora é dada pela Lei da Massa (equação da massa), Eq.(6):

$$PT = 20\log(f.M) - 47 (dB)$$

$$(f.M) > \rho c$$
(6)

#### Sendo:

- f = frequência do som incidente (Hz);
- M = Massa específica superficial do material da parede (kg/m²);
- $\rho$  = massa específica do material da parede (kg/m<sup>3</sup>);
- c = velocidade da onda sonora no ar (m/s).

Nessa região, o material possui um isolamento acústico melhor quando possui mais massa e consequentemente mais dificuldade para vibrar. Portanto, para que um material tenha bom isolamento, é necessário que ele possua maior massa específica. O isolamento sonoro é facilitado em altas frequências quando comparado com as baixas (BIES; HANSEN, 2003; HASSAN, 2009).

#### d) Região controlada pela coincidência:

A região controlada pela coincidência é caracterizada por coincidirem os comprimentos de onda referentes ao painel e ao som, em frequências de excitação

(frequências do som que incide sobre o painel).

De acordo com a Figura 3, na região controlada pela coincidência, o comprimento da onda de flexão pode ser explicitado pela Eq.(7).

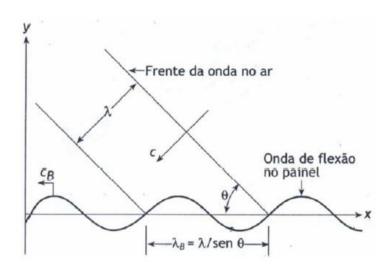


Figura 3: Região controlada pela coincidência

Fonte: BISTAFA (2011).

$$\lambda_{\rm B} = \lambda / {\rm sen} \ \theta$$
 (7)

#### Sendo:

- λ<sub>B</sub> = comprimento da onda de flexão do painel (m);
- $\lambda$  = comprimento de onda do som incidente (m);
- $\theta$  = ângulo de incidência da onda no painel ( $\theta$ ).

Segundo (BISTAFA, 2011), c é a velocidade do som no ar e  $C_B$  é a velocidade de propagação do som no painel, que depende da frequência de excitação e pode ser dada pela Eq.(8):

$$C_B = \sqrt[4]{(2\pi f)^2 \frac{Bs}{M}}$$
 (m/s); (8)

Nas frequências de coincidência ocorre a amplificação do movimento de flexão do painel. Ou seja, há o aumento da transmissão sonora pela parede, acarretando a

redução da perda nessa transmissão, o que é indesejável para um painel de fechamento (BISTAFA, 2011). A frequência de coincidência pode ser definida por meio da Eq.(9).

$$fcoinc = \frac{c^2}{2\pi sen^2 \theta} \sqrt{\frac{M}{B_S}}$$
 (Hz)

A frequência crítica (fc), definida pela menor frequência de coincidência, pode ser calculada pela Eq.(10), segundo Bistafa (2011):

$$fc = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{B_S}} \qquad (Hz) \tag{10}$$

Em recintos com campos difusos, há incidência das ondas em diversos ângulos no painel. Porém o som incidente, que é caracterizado como ruído, cobre uma ampla faixa de frequências, tendo-se sempre um ângulo  $\theta$  para o som incidente em que há coincidência para frequências maiores do que a frequência crítica. Com isso, as coincidências ocorrem numa faixa de frequências chamada de *vale da coincidência*. Nessa região a perda na transmissão também é controlada pelo amortecimento do painel (BISTAFA, 2011).

A frequência crítica depende da rigidez à flexão do painel (B<sub>s</sub>). Correlacionando uma a outra, enquanto a rigidez à flexão diminui, a frequência crítica aumenta. Na Figura 4 apresenta-se frequência crítica de painéis em função do material e sua espessura (BISTAFA, 2011).

#### 2.2.2 Perda na transmissão sonora em painéis simples - Método Gráfico

De acordo com Bies e Hansen (2003), o método gráfico aqui apresentado permite avaliar a perda na transmissão sonora de painéis isotrópicos (sólidos e homogêneos) e ortotrópicos (sólidos e não homogêneos). Na Figura 5 representa-se o gráfico do comportamento da perda na transmissão sonora em painéis isotrópicos em função da frequência.

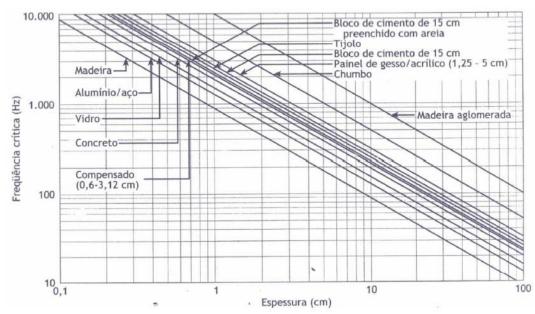


Figura 4: Gráfico para determinação da frequência crítica em painéis

Fonte: BISTAFA (2011).

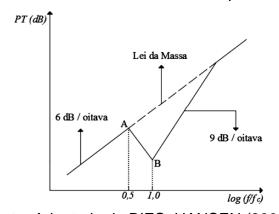


Figura 5: Perda na transmissão sonora em painéis isotrópicos

Fonte: Adaptado de BIES; HANSEN (2003).

Para dimensionar os valores de perda na transmissão sonora nos pontos A e B, devem-se utilizar as Eq.(11) e Eq.(12).

$$PT_A = 20\log(Mf_c) - 54$$
 (dB) (11)

$$PT_B = 20\log(Mf_c) + 10\log\eta - 45 \qquad (dB)$$
 (12)

#### Sendo:

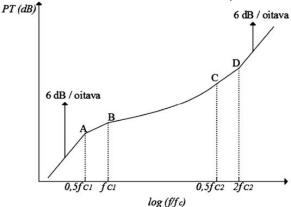
- M = massa específica superficial do material da parede (kg/m²);
- $f_c$  = frequência crítica do painel (Hz);
- $\eta$  = fator de amortecimento interno do material do painel (adimensional).

Em seguida, nos pontos B e  $f_{c1}$ , a perda na transmissão sonora é dada pela Eq.(14), válida para  $f > f_{c_i}$  aplicada até que a frequência da perda na transmissão sonora seja igual à da calculada pela Lei da Massa Eq. (6).

$$PT = 20\log(Mf) + 10\log\eta\left(\frac{f}{f_c}\right) - 45 \qquad (dB)$$

Na Figura 6 apresenta-se o gráfico de da perda na transmissão sonora em painéis ortotrópicos ou nervurados, com pequeno amortecimento em função da frequência.

Figura 6: Perda na transmissão sonora em painéis ortotrópicos



Fonte: Adaptado de BIES; HANSEN (2003).

Para dimensionar os valores da perda na transmissão sonora em A, B, C e D, são utilizadas as Eq.(14), Eq.(15) e Eq.(16).

$$PT_A = 20 \log(Mf_{c1}) - 54 \qquad (dB) \tag{14}$$

Nos pontos B e C e entre eles, a perda na transmissão sonora é dada pela Eq. (15).

$$PT_{B} = PT_{C} = 20 \log(f)$$

$$+ 10 \log(M) - 10 \log(f_{c1}) - 20 \log\left[\log_{e}\left(\frac{4f}{fc_{1}}\right)\right] - 13,2 \quad (dB)$$

$$PT_D = 10 \log(M) + 15 \log(f_{c2}) - 5 \log(f_{c1}) - 17 \qquad (dB)$$
 (16)

Para painéis amortecidos pode-se aplicar esse mesmo processo, fazendo-se  $f_{c1} = f_{c2}$ . O valor de  $f_{c2}$  pode se um novo valor dado pela massa específica superficial total e rigidez de um painel plano de mesma espessura que o material original dos painéis nervurados (BIES; HANSEN, 2003).

#### 2.2.3 Perda na transmissão sonora em painéis duplos segundo Sharp

A configuração de duplicar as faces dos painéis é sugerida para quando é necessário aumentar o valor da perda na transmissão sonora sem elevar o peso da divisória. O resultado se potencializa quando os painéis são afastados (BISTAFA, 2011). Na Figura 7 representa-se um painel duplo dissipando a fonte sonora, sendo d a distância entre os painéis.

som incidente

Figura 7: Transmissão sonora em painéis duplos

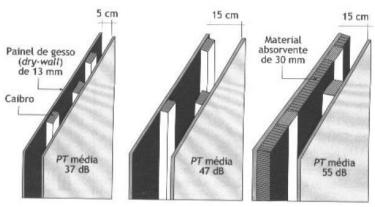
Fonte: Adaptado de SALES (2001).

A colocação de uma camada de material absorvedor dentro da camada de ar tende a otimizar o desempenho acústico. A fixação da camada absorvedora deve ser realizada em apenas uma das partes, evitando dessa maneira a ligação entre os dois painéis e aumentando a isolação acústica no sistema tornando-o mais eficiente (BISTAFA, 2011).

Na Figura 8 representa-se um painel duplo de gesso acartonado com a variância

entre a distância de suas placas, havendo, consequentemente, o aumento da perda na transmissão sonora.

Figura 8: Representação esquemática do painel duplo com distâncias variáveis



Fonte: BISTAFA (2011).

Os painéis duplos podem ser fixados diretamente nos caibros de sustentação (que podem ser de aço ou madeira) de ambos os lados, o que é caracterizado como ligação Linha-Linha. Podem também ser fixados face a face de um lado e por parafusos em barras resilientes pelo outro lado, caracterizado como ligação Linha-Ponto e ser fixado por barras resilientes em ambas as faces, caracterizando a ligação Ponto-Ponto, conforme Figura 9 (BISTAFA, 2011).

Um método gráfico simplificado para a estimativa da perda na transmissão sonora de painéis duplos baseado nos estudos de Sharp (1973) é apresentado por Bies e Hansen (2003) e Bistafa (2006). O método pode ser aplicado no caso de fixação em linha e pontual e consiste na determinação das coordenadas dos pontos A, B, C, e da abscissa do ponto D (Figura 10), aplicando-se a formulação apresentada na Tabela 1, e na estimativa das coordenadas do ponto A'. Nessa formulação o índice 1 é associado ao painel de menor frequência crítica.

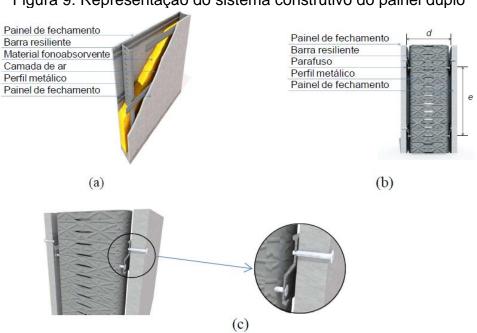


Figura 9: Representação do sistema construtivo do painel duplo

Fonte: RIBAS (2013), adaptado de BISTAFA (2011).

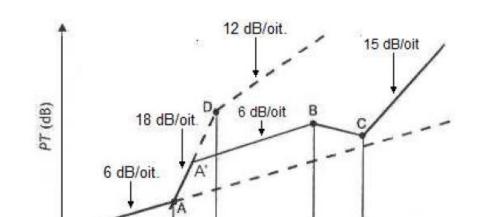


Figura 10: Gráfico para estimativa da *PT* em paredes duplas com painéis fixados no mesmo perfil.

Fonte: RIBAS (2013), adaptado de BIES; HANSEN (2003); BISTAFA (2011).

Frequência (Hz)

fe.

 $0.5 f_{c2}$ 

fez

Tabela 1: Perda na transmissão sonora segundo Sharp

| Ponto e coordenadas              | Equações   |      |  |  |  |
|----------------------------------|--|------|--|--|--|
| A (f <sub>0</sub> ; <i>PTA</i> ) | $PT_A = 20\log(M_1 M_2) + 20\log f_0 - 48 \tag{17}$  |      |  |  |  |
|                                  | a) Quando não há material absorvedor de som na cavidade de ar, $PT_B$ é igual $PT_{B1}$ dada por: $PT_{B1} = PT_A + 20log\left(\frac{fc1}{f0}\right) - 6$ b) Quando há material absorvedor de som na cavidade, $PT_B$ é dada pelo maio valor entre $PT_{B1}$ e $PT_{B2}$ , acrescido de 4, sendo $PT_{B2}$ dada por: i) fixação linha-linha: $PT_{B2} = 20\log M_1 + 10\log b_c + 30\log f_{c2} + 20\log \left[1 + \frac{M_2 f_{c1}^{1/2}}{M_1 f_{c2}^{1/2}}\right] - 78$ ii) fixação linha-pontual: $PT_{B2} = 20\log M_1 \text{ e} + 40\log f_{c2} - 99$ iii) fixação pontual-pontual: $PT_{B2} = 20\log M_1 \text{ e} + 40\log f_{c2} - 97 \text{ ou}$ $PT_{B2} = 20\log M_1 \text{ e} + 40\log f_{c2} + 20\log \left[1 + \frac{M_2 f_{c1}}{M_1 f_{c2}}\right] - 105$ |      |  |  |  |
| C (fc2; PTC)                     | a) Para $f_{C2} \neq f_{C1}$ : $PT_C = PT_B + 10\log \eta_2 + 6$<br>b) Para $f_{C2} = f_{C1}$ : $PT_C = PT_B + 10\log \eta_2 + 5\log \eta_1 + 6$   | (19) |  |  |  |
| D (fl; PTD)                      | $f_l = \frac{55}{d}$ $PT_D = $ é determinado graficamente  | (20) |  |  |  |

A menor frequência de ressonância do conjunto massa-ar-massa  $f \circ$  é dada por:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{1.8 \,\rho c^2 (M_1 + M_2)}{d \,M_1 \,M_2} \right)^{1/2} \tag{Hz}$$

Sendo:

- $\rho$  = Massa específica do material (kg/m³);
- *c* = Velocidade do som no ar (m/s);
- *d* = Espaçamento entre paredes ou a largura da cavidade (m);
- *e* = espaçamento entre parafusos na fixação pontual (m);
- $M_1$ ;  $M_2$  = Massas específicas superficiais das paredes (kg/m²);
- $f_1$  = frequência limite associada ao ponto D (Hz).

Para  $\rho ar = 1.21 \, kg/m^3$ 

$$f_0 = 80 \left( \frac{M_1 + M_2}{d M_1 M_2} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{Hz}$$

A frequência ( $f_i$ )ou frequência limite, referente à largura da cavidade entre os painéis (d) (BIES; HANSEN, 2003) é expressa pela Eq.(22).

$$f_i = \frac{c}{2\pi} = \frac{55}{d} \qquad (Hz)$$

#### 2.3 Avaliação do ruído

O conforto acústico pode ser analisado por meio dos níveis de pressão sonora (ruídos) de ambientes internos comparando-os com os níveis de critérios de conforto acústico conforme indicado na norma NBR 10152 (ABNT, 2017a), que apresenta níveis de ruído de acordo com o ambiente especificado. Em residências, para os dormitórios, o aconselhável é que o ruído esteja entre a faixa de 35 a 45 dB, nas salas de estar o ruído esteja na faixa de 40 a 50 dB e em apartamentos de hotéis varie de 35 a 45 dB (ABNT, 2017a).

A norma NBR 15575 (ABNT, 2013a) recomenda valores mínimos de perda na transmissão sonora de componentes construtivos especificados na Tabela 2, para ensaio em laboratório.

Tabela 2: Valores mínimos recomendados de PT dos componentes construtivos, para ensaio de laboratório

| Elemento   | PT (dB) |
|--|---------|
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde não há dormitório; parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual (corredores e escadas); e conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i> . | 45-49   |
| Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde há pelo menos um dormitório; e parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas.  | 50-54   |
| Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e   | 35-39   |

áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadas.

Fonte: ABNT (2013a).

Há também em nosso país a regulamentação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) que estabelece uma limitação de ruídos referentes a atividades de indústrias, comércios, lazer etc., para benefício da saúde e bem estar da população (BISTAFA, 2011).

#### 2.4 Pesquisas relevantes na área de análise acústica

Carneal e Fuller (2004) fizeram investigações experimentais e analíticas sobre o controle ativo da transmissão de som através de sistemas de painéis duplos, utilizando a técnica de controle estrutural acústico. Em geral, os dados obtidos validaram os resultados dessa técnica para o sistema de painéis duplos, garantindo o controle de desempenho acústico.

Souza *et al.* (2007) estudaram a eficiência do desempenho acústico e de vibrações de sistemas industrializados em aço, obtendo a caracterização dos parâmetros para otimização do uso, comparando sistemas de fechamentos horizontais e verticais quanto ao isolamento vibracional e acústico. A análise numérica se mostrou coerente às equações da norma ISO 2631 (1985), indicando que o procedimento de cálculo utilizado é adequado para a fase inicial de projetos.

Garcia, Vecci e Rodrigues (2008) analisaram o isolamento sonoro do ruído aéreo entre sistemas convencionais e painéis industrializados por meio de estudo experimental do isolamento sonoro de elementos de fechamento. Comparou-se o espectro da perda na transmissão sonora de um bloco de concreto autoclavado, de um painel de concreto com miolo EPS e de um painel de placa zincada mais EPS. Concluíram que há a possibilidade da utilização de expressões para prever o isolamento sonoro dos painéis de fechamento maciços, duplos com camada de ar interna ou sanduíches.

Diaz et al. (2010) buscaram encontrar o procedimento numérico mais eficiente para prever a perda na transmissão sonora por uma parede em multicamadas de

concreto leve entre as frequências de 100 a 5.000 Hz. Utilizando o método de elementos finitos, um modelo bidimensional com interação entre fluídos foi construído para planos verticais e horizontais, e seus resultados foram comparados a medições experimentais realizadas por um laboratório certificado. O procedimento numérico implementado foi considerado útil para avaliar o comportamento acústico dos painéis estudados.

Ribas (2013) propôs um método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações, aplicado a sistemas de fechamentos industrializados em painéis de placa cimentícia, gesso acartonado, pré-moldado de concreto, concreto celular autoclavado e poliestireno expandido, baseando na determinação da temperatura e umidade relativa no interior dos ambientes de edificações modelo. Foi feito o cálculo do tempo de reverberação aplicando-se uma formulação empírica e o módulo acústico do ESP-r, que utilizam os valores de temperatura e umidade obtidos na simulação numérica, além da estimativa da perda na transmissão sonora dos sistemas de fechamentos, aplicando-se um método gráfico. O estudo foi realizado com painéis simples e com painéis compostos por multicamadas e mostrou que os fechamentos em multicamadas, intermediados por lã de vidro e ar, proporcionam um desempenho térmico e acústico superior ao fechamento simples convencional, com uma melhora no desempenho, respectivamente, na ordem de 12% e de 18%.

Atalla (2014) analisou três variações da aplicação do Método de Transferência de Matriz. Primeiramente, por meio da modelagem da perda na transmissão sonora em painéis sanduiche compostos. Além disso, analisou a resposta de painéis submetidos a diferentes tipos de excitação e a modelagem numérica de sistemas de paredes duplos com isolantes. Concluiu-se que o método representa bem o efeito de excitação e a diminuição da perda de transmissão sonora devido à inserção de isolantes.

Gomes (2015) determinou experimentalmente as principais propriedades acústicas de materiais em multicamadas em um tubo de impedância. Uma formulação foi aplicada para combinações de materiais em que os ensaios experimentais obtivessem a comparação dos resultados obtidos no tubo de impedância para medição das propriedades acústicas. Foram efetuados 64 ensaios utilizando como

materiais a espuma de poliuretano, a espuma de polietileno, a cortiça e a fibra de coco. Foi possível diagnosticar que, em valores globais, para todas as faixas de frequência, as espumas apresentam o melhor desempenho, sendo que a espuma de polietileno apresentou coeficientes globais baixos com picos aleatórios de maior absorção sonora. A fibra de coco demonstrou resultados relevantes em dupla camada e a cortiça o pior desempenho como material absorvedor.

Roozen *et al.* (2015) analisou experimentalmente a influencia da fixação de painel através de medições do índice de redução de som padronizado, utilizando um vibrômetro a *laser*. O número de parafusos e a força fixação foram variados em sete configurações de painéis de madeira leve. A diminuição da força de fixação e do numero de parafusos aumentou significantemente a taxa de redução do som.

Fortes (2018) elaborou um modelo computacional para determinação da perda na transmissão sonora (PT) em função da frequência em painéis de fechamento industrializados, baseado na Lei da Massa e num método gráfico simplificado. O programa abrange quatro tipos de modelos (painéis industrializados simples e duplos, com e sem absorvedores sonoros entre as placas que compõem os painéis duplos). O programa apresentou resultados que foram considerados adequados para a análise de painéis simples e duplos pela perda de transmissão sonora.

Zenerato et al. (2019) analisaram as diferenças no isolamento de sons aéreos baseando na norma NBR 15575 (2013a). Eles avaliaram, a partir de parâmetros em função de frequências, dois modelos de placas (placa plana magnesiana e placa plana de fibrocimento). Mostraram que placas planas cimentícias a base de magnésio obtiveram um ganho de 4 dB no isolamento quando comparadas às placas convencionais de fibrocimento.

Scherer (2005) realizou ensaios de isolamento acústico em nove diferentes tipos e espessuras de vidros. De início, foram feitos em placas únicas, em seguida variou-se o espaçamento da camada de ar entre placas duplas. Após as análises dos ensaios foi constatado que, em casos onde havia camadas duplas, o isolamento acústico era maior.

#### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Sistemas de Fechamentos

Nesse trabalho são analisados os seguintes sistemas de fechamentos: Alvenaria de tijolo cerâmico (ATC), Concreto celular autoclavado (CCA), Gesso acartonado (GEA), *Oriented Strand Board*, ou, Painel de Tiras de Madeira Orientadas (OSB), Placa cimentícia (PLC), Poliestireno expandido (EPS), Pré-moldado de concreto (PMC), Vidro (VDO). São estudados também sistemas de fechamentos compostos por multicamadas desses materiais aplicando-se lã de vidro (LVI) como isolante acústico entre os painéis.

#### 3.1.1 Propriedades termofísicas

Na Tabela 3 apresentam-se as propriedades termofísicas dos sistemas de fechamentos estudados.

Tabela 3: Propriedades termofísicas dos materiais dos sistemas de fechamentos

| Material       | Espessura<br>(mm) | Massa<br>específica<br>(kg/m³) | Condutividade<br>(W/m.k) | Calor<br>(K/kg.K) | Absorsortância<br>Térmica | Absortância<br>Solar |
|----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|----------------------|
| ATC            | 150               | 1800                           | 1,050                    | 920               | 0,9                       | 0,5                  |
| CCA            | 100               | 500                            | 0,170                    | 1000              | 0,9                       | 0,7                  |
| GEA            | 20                | 800                            | 0,16                     | 1090              | 0,9                       | 0,4                  |
| OSB            | 100               | 730                            | 0,17                     | 2000              | 0,85                      | 0,65                 |
| PLC            | 12,5              | 1330                           | 0,35                     | 1050              | 0,9                       | 0,6                  |
| EPS            | 50                | 25                             | 0,030                    | 1000              | 0,9                       | 0,3                  |
| PMC            | 100               | 2400                           | 1,93                     | 1000              | 0,9                       | 0,7                  |
| VDO            | 15                | 2500                           | 1,05                     | 750               | 0,8                       | 0,05                 |
| Lã de<br>vidro | 50                | 100                            | 0,045                    | 700               | 0,9                       | 0,5                  |

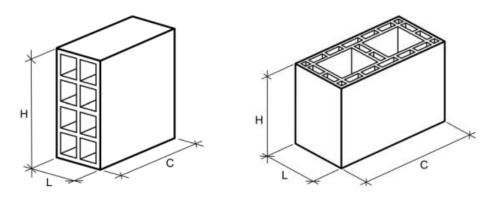
Fonte: NBR 15220 (2008); RIBAS (2013).

Os sistemas de fechamentos de alvenaria (ATC), concreto celular autoclavado (CCA), pré-moldado de concreto (PMC) e vidro (VDO) são analisados como painéis simples. E os sistemas compostos por poliestireno expandido (EPS), gesso acartonado (GEA) e o painel de tiras de madeira orientadas (OSB) são analisados como painéis duplos.

#### 3.1.2 Alvenaria de tijolo cerâmico (ATC)

De acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2017b), o sistema de fechamento em alvenaria de tijolo cerâmico pode ser caracterizado por dois tipos. A alvenaria de vedação, por servir como elevação de paredes tanto em sistema externo quanto interno. Em geral, utilizam-se elementos furados. Na Figura 11 mostram-se blocos dessa categoria, que podem possuir furação na direção horizontal e vertical.

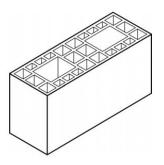
Figura 11: Bloco cerâmico de vedação: com furos na horizontal e vertical



Fonte: ABNT (2017b).

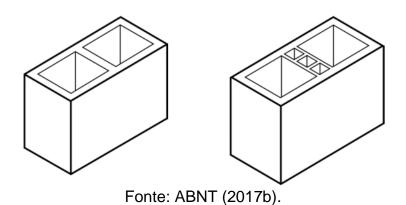
A alvenaria estrutural compõe a estrutura da edificação e por isso os seus blocos possuem características específicas para tal. Nesse caso, os blocos possuem furações na direção vertical, que podem ser preenchidos com concreto e se tornarem praticamente maciços. Na Figura 12 ilustra-se o bloco de paredes vazadas e na Figura 13 ilustra-se o bloco próprio para parede maciça.

Figura 12: Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas



Fonte: ABNT (2017b).

Figura 13: Bloco cerâmico estrutural para paredes maciças



A alvenaria racionalizada tem a opção de compor a estrutura bem como o sistema de fechamento, sendo caracterizada pela compatibilização com as instalações e possuir uma execução modular agregando o aproveitamento de recursos.

## 3.1.3 Concreto celular autoclavado (CCA)

Os blocos de concreto celular autoclavado possuem em sua composição uma mistura de cimento, cal, areia, água, materiais ricos em sílica e pó de alumínio que possui função expansora, além de ser um sistema leve devido à utilização de produtos formadores de gases (ABNT, 2013b).

Segundo Macedo (2004), há também painéis autoclavados, que podem ser utilizados como elementos de fechamento. Possuem dimensões variadas, facilidade de montagem e grande área de cobertura, resultando em uma execução rápida e prática.

### 3.1.4 Gesso acartonado (GEA)

A norma NBR 14715 (ABNT, 2010) especifica que as placas de gesso acartonado sejam fabricadas por um processo de laminação contínua da mistura de gesso, água e aditivos, possuam características sólidas, faces planas, não apresentem manchas e que o cartão contribua com a função do gesso. Na Tabela 4 indicam-se as características dos três diferentes tipos de placas e onde podem ser usadas.

Tabela 4: Tipos de placas de gesso acartonado

| edes, revestimentos e forros em áreas secasª  |
|---|
|   |
| edes, revestimentos e forros em áreas sujeitas rmitentemente à umidade                                      |
| edes, revestimentos e forros em áreas secas, com<br>cas de características especiais de resistência ao fogo |
| inte<br>Par   |

Fonte: ABNT (2010).

As placas de gesso acartonado possuem dois tipos de bordas, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Tipos de bordas das placas de gesso acartonado

| Tipo de Borda   | Código | Desenho |
|-----------------|--------|---------|
| Borda rebaixada | BR     |         |
| Borda quadrada  | BQ     |         |

Fonte: ABNT (2010).

Como características geométricas exigidas pela norma NBR 14715 (ABNT, 2010), as placas de gesso acartonado devem atender os limites mostrados na Tabela 6.

Tabela 6: Características das placas de gesso acartonado

| Característica geométrica |                   |        | Tolerância   | Limite             |
|---------------------------|-------------------|--------|--------------|--------------------|
| Espessura                 | 9,5 mm<br>12,5 mm |        | ± 0,5 mm     | -                  |
|                           |                   |        | _            | -                  |
|                           | 15,0 m            | nm     |              | -                  |
| Largura                   |                   |        | + 0 / - 4 mm | Máximo de 1 200 mm |
| Comprimento               |                   |        | + 0 / - 5 mm | Máximo de 3 600 mm |
| Esquadro                  |                   |        | ≤ 2,5 mm     | -                  |
| Rebaixoª                  | Largura           | Mínimo | -            | 40 mm              |
|                           |                   | Máximo | -            | 80 mm              |
|                           | Profundidade      | Mínimo | -            | 0,6 mm             |
|                           |                   | Máximo | -            | 2,5 mm             |

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup>A borda rebaixada deve estar situada na face da frente da placa e sua largura e profundidade devem ser medidas de acordo com a norma NBR 14715-1(2010).

Fonte: ABNT (2010).

## 3.1.5 Placa de madeira (OSB)

As placas de madeira OSB (*Oriented Strand Board*, que significa Painel de Tiras de Madeira Orientadas) são compostas por tiras de madeira dispostas na mesma direção. Para determinar a escolha das madeiras, Loschi Neto (2007) identifica que as propriedades físicas, mecânicas e químicas devem ser levadas em consideração, principalmente a umidade e massa específica (básica e aparente).

De acordo com Carrasco e Azevedo Júnior (2003), a massa específica afeta diretamente na velocidade de propagação da onda ultra-sônica, devido à umidade presente na madeira. A norma NBR 7190 (ABNT, 2011) define que a densidade da madeira é a massa específica convencional que é o resultado da divisão entre sua massa seca pelo volume saturado.

## 3.1.6 Placa cimentícia (PLC)

De acordo com a norma NBR 15498 (ABNT, 2016) os painéis de placas cimentícias, referentes à classe A, possuem quatro categorias de resistência à tração na flexão, e são recomendados para serem aplicadas em fachadas externas sujeitas à ação de intempéries (sol, chuva, calor e umidade) e tem-se a opção de serem revestidas. Os painéis de placas cimentícias referentes à classe B possuem cinco categorias de resistência à tração na flexão, e são recomendados para serem aplicados internamente. E, quando em fachadas externas, excepcionalmente não são afetados por ações das intempéries. Uma recomendação que a norma solicita aos fabricantes é a indicação em seus produtos quanto às respectivas classes e categorias.

A norma NBR 15498 (ABNT, 2016) especifica que nas placas cimentícias devem ser eliminadas as rebarbas e que as dimensões de largura e comprimento podem ser de acordo com fabricante, porém deve-se obedecer a uma espessura máxima de 30 mm. Na Tabela 7, mostram-se os requisitos de resistência à tração na flexão das placas cimentícias.

Tabela 7: Requisitos de resistência à tração na flexão

| Categoria | Resistência [MPa]                     |    |  |  |
|-----------|---------------------------------------|----|--|--|
|           | Placas da classe A Placas da classe E |    |  |  |
| 1         | -                                     | 4  |  |  |
| 2         | 4                                     | 7  |  |  |
| 3         | 7                                     | 10 |  |  |
| 4         | 13                                    | 16 |  |  |
| 5         | 18                                    | 22 |  |  |

Fonte: ABNT (2016).

## 3.1.7 Poliestireno expandido (EPS)

Segundo Oliveira (2013), o poliestireno expandido (EPS), mais conhecido pelo nome da marca ISOPOR®, é vantajoso de se usar por ser um material isolante, leve, maleável e ter baixo custo.

Oliveira (2013) cita como vantagem desse material a condutividade térmica, a absorção de impactos, o baixo peso, a boa resistência mecânica, a baixa absorção de água, a versatilidade de manuseio, a resistência ao envelhecimento e compressão, a reações químicas do cimento, gesso, cal e água, além de ser um material inerte, não contaminante do solo, água e ar. Pode ser reaproveitado, reciclado e até voltar às condições de matéria prima.

Lamounier (2008) cita que uma das principais vantagens do poliestireno é o fato de poder ser reutilizado, pois, o material não perde suas propriedades básicas ao passar do estado sólido para o líquido e retornar ao estado sólido, podendo obter novas formas e dimensões.

O EPS é utilizado no Brasil em geral como sistema de fechamento para o interior da edificação, possui baixo custo, baixo peso e pode ser reciclado. O painel possui um núcleo de poliestireno expandido entre duas malhas de tela de aço soldadas e é revestido por uma camada de argamassa projetada nas duas faces.

## 3.1.8 Pré-moldado de concreto (PMC)

Segundo Melo (2007), a vantagem de se utilizar o sistema pré-moldado de concreto armado em fechamentos é a agilidade na execução. Porém deve-se ter em planos o conceito estrutural da edificação, visando o ganho de tempo na mão de obra. A edificação se torna mais rápida e mais limpa. Em contrapartida, esse sistema é pouco utilizado em pequenas edificações habitacionais.

Para El Debs (2017) o sistema pré-moldado de concreto pode ser inviabilizado devido aos custos referentes à fabricação, ao transporte, ao acesso a obra e à dificuldade de montagem das peças.

## 3.1.9 Vidro (VDO)

Fachadas inteiras envidraçadas têm sido adotadas em diferentes edificações independente do clima e situação acústica local. Dos variados tipos de vidros disponíveis no mercado da construção civil, têm-se os vidros monolíticos comuns, laminados, temperados e duplos, que podem ter propriedades e espessuras diversas, podendo ser utilizados em situações específicas, como sistema de fechamento interno e externo, em camadas simples ou duplas, com ar entre as placas.

Segundo Schvarstzhaupt; Tutikian; Nunes (2014), o comportamento acústico dos vidros varia conforme sua espessura e composição e é comum a aplicação de vidros de espessuras mais elevadas para aumentar o desempenho acústico do sistema de fechamento. Também são aplicados vidros duplos e vidros laminados ligados por uma película de polivinilbutiral (PVB) para melhorar o desempenho acústico do sistema, sendo que esses dois últimos apresentam desempenho acústico melhor em relação ao vidro simples comum.

### 3.2 Composição dos fechamentos

Neste estudo os sistemas de fechamentos são nomeados de acordo com as siglas mostradas na Tabela 8. As propriedades dos materiais dos sistemas de fechamentos são descritas na Tabela 9.

Tabela 8: Correlação do tipo de material com respectiva sigla

| MATERIAL                     | SIGLA |
|------------------------------|-------|
| Alvenaria de tijolo cerâmico | ATC   |
| Ar                           | AR    |
| Concreto celular autoclavado | CCA   |
| Gesso acartonado             | GEA   |
| Lã de vidro                  | LVI   |
| OSB (Oriented Strand Board)  | OSB   |
| Placa cimentícia             | PLC   |
| Poliestireno expandido       | EPS   |
| Pré-moldado de concreto      | PMC   |
| Vidro                        | VDO   |

Tabela 9: Propriedades dos materiais dos sistemas de fechamentos

| Material | Módulo de          | Coeficiente de | Massa      | Coeficiente de |
|----------|--------------------|----------------|------------|----------------|
|          | elasticidade (GPa) | Poisson (v)    | específica | amortecimento  |
|          |                    |                | (kg/m³)    |                |
| ATC      | 16,20              | 0,15           | 1890       | 0,0050         |
| AR       | 0,00               | 0,00           | 1,225      | 0,0000         |
| CCA      | 1,35               | 0,15           | 500        | 0,0150         |
| GEA      | 2,00               | 0,20           | 750        | 0,1000         |
| LVI      | 0,00               | 0,00           | 10         | 0,0000         |
| OSB      | 11,05              | 0,15           | 730        | 0,0090         |
| PLC      | 0,12               | 0,20           | 1330       | 0,0050         |
| EPS      | 0,0025             | 0,08           | 960        | 0,0050         |
| PMC      | 23,00              | 0,20           | 2400       | 0,0200         |
| VDO      | 60,00              | 0,20           | 2500       | 0,0006         |

## 3.2.1 Composição dos fechamentos simples

As características das composições e respectivas dimensões dos sistemas de fechamentos simples são descritas na Tabela 10. A partir desse ponto, no texto,

esses sistemas de fechamentos são referenciados pelo nome do painel conforme essa tabela.

Tabela 10: Composição e dimensões dos sistemas de fechamentos simples

| Material | Composição e espessura (mm) |
|----------|-----------------------------|
| ATC      | ATC (150)                   |
| CCA      | CCA (100)                   |
| PMC      | PMC (100)                   |
| VDO      | VDO (15)                    |

## 3.2.2 Composição dos fechamentos duplos

As características das composições e respectivas dimensões dos sistemas de fechamentos duplos são descritas na Tabela 11. A partir desse ponto, no texto, os sistemas de fechamentos duplos são referenciados pelo nome do painel conforme essa tabela.

Tabela 11: Composição e dimensões dos sistemas de fechamentos

| Material | Composição e espessura (mm)            |
|----------|--|
| EPS      | EPS (50)-LVI (50)-AR(25)-EPS(50)       |
| GEA      | GEA (20)-LVI(50)-AR(25)-GEA (20)       |
| OSB      | OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-OSB(100)     |
| OSB-GEA  | OSB (100)-LVI (50)-AR(25)-GEA(20)      |
| PLC      | PLC (12,5)-LVI (50)-AR (25)-PLC (12,5) |

## 3.3 Perda na transmissão sonora - Modelo computacional aplicado

Fortes (2018) implementou um modelo computacional baseado na Lei da Massa e nos métodos gráficos apresentados para estimar a perda na transmissão sonora em painéis simples e em multicamadas, que considera o tipo de ligação entre os painéis, sendo aplicado nesse trabalho. O modelo, chamado de PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA, foi desenvolvido em plataforma Java, por ela possuir uma linguagem mais simples do que outras plataformas, ser compatível com vários

sistemas operacionais, além de ser intuitivo o seu funcionamento. Foi criada uma interface gráfica com o intuito de gerar uma melhor interação com o usuário e a perda na transmissão sonora é dada em função da frequência, com a finalidade de ser possível avaliar e comparar o desempenho acústico de painéis de fechamentos utilizados na construção civil.

O modelo permite que se insira uma listagem de variados materiais de fechamento utilizados no mercado e suas características; possibilita uma fácil interação com o usuário tanto na entrada de dados quanto na saída de resultados; e gera gráficos e relatórios ao final dos testes de análise.

Nas Figuras 14, 15 e 16 são mostradas as interfaces do modelo computacional com o usuário para a seleção dos materiais que irão compor o sistema de fechamento. O material é caracterizado por suas propriedades tais como coeficiente de elasticidade, coeficiente de Poisson, massa específica (ou densidade) e coeficiente de amortecimento.

Na Figura 14 é mostrada a interface do modelo computacional onde é inserido o nome da análise, o tipo de painel, o método da análise, o tipo de ligação, os materiais dos painéis, espessura, largura e comprimento. Na Figura 15 é mostrada sua interface onde se tem uma lista de painéis salvos prontos para uma simulação. Na Figura 16 é mostrada uma tela com vários materiais inseridos no modelo.



Figura 14 - Interface do modelo computacional (Dados da análise)

Figura 15 - Interface do modelo computacional (Painéis salvos)

CONFIGURAÇÕES

ATC - L.M

ATC - M.G

CCA - M.G

EPS - L.L

EPS - L.P

EPS - P.P

GEA - 12,5 - L.L.

GEA - 12,5 - L.P.

Figura 16 – Interface do modelo computacional (Seleção dos materiais) 0 Selecione o Material Elasticidade [GPa] Coef. Poisson [v] Material Densidade [kg/m³] Amortecimento [η] Material Elasticidade Poisson ID Densidade Amortecimento 0.33 1170.0 0.01 8 ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO REVESTIDA COM ARGAMASSA - ATC 16.2 0.15 1890.0 0.005 0.0 0.0 1.225 0.0 0.35 ASFALTO 15 7.7 0.3 1800.0 ACO CARBONO 210.0 7800.0 6.0E-4 0.27 27 BLOCO DE ALVENARIA 0.09 1100.0 0.006 10.5 BORRACHA DURA 30 1.7 0.4 950.0 0.08 3 CHAPA DE ALUMÍNIO ENRIJECIDO 65.2 0.33 2700.0 1.0E-4 CHAPA DE AÇO GALVANIZADO 207.0 0.29 7800.0 1.0F-4 25 СНИМВО 11.6 0.4 11000.0 0.015 0.35 COBRE 8900.0 21 46.0 0.002 CONCRETO (DENSO) 2300.0 0.005 18 20.0 0.1 CONCRETO (LIGHT) 1300.0 0.005 Excluir Incluir Alterar Selecionar Fechar

### 3.4 Validação do modelo computacional

O *software* elaborado por Fortes (2018) foi validado conforme os procedimentos de Bies e Hansen (2003) e Bistafa (2011). As características e descrições do teste de validação, realizado para uma parede dupla de gesso acartonado intermediada por lã de vidro, estão descritas nas Tabelas 12, 13 e 14. Na Figura 17 ilustra-se a perda na transmissão sonora obtida no teste de validação.

Tabela 12: Características da PT dos componentes do teste de validação

|   | NOME DA ANÁLISE, VALIDAÇÃO DO COSTIMADE     |                        |              |       |                    |        |                          |          |       |        |
|---|---|------------------------|--------------|-------|--------------------|--------|--------------------------|----------|-------|--------|
| Parede Dupla         Linha-Linha         3 m         2,44 m           Características:         Painéis 1 e 2: Material absorvedor: Lã de vidro (LVI)           Módulo de elasticidade         2.000 MPa         0 Pa           Coeficiente de Poisson         0,2         0,0           Espessura         0,02 m         0,10 m           Massa específica superficial [M]         12,75 kg/m²         -           Massa específica         750 kg/m³         10 kg/m³           Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,4) |   |                        |              |       |                    | AÇAU D |                          |          |       |        |
| Painéis 1 e 2:         Material absorvedor:           Gesso acartonado (GEA)         Lã de vidro (LVI)           Módulo de elasticidade         2.000 MPa         0 Pa           Coeficiente de Poisson         0,2         0,0           Espessura         0,02 m         0,10 m           Massa específica superficial [M]         12,75 kg/m²         -           Massa específica         750 kg/m³         10 kg/m³           Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,5)   | Tipo  | de fech                | amento:      |       | Tipo de ligação:   |        | Altura [a]: Largura [b]: |          |       | a [b]: |
| Características:         Gesso acartonado (GEA)         Lã de vidro (LVI)           Módulo de elasticidade         2.000 MPa         0 Pa           Coeficiente de Poisson         0,2         0,0           Espessura         0,02 m         0,10 m           Massa específica superficial [M]         12,75 kg/m²         -           Massa específica         750 kg/m³         10 kg/m³           Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,5)  | I   | Parede Dupla           |              |       | Linha-Linha        |        | 3 m 2,44 m               |          |       |        |
| Módulo de elasticidade         2.000 MPa         0 Pa           Coeficiente de Poisson         0,2         0,0           Espessura         0,02 m         0,10 m           Massa específica superficial [M]         12,75 kg/m²         -           Massa específica         750 kg/m³         10 kg/m³           Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,5)  | •   | Características:       |              |       | Painéis 1 e 2:     |        | Material absorvedor:     |          |       |        |
| Coeficiente de Poisson         0,2         0,0           Espessura         0,02 m         0,10 m           Massa específica superficial [M]         12,75 kg/m²         -           Massa específica         750 kg/m³         10 kg/m³           Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)  | C   |                        |              | G     | esso acartonado (0 | SEA)   | Lã                       | de vidro | (LVI) |        |
| Espessura       0,02 m       0,10 m         Massa específica superficial [M]       12,75 kg/m²       -         Massa específica       750 kg/m³       10 kg/m³         Amortecimento       0,1       0,0         Rigidez à flexão [B]       852,95 N.m       -         Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)         Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)   | Módı  | ulo de ela             | asticidad    | е     | 2.000 MPa          |        |                          | 0 Pa     |       |        |
| Massa específica superficial [M]       12,75 kg/m²       -         Massa específica       750 kg/m³       10 kg/m³         Amortecimento       0,1       0,0         Rigidez à flexão [B]       852,95 N.m       -         Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)         Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)   | Coef  | Coeficiente de Poisson |              | n     | 0,2                |        | 0,0                      |          |       |        |
| [M]       12,75 kg/m²       -         Massa específica       750 kg/m³       10 kg/m³         Amortecimento       0,1       0,0         Rigidez à flexão [B]       852,95 N.m       -         Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)         Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)  |   | Espessura              |              |       | 0,02 m             |        | 0,10 m                   |          |       |        |
| Amortecimento         0,1         0,0           Rigidez à flexão [B]         852,95 N.m         -           Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)           Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)  | Massa                                       |                        | a superfi    | cial  | 12,75 kg/m²        |        | -                        |          |       |        |
| Rigidez à flexão [B]       852,95 N.m       -         Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)         Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,2)  | Ma  | assa esp               | ecífica      |       | 750 kg/m³          |        | 10 kg/m³                 |          |       |        |
| Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz)  Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,5)   | Α   | mortecir               | nento        |       | 0,1                |        | 0,0                      |          |       |        |
| Modo (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) (3,  | Rig   | idez à fle             | à flexão [B] |       | 852,95 N.m         |        | -                        |          |       |        |
|   | Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz) |                        |              |       |                    |        |                          |          |       |        |
| Frog 7 20 42 16 20 50 30 43 6   | Modo  | (1,1)                  | (1,2)        | (1,3) | (2,1)              | (2,2)  | (2,3)                    | (3,1)    | (3,2) | (3,3)  |
| 116q. 1 20 42 10 29 30 30 43 0  | Freq.                                       | 7                      | 20           | 42    | 16                 | 29     | 50                       | 30       | 43    | 65     |

Tabela 13: Características das frequências críticas no teste de validação

| Frequência critica 1 [fc1]             | 2289 Hz |
|--|---------|
| Frequência critica 2 [fc2]             | 2289 Hz |
| Frequência de encontro [A']            | 276 Hz  |
| Frequência limite [f <sub>i</sub> ]    | 550 Hz  |
| Perda na transmissão sonora em D [PTD] | 64 dB   |

Tabela 14: Resultado das frequências com a perda na transmissão sonora

| Perda na Transmissão Sonora [dB] |
|----------------------------------|
| 14                               |
| 20 [PTA]                         |
| 46 [PTA']                        |
| 59 [PTB]                         |
| 50 [PTC]                         |
| 65                               |
|                                  |

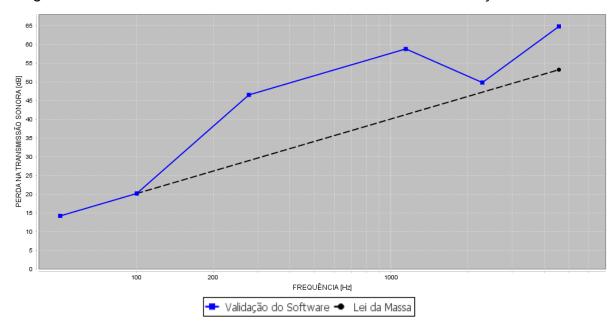


Figura 17: Perda na transmissão sonora obtida no teste de validação do software

Na Figura 17 é então mostrada a curva de perda na transmissão sonora proposta por Bies e Hansen (2003) e Bistafa (2011) para o sistema de fechamento duplo de gesso acartonado estimada por meio do modelo computacional desenvolvido por Fortes (2018).

Considera-se assim que o modelo para análise da perda na transmissão sonora está validado tendo mostrado resultados coerentes com estudos anteriores, permitindo uma análise acústica rápida e definição do sistema de fechamento para edificações ainda na fase de concepção de projeto.

## **CAPÍTULO 4**

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são mostrados os resultados obtidos a partir do modelo computacional PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA, utilizando os materiais e métodos descritos no Capítulo 3. Os resultados são divididos em três partes, apresentando-se as curvas de perda na transmissão sonora em função da frequência para os fechamentos simples e duplos em estudo e para a alvenaria de tijolo cerâmico, aplicando-se a Lei da Massa e o Método Gráfico: painéis simples, painéis duplos e painéis duplos considerando-se as ligações L.L, L.P, P.P. A análise dos resultados é realizada comparando-se o comportamento dos painéis com o comportamento da alvenaria em termos de perda na transmissão sonora.

A análise é realizada para frequências entre 500 a 2000 Hz que é um intervalo onde estão importantes frequências da fala, que pode ser indicado para edificações residenciais (BISTAFA 2006).

Comparam-se também os resultados dos painéis com os valores mínimos de perda na transmissão sonora recomendados pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), conforme a Tabela 2. Para atender os critérios da norma, adota-se, nesta análise, que o painel tenha uma perda na transmissão sonora maior do que 35 dB para um adequado desempenho acústico.

### 4.1 Painéis simples

Para os painéis simples foram realizadas simulações, comparando-se o desempenho acústico da ATC com o desempenho acústico do CCA, mostrado na Figura 18; desempenho da ATC com o desempenho do PMC, mostrado na Figura 19; e desempenho da ATC com o desempenho do VDO, mostrado na Figura 20. Adota-se a sigla M.G. para indicar os resultados obtidos pelo método gráfico.

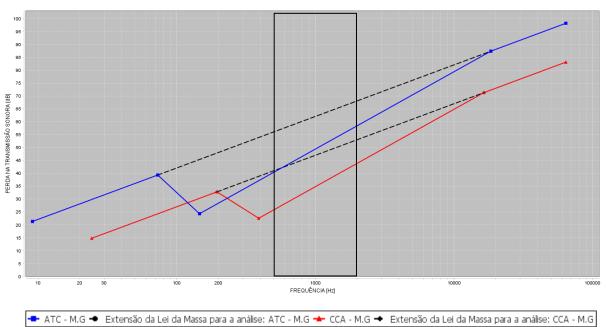
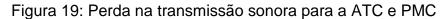
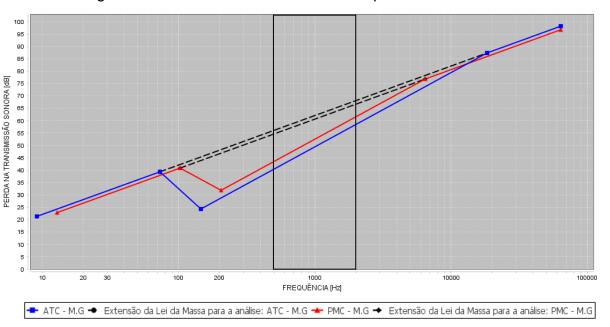


Figura 18: Perda na transmissão sonora para a ATC e CCA





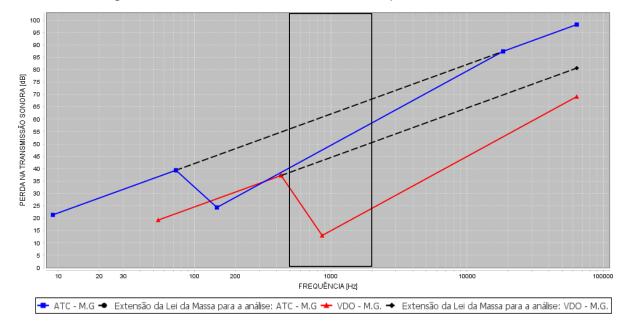


Figura 20: Perda na transmissão sonora para a ATC e VDO

Para o intervalo de frequências entre 500 e 2000 Hz, tem-se que a ATC proporciona maior perda na transmissão sonora em relação ao CCA e VDO, tanto para a Lei da Massa quanto para o Método Gráfico. Considerando a frequência de 1000 Hz para o Método Gráfico, estima-se uma perda na transmissão sonora de 49 dB para a ATC, 35 dB para o CCA, 52 dB para o PMC e 15 dB para o VDO (Figuras 18, 19 e 20).

O PMC obteve os maiores valores em relação aos demais quanto à perda na transmissão sonora em 500, 1000 e 2000 Hz. A análise comparativa entre os painéis simples ATC, CCA, PMC e VDO mostra que o PMC proporciona maior perda na transmissão sonora. Na Tabela 15 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz.

Tabela 15: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência em sistemas de fechamentos compostos por ATC e painéis simples

| Frequência | Perda na transmissão sonora em painéis (dB) |      |      |      |  |  |
|------------|---|------|------|------|--|--|
| (Hz)       | ATC   | CCA  | PMC  | VDO  |  |  |
| 500        | 41,0  | 26,5 | 43,5 | 31,5 |  |  |
| 1000       | 49  | 35   | 52   | 15   |  |  |
| 2000       | 58,5  | 43,5 | 62   | 23,5 |  |  |

Como resultado, tem-se que ATC e PMC, nas frequências analisadas, atendem o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado neste trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a). O CCA não atende esse critério para a frequência de 500 Hz e o VDO não atende para nenhuma das frequências.

#### 4.2 Painéis duplos com ligações Linha-Linha

Foram realizadas simulações comparativas do desempenho acústico dos painéis duplos EPS, GEA, OSB-GEA, OSB e PLC, comparando-os ao desempenho da ATC, cujos gráficos estão mostrados nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25, respectivamente. A comparação é realizada considerando-se a ligação Linha-Linha. Assim, na Figura 21 tem-se a comparação entre a ATC com o painel duplo de EPS. Na Figura 22 tem-se a comparação entre a ATC com o painel duplo de GEA. Na Figura 23 tem-se a comparação entre a ATC com o painel duplo de OSB. Na Figura 24 tem-se a comparação entre a ATC com o painel duplo de OBS-GEA. E na Figura 25 tem-se a comparação entre a ATC com o painel duplo de PLC.

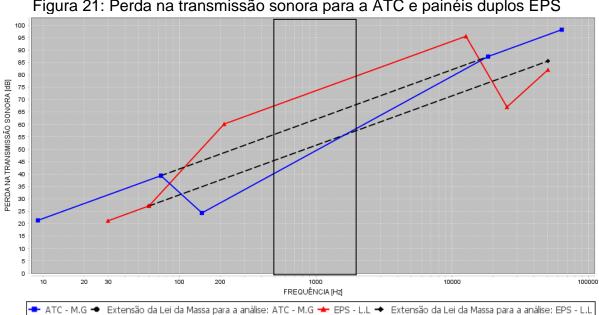
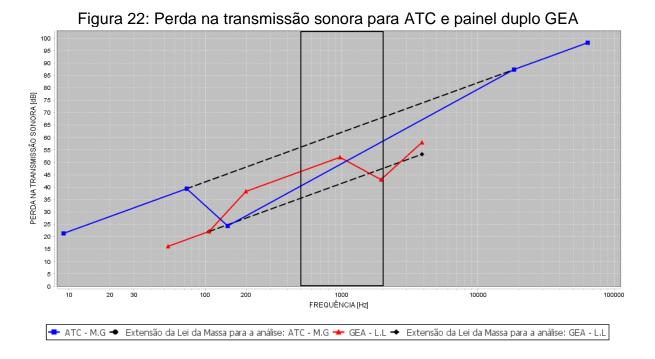
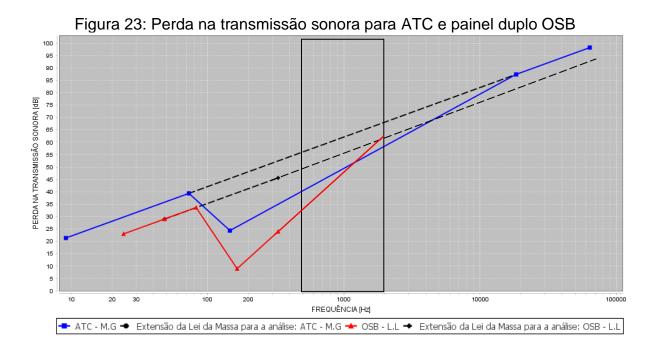


Figura 21: Perda na transmissão sonora para a ATC e painéis duplos EPS





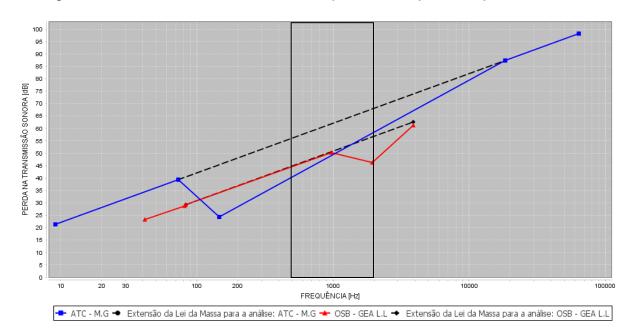
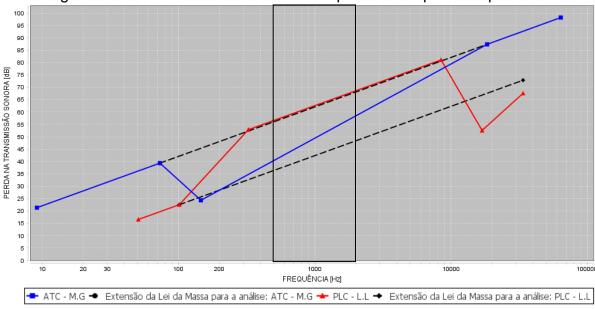


Figura 24: Perda na transmissão sonora para ATC e painel duplo OSB - GEA





Na Tabela 16 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se os painéis ATC, EPS, GEA, OSB-GEA, OSB e PLC.

Tabela 16: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência de sistemas de fechamentos compostos por ATC e painéis duplos

| Frequência |      | Perda na transmissão sonora (dB) |      |         |      |      |  |  |  |  |
|------------|------|----------------------------------|------|---------|------|------|--|--|--|--|
| (Hz)       | ATC  | EPS                              | GEA  | OSB-GEA | OSB  | PLC  |  |  |  |  |
| 500        | 41   | 68,5                             | 46,5 | 44      | 33   | 57   |  |  |  |  |
| 1000       | 49   | 73,5                             | 51,5 | 50      | 49   | 63   |  |  |  |  |
| 2000       | 58,5 | 79                               | 43,5 | 46,5    | 61,5 | 68,5 |  |  |  |  |

Para o intervalo de frequência entre 500 e 2000 Hz, tem-se que a ATC proporciona uma maior perda na transmissão sonora apenas na frequência de 500 Hz em relação ao painel OSB e, na frequência de 2000 Hz, para o painel OSB-GEA.

Comparando somente os sistemas duplos entre si, o EPS se destaca como o painel que possui maior perda na transmissão sonora nas dadas frequências, seguido pelos PLC, GEA, OSB-GEA e OSB.

Comparando o resultado dos painéis com o valor mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), somente o painel OSB, na frequência de 500 Hz, não proporciona desempenho acústico adequado, por apresentar valor menor que 35 dB.

## 4.3 Painéis duplos com ligações Linha-Linha, Linha-Ponto, Ponto-Ponto

Outra análise foi realizada para os painéis duplos considerando-se as ligações L.L, L.P e P.P. As simulações comparativas do desempenho acústico dos painéis duplos EPS, GEA, OSB-GEA, OSB e PLC são mostrados nas Figuras 26, 27, 28, 29 e 30, respectivamente. Em algumas situações as linhas coincidiram (curvas sobrepostas) significando que os resultados obtidos foram os mesmos para duas ou três situações de ligação. Na Figura 26 destaca-se que as curvas para a perda na transmissão sonora das ligações L.P e P.P são coincidentes e estão sobrepostas.

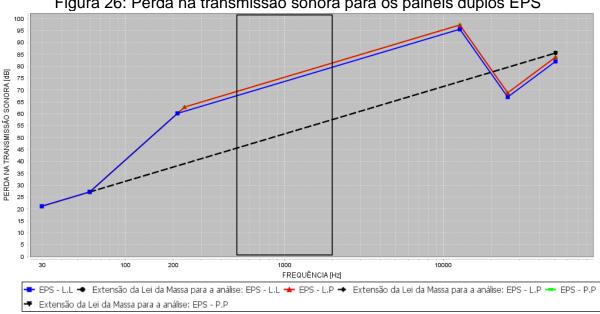


Figura 26: Perda na transmissão sonora para os painéis duplos EPS

Na Tabela 17 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se o painel EPS variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 17: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência do painel duplo EPS com ligações L.L, L.P e P.P

| Fraguância (Uz)   | Perda na transmissão sonora (dB) |           |           |  |  |  |  |
|-------------------|----------------------------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| Frequência (Hz) — | EPS - L.L                        | EPS - L.P | EPS - P.P |  |  |  |  |
| 500               | 68                               | 69        | 69        |  |  |  |  |
| 1000              | 74                               | 76,5      | 76,5      |  |  |  |  |
| 2000              | 80                               | 82        | 82        |  |  |  |  |

Para a análise da perda da transmissão sonora no painel duplo EPS, a ligação L.L apresenta valores inferiores quando comparada com as ligações L.P e P.P e todos os valores obtidos para as três ligações, nas dadas frequências, atendem o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Na Figura 27 destaca-se que as curvas para a perda na transmissão sonora das ligações L.P e P.P são coincidentes e também estão sobrepostas.

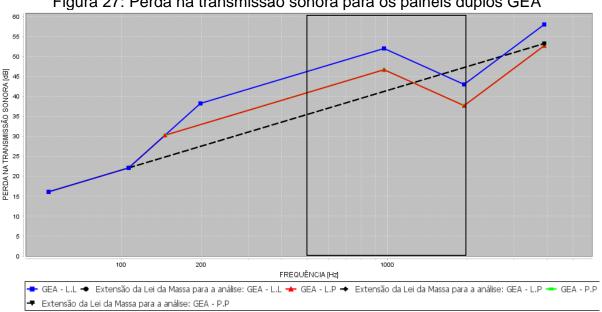


Figura 27: Perda na transmissão sonora para os painéis duplos GEA

Na Tabela18Tabela 18, apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referente às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se o painel GEA variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 18: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência do painel duplo GEA com ligações L.L, L.P e P.P

| Fraguância (Uz) | Perda na transmissão sonora (dB) |           |           |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| Frequência (Hz) | GEA - L.L                        | GEA - L.P | GEA - P.P |  |  |  |  |
| 500             | 47                               | 41        | 41        |  |  |  |  |
| 1000            | 52                               | 47        | 47        |  |  |  |  |
| 2000            | 43,5                             | 38,5      | 38,5      |  |  |  |  |

Para a análise da perda na transmissão sonora no painel duplo GEA, a ligação L.L apresenta valores superiores quando comparada com as ligações L.P e P.P e todas elas atendem o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a).

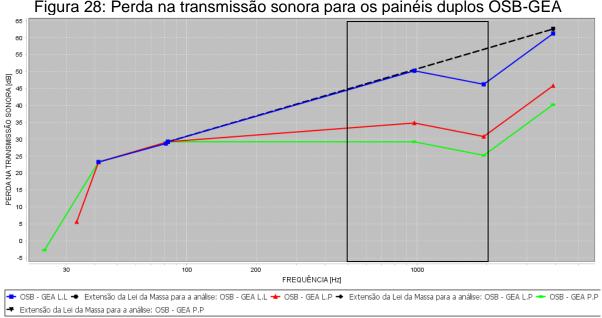


Figura 28: Perda na transmissão sonora para os painéis duplos OSB-GEA

Na Tabela 19 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se o painel OSB-GEA variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 19: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência do painel duplo OSB-GEA com ligações L.L, L.P e P.P

| Fraguância (Uz) | Perda na transmissão sonora (dB) |               |               |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|---------------|---------------|--|--|--|--|
| Frequência (Hz) | OSB-GEA - L.L                    | OSB-GEA - L.P | OSB-GEA - P.P |  |  |  |  |
| 500             | 44                               | 33            | 29            |  |  |  |  |
| 1000            | 50                               | 35            | 28,5          |  |  |  |  |
| 2000            | 47                               | 31,5          | 26,5          |  |  |  |  |

Para a análise da perda na transmissão sonora no painel duplo OSB-GEA, a ligação L.L apresenta valores superiores quando comparada com as ligações L.P e P.P. Porém, considerando as ligações L.P e P.P, somente a ligação L.P, na frequência de 1000 Hz, atende o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Na Figura 29, destaca-se que as curvas para a perda na transmissão sonora das ligações L.L, L.P e P.P são coincidentes e também estão sobrepostas.

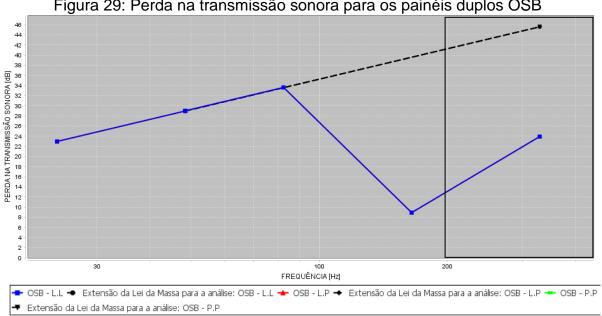


Figura 29: Perda na transmissão sonora para os painéis duplos OSB

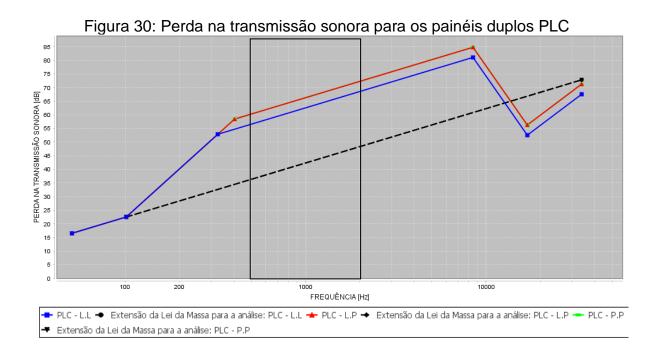
Na Tabela 20 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se o painel OSB variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 20: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência do painel duplo OSB com ligações L.L, L.P e P.P

| Fraguância (Uz) | Perda na transmissão sonora (dB) |           |           |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| Frequência (Hz) | OSB - L.L                        | OSB - L.P | OSB - P.P |  |  |  |  |
| 500             | 33                               | 33        | 33        |  |  |  |  |
| 1000            | 49                               | 49        | 49        |  |  |  |  |
| 2000            | 61,5                             | 61,5      | 61,5      |  |  |  |  |

Para a análise da perda da transmissão sonora no painel duplo OSB, as ligações L.L, L.P e P.P apresentam valores iguais. Mas somente para a frequência de 500 Hz não foi atendido o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Na Figura 30 destaca-se que as curvas para a perda na transmissão sonora das ligações L.P e P.P são coincidentes e estão sobrepostas.



Na Tabela 21 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora referentes às frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, comparando-se o painel PLC variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 21: Comparativo da perda na transmissão sonora em função da frequência em sistemas de fechamentos do painel duplo PLC com ligações L.L, L.P e P.P

| Fraguância (III-) | Perda na transmissão sonora (dB) |           |           |  |  |  |
|-------------------|----------------------------------|-----------|-----------|--|--|--|
| Frequência (Hz) — | PLC - L.L                        | PLC - L.P | PLC - P.P |  |  |  |
| 500               | 58,5                             | 59        | 59        |  |  |  |
| 1000              | 63,5                             | 67        | 67        |  |  |  |
| 2000              | 69                               | 73        | 73        |  |  |  |

Para a análise da perda da transmissão sonora no painel duplo PLC, a ligação L.L apresenta valores inferiores à ligação L.P e P.P, que por sua vez possuem valores iguais. Todas as ligações atendem o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013a).

Na Tabela 22 apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora para a frequência de 1000 Hz comparando-se os painéis simples e duplos, aplicando-se o método gráfico.

Tabela 22: Comparativo da perda na transmissão sonora para a frequência de 1000 Hz em sistemas de fechamentos de painéis simples e duplos

| M.G Painel Simples |     |     |     |                         | M.G  | Painel Duplo |     |    |    |
|--------------------|-----|-----|-----|-------------------------|------|--------------|-----|----|----|
| ATC                | CCA | PMC | VDO | ATC EPS GEA OSB-GEA OSB |      |              | PLC |    |    |
| 49                 | 35  | 52  | 15  | 49                      | 73,5 | 51,5         | 50  | 49 | 63 |

Na Tabela 23, apresentam-se os valores da perda na transmissão sonora para a frequência de 1000 Hz, comparando-se os painéis duplos variando-se as ligações Linha-Linha, Linha-Ponto e Ponto-Ponto.

Tabela 23: Comparativo da perda na transmissão sonora para a frequência de 1000 Hz em painéis duplos com ligações L.L, L.P e P.P

| Perda na transmissão sonora em painéis duplos (dB) |                                |         |      |     |     |  |  |  |
|--|--------------------------------|---------|------|-----|-----|--|--|--|
| Ligação Linha-Linha                                |                                |         |      |     |     |  |  |  |
| Painel   | EPS OSB-GEA PLC GEA OSB        |         |      |     |     |  |  |  |
| PT (dB)  | 74                             | 50      | 63,5 | 52  | 49  |  |  |  |
|  | Ligação Linha-Ponto            |         |      |     |     |  |  |  |
| Painel   | EPS                            | OSB-GEA | PLC  | GEA | OSB |  |  |  |
| PT (dB)  | 76,5                           | 35      | 67   | 47  | 49  |  |  |  |
|  | Ligação Ponto-Ponto            |         |      |     |     |  |  |  |
| Painel   | Painel EPS OSB-GEA PLC GEA OSB |         |      |     |     |  |  |  |
| PT (dB)  | 76,5                           | 28,5    | 67   | 47  | 49  |  |  |  |

## 4.4 Conclusões

Em painéis simples, para a frequência de 1000 Hz, o pré-moldado de concreto (PMC), com perda na transmissão sonora de 52 dB, destacou-se diante da alvenaria de tijolo (ATC) que proporciona uma perda na transmissão sonora de 49 dB, e também diante do concreto celular autoclavado (CCA) e vidro (VDO), com uma perda na transmissão sonora de 6% maior do que a da alvenaria de tijolo (ATC).

Comparando os resultados para painéis simples com o critério mínimo de perda na transmissão sonora adotado nesse trabalho baseado nas especificações da norma vigente, NBR 15575 (ABNT, 2013a), que foi 35 dB, a perda na transmissão sonora do vidro (VDO) apresentou resultado insatisfatório (35 dB).

Em painéis duplos, também para a frequência de 1000 Hz, todos os elementos superaram o limite adotado nesse trabalho baseado na norma (35 dB) e, quando comparados com a ATC, o poliestireno expandido (EPS) apresentou a maior perda na transmissão sonora (73,5 dB), seguido pelo fechamento em placa cimentícia (PLC) (63 dB), gesso acartonado (GEA) (51,5 dB), placa de tiras de madeiras orientadas com gesso acartonado (OSB-GEA) (50 dB) e painel de tiras de madeiras orientadas (OSB) (49 dB).

Nesse caso, o sistema de fechamento em poliestireno expandido (EPS) proporcionou a maior perda na transmissão sonora (73,5 dB), com 50% a mais do que a alvenaria de tijolo (ATC).

Para as simulações realizadas, avaliando os três tipos de ligações entre os painéis, o poliestireno expandido (EPS) apresentou os maiores valores de perda na transmissão sonora. Esse sistema de fechamento e a placa cimentícia (PLC), em ligações Linha-Ponto e Ponto-Ponto, mostraram melhores resultados ao se comparar com a ligação Linha-Linha. O GEA e o OSB-GEA se destacaram na ligação Linha-Linha e o OSB mostrou resultados iguais para as três ligações.

O OSB-GEA para a ligação Ponto-Ponto foi o único sistema de fechamento que não atendeu o critério estabelecido baseado na norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), mostrando perda na transmissão sonora de 28,5 dB.

## **CAPÍTULO 5**

## 5 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

Nesse capítulo são apresentadas as considerações finais sobre as simulações, o modelo computacional utilizado e o desempenho acústico dos sistemas de fechamentos propostos, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.

## 5.1 Considerações finais

Sistemas de fechamentos industrializados verticais constituídos por painéis simples ou em multicamadas podem ser aplicados em edificações estruturadas em aço, em substituição ao sistema convencional, alvenaria, tornando a construção mais condizente com a rapidez de execução que a estrutura em aço proporciona.

No entanto, esses sistemas devem mostrar desempenho acústico adequado e a avaliação da perda na transmissão sonora dos painéis é um parâmetro que permite sua análise considerando esse aspecto. Neste trabalho foi aplicado o modelo computacional desenvolvido por Fortes (2018) para avaliar a perda na transmissão sonora de sistemas de fechamentos constituídos por painéis industrializados simples e em multicamadas.

Os sistemas de fechamentos industrializados analisados, em sua maioria, apresentaram desempenho acústico adequado e superior ao da alvenaria de tijolo cerâmico, mostrando que podem substituir a alvenaria nesse quesito.

A análise de desempenho acústico não deve ser o único critério para a escolha do sistema de fechamento de uma edificação, devendo-se avaliar também seu desempenho térmico. Outros itens ainda devem ser considerados, tais como estanqueidade, segurança contra incêndio, durabilidade e manutenibilidade, dentre outros.

## 5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para futuras pesquisas podem ser listadas:

- Realizar a análise térmica para os sistemas de fechamentos propostos comparando a essa análise acústica.
- Realizar análise acústica em termos de tempo de reverberação, que é outro parâmetro que caracteriza o desempenho acústico no ambiente.
- Realizar uma análise comparativa de custos para esses sistemas de fechamentos.
- Otimizar o modelo computacional para que as curvas originadas sejam traçadas no espectro de frequências solicitado pelo usuário, que as curvas resultantes sejam mostradas em todas frequências e que o gráfico possa ainda mostrar o valor da perda na transmissão sonora a cada ponto.

## **REFERÊNCIAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificções**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 14715-1 Chapas de gesso para drywall. Parte 1: Requisitos**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 13438: Blocos de concreto celular autoclavado — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto. Requisitos e métodos de ensaio**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 15270-1 Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1 Requisitos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ATALLA, N. Modeling the sound transmission through complex structures with attached noise control materials. **Wave Motion**, v. 51, n. 4, p. 650–663, 1 Jun. 2014.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice.** 3. ed. London and New York: Spon Press, 2003.

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. 2. ed. São Paulo:

Blücher, 2011.

CARNEAL, J. P.; FULLER, C. R. An analytical and experimental investigation of active structural acoustic control of noise transmission through double panel systems. **Journal of Sound and Vibration**, v. 272, n. 3–5, p. 749–771, 6 May 2004.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. **Avaliação não destrutiva de** propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. 2. ed. Lavras: CERNE, 2003. v. 9

DÍAZ, J. J. DEL C.; ÁLVAREZ RABANAL, F. P.; GARCÍA NIETO, P. J.; SERRANO LÓPEZ, M. A. Sound transmission loss analysis through a multilayer lightweight concrete hollow brick wall by FEM and experimental validation. **Building and Environment**, v. 45, n. 11, p. 2373–2386, 1 Nov. 2010.

EL DEBS, M. K. Concreto Pré-Moldado. Fundamentos e Aplicações. 2. ed. [s.l.] Oficina de textos, 2017.

FORTES, R. C. Modelo computacional com interface gráfica para análise de perda na transmissão sonora em painéis de fechamento simples e duplos. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia das Construções. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2018.

GARCIA, D. B.; VECCI, M. A. DE M.; RODRIGUES, F. C. Avaliação do isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação na construção civil. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 1, p. 15, 2008.

GOMES, C. V. S. Comportamento acústico de materiais absorvedores em multicamadas. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

HASSAN, O. A. B. **Building Acoustics and Vibrations: Theory and Practice**. Singapore: World Scientific, 2009.

INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. ISO 2631 - Guide to the evaluation of human exposure to whole body vibration. 1985.

LAMOUNIER, M. M. Critérios para seleção de materiais acústicos utilizados em recintos fechados para diferentes tipologias. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

LOSCHI NETO, A. **Análise do som transmitido por madeiras de diferentes densidades**. Tese de Mestrado. Lavras.: Universidade Federal de Lavras, 2007. v. 1

MACEDO, D. B. G. Análise do isolamento sonoro de sistemas construtivos residenciais estruturados em aço. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

MELO, C. E. **Manual munte de Projetos em Pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI. 2007.

OLIVEIRA, L. S. Reaproveitamento de resíduo de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. São João Del Rei: Universidade Federal de São João Del Rei, 2013.

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. Tese de Doutorado no Programa de Ppós Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2013.

ROOZEN, N. B.; MUELLNER, H.; LABELLE, L.; RYCHTÁRIKOVÁ, M.; GLORIEUX, C. Influence of panel fastening on the acoustic performance of light-weight building elements: Study by sound transmission and laser scanning vibrometry. **Journal of Sound and Vibration**, v. 346, p. 100–116, 23 Jun. 2015.

SALES, U. C. Mapeamento dos problemas gerados na associação entre sistemas de vedação e estrutura metálica e caracterização acústica e vibratória de painéis de vedação. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2001.

SCHERER, M. J. Estudo do Isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras em vitragem simples e dupla. Dissertação de Mestrado no Programa

de Pós Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SCHVARSTZHAUPT, C. C.; TUTIKIAN, B. F.; NUNES, M. F. DE O. Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada com esquadrias de PVC com persiana e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 135–145, Dec. 2014.

SOUZA, H. A. DE; NEVES, F. DE A. DAS; PEREIRA, C. C. G.; SALES, U. C. Acoustical vibration characterics of prefabricated panels employed in industrialized construction. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, v. 29, n. 2, Jun. 2007.

ZENERATO, T. S.; MARTINS, J. F. A.; BERTOLI, S. R.; GOMES, C. E. M.; FONTANINI, P. S. P. Análise Acústica de Fachadas de Light Steel Frame e Placas Cimentícias. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019.

## APÊNDICE A – Relatórios de perda na transmissão sonora

# A.1 - Relatório de perda na transmissão sonora para alvenaria de tijolo cerâmico (ATC) – Lei da Massa

|                       | NOME DA ANÁ            | LISE: A     | TC – L.M  |          |         |       |
|-----------------------|------------------------|-------------|---|----------|---------|-------|
| Tipo de fechamento:   | Método de anális       | e:          | Altura [a]:   |          | Largura | [b]:  |
| Painel Simples        | Lei da Massa           |             | 0,6 m   |          | 0,6 n   | n     |
| Caracterí             | sticas:                |             | Alvenaria de tijolo cerâmico revestida com<br>argamassa |          |         |       |
| Módulo de el          | asticidade             |             |   | 16200 MF | Pa      |       |
| Coeficiente d         | e Poisson              |             | 0,15  |          |         |       |
| Espess                | sura                   |             | 0,15 m  |          |         |       |
| Massa espe            | cífica [M]             |             | 1890 kg/m³  |          |         |       |
| Massa específica supe | erficial do painel [M] |             | 283,5 kg/m²   |          |         |       |
| Amorteci              | mento                  |             | 0,01  |          |         |       |
| Rigidez à fl          | exão [B]               |             | 852,95 N.m  |          |         |       |
|                       | rais do                | painel (Hz) |   |          |         |       |
| Modo (1,1) (1,2) (1   | ,3) (2,1)              | (2,2)       | (2,3)   | (3,1)    | (3,2)   | (3,3) |
| Freq. 2238 5595 11    | 189 5595               | 8951        | 14546   | 11189    | 14546   | 2014  |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

| RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |
| 0                                |  |  |  |  |  |
| 21 [PT0]                         |  |  |  |  |  |
| 39 [PTA]                         |  |  |  |  |  |
| 24 [PTB]                         |  |  |  |  |  |
| 91                               |  |  |  |  |  |
| 97                               |  |  |  |  |  |
|                                  |  |  |  |  |  |

## A.2 - Relatório de perda na transmissão sonora para alvenaria de tijolo cerâmico (ATC) – Método Gráfico

|                        |            |          | N             | OME DA ANÁLI     | SE: AT       | C – M.G   |          |         |       |
|------------------------|------------|----------|---------------|------------------|--------------|---|----------|---------|-------|
| Tipo                   | de fecha   | mento    | : Me          | étodo de análise | :            | Altura [a]:   |          | Largura | [b]:  |
| F                      | Painel Sim | ples     | I             | Método Gráfico   |              | 0,6 m   |          | 0,6 n   | า     |
| Características:       |            |          |               |                  |              | Alvenaria de tijolo cerâmico revestida com<br>argamassa |          |         |       |
|                        | M          | ódulo d  | le elasticida | ade              |              |   | 16200 MF | Pa      |       |
| Coeficiente de Poisson |            |          |               |                  |              | 0,15  |          |         |       |
|                        |            | Es       | pessura       |                  |              | 0,15 m  |          |         |       |
|                        | N          | /lassa e | específica [  | M]               |              | 1890 kg/m³  |          |         |       |
| N                      | lassa espe | ecífica  | superficial   | do painel [M]    |              | 283,5 kg/m²   |          |         |       |
|                        |            | Amoi     | rtecimento    |                  |              | 0,01  |          |         |       |
|                        |            | Rigidez  | à flexão [l   |                  | 4661,13 kN.m |   |          |         |       |
| Frequências naturais d |            |          |               |                  | ais do p     | ainel (Hz)  |          |         |       |
| Modo                   | (1,1)      | (1,2)    | (1,3)         | (2,1)            | (2,2)        | (2,3)   | (3,1)    | (3,2)   | (3,3) |
| Freq.                  | 2238       | 5595     | 11189         | 5595             | 8951         | 14546   | 11189    | 14546   | 20141 |
|                        |            |          |               |                  |              |   |          |         |       |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

FREQUÊNCIA CRITICA [fc]: 146 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [fe] DA RETA APÓS PTB COM A RETA DA LEI DA MASSA: fe = 18428 Hz

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |
| 9               | 21 [PT0]                         |  |  |  |  |  |
| 73 [fc/2]       | 39 [PTA]                         |  |  |  |  |  |
| 146 [fc]        | 24 [PTB]                         |  |  |  |  |  |
| 18428           | 87                               |  |  |  |  |  |
| 64000           | 98                               |  |  |  |  |  |

A.3 - Relatório de perda na transmissão sonora para concreto celular autoclavado (CCA) – Lei da Massa

| NOME DA ANÁLISE: CCA – L.M          |                              |             |             |       |         |       |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------|---------|-------|
| Tipo de fechamento:                 | Método de aná                | lise:       | Altura [a]: |       | Largura | [b]:  |
| Painel Simples                      | Lei da Mass                  | a           | 0,6 m       |       | 0,6 r   | n     |
| Caracter                            | Concreto celular autoclavado |             |             |       |         |       |
| Módulo de e                         |                              | 1350 MPa    |             |       |         |       |
| Coeficiente                         |                              | 0,15        |             |       |         |       |
| Espes                               |                              | 0,10 m      |             |       |         |       |
| Massa esp                           |                              | 500 kg/m³   |             |       |         |       |
| Massa específica sup                |                              | 50 kg/m²    |             |       |         |       |
| Amorted                             |                              | 0,01        |             |       |         |       |
| Rigidez à                           |                              | 115,09 kN.m |             |       |         |       |
| Frequências naturais do painel (Hz) |                              |             |             |       |         |       |
| Modo (1,1) (1,2) (1                 | ,3) (2,1)                    | (2,2)       | (2,3)       | (3,1) | (3,2)   | (3,3) |
| Freq. 837 2093 4                    | 187 2093                     | 3349        | 5443        | 4187  | 5443    | 7536  |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |
| 837             | 45                               |  |  |  |  |
| 1000            | 47                               |  |  |  |  |
| 2000            | 53                               |  |  |  |  |
| 4000            | 59                               |  |  |  |  |
| 8000            | 65                               |  |  |  |  |
| 16000           | 71                               |  |  |  |  |
| 32000           | 77                               |  |  |  |  |
| 64000           | 83                               |  |  |  |  |

## A.4 - Relatório de perda na transmissão sonora para concreto celular autoclavado (CCA) – Método Gráfico

| NOME DA ANÁLISE: CCA – M.G          |                              |             |             |       |         |       |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------|---------|-------|
| Tipo de fechamento:                 | Método de análi              | se:         | Altura [a]: |       | Largura | [b]:  |
| Painel Simples                      | Método Gráfic                | :О          | 0,6 m       |       | 0,6 r   | n     |
| Caracte                             | Concreto celular autoclavado |             |             |       |         |       |
| Módulo de                           | 1350 MPa                     |             |             |       |         |       |
| Coeficiente                         |                              | 0,15        |             |       |         |       |
| Espe                                | 0,10 m                       |             |             |       |         |       |
| Massa esp                           |                              | 500 kg/m³   |             |       |         |       |
| Massa específica su                 | 50 kg/m²                     |             |             |       |         |       |
| Amorte                              | 0,01                         |             |             |       |         |       |
| Rigidez à                           |                              | 115,09 kN.m |             |       |         |       |
| Frequências naturais do painel (Hz) |                              |             |             |       |         |       |
| Modo (1,1) (1,2) (                  | 1,3) (2,1)                   | (2,2)       | (2,3)       | (3,1) | (3,2)   | (3,3) |
| Freq. 837 2093 4                    | 1187 2093                    | 3349        | 5443        | 4187  | 5443    | 7536  |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

FREQUÊNCIA CRITICA [fc]: 390 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [fe] DA RETA APÓS PTB COM A RETA DA LEI DA

MASSA: fe = 16417 Hz

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |
| 24              | 15 [PT0]                         |  |  |  |
| 195 [fc/2]      | 33 [PTA]                         |  |  |  |
| 390 [fc]        | 23 [PTB]                         |  |  |  |
| 16417           | 71                               |  |  |  |
| 64000           | 83                               |  |  |  |

# A.5 - Relatório de perda na transmissão sonora para pré-moldado de concreto maciço (PMC) – Lei da Massa

|  | NOME DA ANÁLISE: PMC – L.M |       |                   |              |                                |       |         |       |  |
|--|----------------------------|-------|-------------------|--------------|--------------------------------|-------|---------|-------|--|
| Tipo d                                     | de fechamento              | ): N  | létodo de análise | :            | Altura [a]:                    |       | Largura | [b]:  |  |
| Pai  | inel Simples               |       | Lei da Massa      |              | 0,6 m                          |       | 0,6 n   | n     |  |
| Características:                           |                            |       |                   | F            | Pré-moldado de concreto maciço |       |         |       |  |
| Módulo de elasticidade                     |                            |       |                   |              | 23000 MPa                      |       |         |       |  |
| Coeficiente de Poisson                     |                            |       |                   |              | 0,2                            |       |         |       |  |
| Espessura                                  |                            |       |                   |              | 0,1 m                          |       |         |       |  |
| Massa específica [M]                       |                            |       |                   | 2400 kg/m³   |                                |       |         |       |  |
| Massa específica superficial do painel [M] |                            |       |                   |              | 240 kg/m²                      |       |         |       |  |
| Amortecimento                              |                            |       |                   |              | 0,02                           |       |         |       |  |
| Rigidez à flexão [B]                       |                            |       |                   | 1996,53 kN.m |                                |       |         |       |  |
| Frequências naturais do painel (Hz)        |                            |       |                   |              |                                |       |         |       |  |
| Modo                                       | (1,1) (1,2)                | (1,3) | (2,1)             | (2,2)        | (2,3)                          | (3,1) | (3,2)   | (3,3) |  |
| Freq.                                      | 1592 3980                  | 7959  | 3980              | 6367         | 10347                          | 7959  | 10347   | 14326 |  |
|  |                            |       |                   |              |                                |       |         |       |  |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |
| 1592            | 0                                |  |  |  |

A.6 - Relatório de perda na transmissão sonora para pré-moldado de concreto maciço (PMC) – Método Gráfico

|               |            | ı         | NOME DA ANÁLI              | SE: PMC      | – M.G       |         |          |       |  |
|---------------|------------|-----------|----------------------------|--------------|-------------|---------|----------|-------|--|
| Tipo de fecha | mento:     | N         | létodo de análise          | :            | Altura [a]: |         |          | [b]:  |  |
| Painel Sim    | ples       |           | Método Gráfico 0,6 m 0,6 n |              |             |         |          | n     |  |
|               | Caracte    | erísticas | s:                         | F            | Pré-moldad  | o de co | ncreto m | aciço |  |
| N             | 1ódulo de  | elasticio | dade                       |              | 2           | 23000 M | lPa      |       |  |
| С             | oeficiente | de Poi    | sson                       | 0,2          |             |         |          |       |  |
|               | Espe       | essura    |                            | 0,1 m        |             |         |          |       |  |
| ſ             | Massa es   | pecífica  | [M]                        | 2400 kg/m³   |             |         |          |       |  |
| Massa esp     | ecífica su | ıperficia | l do painel [M]            | 240 kg/m²    |             |         |          |       |  |
|               | Amorte     | ecimento  | )                          | 0,02         |             |         |          |       |  |
|               | Rigidez à  | flexão    | [B]                        | 1996,53 kN.m |             |         |          |       |  |
|               |            | Fre       | equências natura           | ais do pa    | inel (Hz)   |         |          |       |  |
| Modo (1,1)    | (1,2)      | (1,3)     | (2,1)                      | (2,2)        | (2,3)       | (3,1)   | (3,2)    | (3,3) |  |
| Freq. 1592    | 3980       | 7959      | 3980                       | 6367         | 10347       | 7959    | 10347    | 1432  |  |
|               |            |           |                            |              |             |         |          |       |  |

FREQUÊNCIA CRITICA [fc]: 205 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [fe] DA RETA APÓS PTB COM A RETA DA LEI DA MASSA: fe = 6477 Hz

| RE              | SULTADOS                         |
|-----------------|----------------------------------|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |
| 13              | 23 [PT0]                         |
| 103 [fc/2]      | 41 [PTA]                         |
| 205 [fc]        | 32 [PTB]                         |
| 6477            | 77                               |
| 64000           | 97                               |

## A.7 - Relatório de perda na transmissão sonora para vidro (VDO) – Lei da Massa

|       |            |           | N            | OME DA AN    | ÁLISE: VD   | 00 – L.M          |         |        |        |  |
|-------|------------|-----------|--------------|--------------|-------------|-------------------|---------|--------|--------|--|
| Tipe  | o de fech  | amento    | : Mé         | todo de anál | ise:        | Altura [a]: Largu |         |        | [b]:   |  |
| F     | Painel Sin | nples     | !            | Lei da Massa | ì           | 0,6 m             |         | 0,6 n  | n      |  |
|       |            | Caract    | erísticas:   |              |             |                   | Vidro   |        |        |  |
|       | М          | ódulo de  | elasticidad  | de           |             |                   | 60000 N | lPa    |        |  |
|       | C          | oeficient | e de Poisso  | on           |             |                   | 0,2     |        |        |  |
|       |            | Esp       | essura       |              |             | 0,01 m            |         |        |        |  |
|       | N          | Massa es  | specífica [M | 1]           |             | 2500 kg/m³        |         |        |        |  |
| M     | lassa espe | ecífica s | uperficial d | o painel [M] |             | 37,5 kg/m²        |         |        |        |  |
|       |            | Amort     | ecimento     |              |             | 0                 |         |        |        |  |
|       |            | Rigidez   | à flexão [B] |              |             | 17,58 kN.m        |         |        |        |  |
|       |            |           | Free         | turais do p  | painel (Hz) |                   |         |        |        |  |
| Modo  | (1,1)      | (1,2)     | (1,3)        | (2,1)        | (2,2)       | (2,3)             | (3,1)   | (3,2)  | (3,3)  |  |
| Freq. | 37786      | 94466     | 188932       | 94466        | 151145      | 245611            | 188932  | 245611 | 340077 |  |

Obs.: Considerando todas as bordas engastadas

| RES             | SULTADOS                         |
|-----------------|----------------------------------|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |
| 37786           | 0                                |

A.8 - Relatório de perda na transmissão sonora para vidro (VDO) - Método Gráfico

|                 | NO  | OME DA ANÁ   | LISE: VD   | O – M.G  |   |  |  |  |  |
|-----------------|---|--|--|--|---|--|--|--|--|
| de fechament    | o: Mé   | todo de anális   | se:  | Altura [a]:  | Largura   | [b]:   |  |  |  |
| ainel Simples   | N   | létodo Gráfico   | )  | 0,6 m  |   | 0,6 m  | า  |  |  |
| Cara            | cterísticas:  |  |  | Vidro  |   |  |  |  |  |
| Módulo          | de elasticidad                                      | de   |  |  | 60000 M   | Pa   |  |  |  |
| Coeficie        | nte de Poisso                                       | on   |  |  | 0,2   |  |  |  |  |
| Es              | spessura  |  |  | 0,01 m   |   |  |  |  |  |
| Massa           | específica [M                                       | 1]   |  | 2500 kg/m³   |   |  |  |  |  |
| assa específica | superficial de                                      | o painel [M]   |  | 37,5 kg/m²   |   |  |  |  |  |
| Amo             | rtecimento  |  |  | 0  |   |  |  |  |  |
| Rigide          | z à flexão [B]                                      |  |  | 17,58 kN.m   |   |  |  |  |  |
|                 | Fred  | μ <b>ências nat</b> ι  | ırais do p   | ainel (Hz)   |   |  |  |  |  |
| (1,1) (1,2)     | (1,3)   | (2,1)  | (2,2)  | (2,3)  | (3,1)   | (3,2)  | (3,3)  |  |  |
| 37786 94466     | 188932  | 94466  | 151145   | 245611   | 188932  | 245611   | 340077   |  |  |
|                 | Módulo de Coeficier Es Massa específica Amo Rigide: | de fechamento: Mé ainel Simples M  Características:  Módulo de elasticidad  Coeficiente de Poisso  Espessura  Massa específica [M assa específica superficial de  Amortecimento  Rigidez à flexão [B]  Frec  (1,1) (1,2) (1,3) | de fechamento: Método de anális minel Simples Método Gráfico Características:  Módulo de elasticidade Coeficiente de Poisson Espessura Massa específica [M] assa específica superficial do painel [M] Amortecimento Rigidez à flexão [B] Frequências natures (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) | de fechamento: Método de análise: ainel Simples Método Gráfico  Características:  Módulo de elasticidade  Coeficiente de Poisson  Espessura  Massa específica [M] assa específica superficial do painel [M]  Amortecimento  Rigidez à flexão [B]  Frequências naturais do p  (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) | Ainel Simples Método Gráfico 0,6 m  Características:  Módulo de elasticidade  Coeficiente de Poisson  Espessura  Massa específica [M]  assa específica superficial do painel [M]  Amortecimento  Rigidez à flexão [B]  Frequências naturais do painel (Hz)  (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) | de fechamento: Método de análise: Altura [a]: ainel Simples Método Gráfico 0,6 m  Características: Vidro Módulo de elasticidade 60000 M Coeficiente de Poisson 0,2 Espessura 0,01 m Massa específica [M] 2500 kg/ assa específica superficial do painel [M] 37,5 kg/ Amortecimento 0 Rigidez à flexão [B] 17,58 kN  Frequências naturais do painel (Hz)  (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) | de fechamento:         Método de análise:         Altura [a]:         Largura (a):           Ainel Simples         Método Gráfico         0,6 m         0,6 m           Características:         Vidro           Módulo de elasticidade         60000 MPa           Coeficiente de Poisson         0,2           Espessura         0,01 m           Massa específica [M]         2500 kg/m³           assa específica superficial do painel [M]         37,5 kg/m²           Amortecimento         0           Rigidez à flexão [B]         17,58 kN.m           Frequências naturais do painel (Hz)           (1,1) (1,2) (1,3) (2,1) (2,2) (2,3) (3,1) (3,2) |  |  |

FREQUÊNCIA CRITICA [fc]: 865 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [fe] DA RETA APÓS PTB COM A RETA DA LEI DA MASSA:

fe = 909493 Hz

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |
| 54              | 19 [PT0]                         |  |  |  |  |  |
| 432 [fc/2]      | 37 [PTA]                         |  |  |  |  |  |
| 865 [fc]        | 13 [PTB]                         |  |  |  |  |  |
| 64000           | 69                               |  |  |  |  |  |

A.9 - Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS) – Ligação Linha-Linha

|   |                            |       | NOME D | A ANÁLI  | SE: EPS | – L.L |             |            |          |  |  |
|---|----------------------------|-------|--------|--|---------|-------|-------------|------------|----------|--|--|
| Tipo de                                     | e fechame                  | ento: | 7      | ipo de liga  | ação:   |       | Altura [a]: | Larg       | ura [b]: |  |  |
| Par   | ede Dupla                  | a     |        | Linha-Li   | nha     |       | 0,6 m       | 0,6        | 3 m m    |  |  |
| Cara  | cterística                 | s:    |        | Painéis 1  | e 2:    |       | Material    | absorved   | lor:     |  |  |
|   |                            |       |        | Poliestireno expandido com argamassa projetada - EPS |         |       | Lã de       | vidro (LVI | )        |  |  |
| Módulo                                      | de elastici                | dade  |        | 2,5 MP   | a       |       | 0 Pa        |            |          |  |  |
| Coeficie                                    | ente de Po                 | isson |        | 0,08   |         | 0,0   |             |            |          |  |  |
| Е   | spessura                   |       |        | 0,05 m   | 1       |       | 0,05 m      |            |          |  |  |
| Mass  | sa específi                | ca    |        | 960 kg/r   | n³      |       | 10 kg/m³    |            |          |  |  |
| Amo   | orteciment                 | 0     |        | 0,01   |         |       | 0,0         |            |          |  |  |
| Rigide                                      | z à flexão                 | [B]   |        | 26,21 N  | .m      | -     |             |            |          |  |  |
|   | sa específi<br>icial do pa |       |        | 48 kg/m²   |         |       | -           |            |          |  |  |
| Frequências naturais dos painéis 1 e 2 (Hz) |                            |       |        |  |         |       | lz)         |            |          |  |  |
| Modo  | (1,1)                      | (1,2) | (1,3)  | (2,1)  | (2,2)   | (2,3) | (3,1)       | (3,2)      | (3,3)    |  |  |
| Freq.                                       | 13                         | 32    | 64     | 32   | 52      | 84    | 64          | 84         | 116      |  |  |
|   |                            |       |        |  |         |       |             |            |          |  |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 25340 Hz FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 25340 Hz FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 213 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 92 dB

|                 | RESULTADOS                       |  |
|-----------------|----------------------------------|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |
| 30              | 21                               |  |
| 60 [f0]         | 27 [PTA]                         |  |
| 213 [fA']       | 60 [PTA']                        |  |
| 12670 [fc2/2]   | 96 [PTB]                         |  |
| 25340 [fc2]     | 67 [PTC]                         |  |
| 50681           | 82                               |  |

A.10 - Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS) – Ligação Linha-Ponto

|          |                            |       | NOME   | DA ANÁL     | ISE: EPS       | – L.P      |             |           |          |  |
|----------|----------------------------|-------|--|-------------|----------------|------------|-------------|-----------|----------|--|
| Tipo de  | fechame                    | nto:  | 7  | ipo de liga | ação:          |            | Altura [a]: | Larg      | ura [b]: |  |
| Par      | ede Dupla                  | 1     | Linha-Ponto  |             |                |            | 0,6 m       | 0,        | 6 m      |  |
| Cara     | cterística                 | s:    |  | Painéis 1   | e 2:           |            | Material    | absorved  | lor:     |  |
|          |                            |       | Poliestireno expandido com argamassa projetada - EPS |             |                |            | Lã de       | vidro (LV | )        |  |
| Módulo   | de elastici                | dade  |  | 2,5 MP      | a              |            |             | 0 Pa      |          |  |
| Coeficie | nte de Poi                 | sson  |  | 0,08        |                |            | 0,0         |           |          |  |
| Es       | spessura                   |       | 0,05 m   |             |                |            | 0,05 m      |           |          |  |
| Mass     | a específic                | ca    | 960 kg/m³  |             |                |            | 10 kg/m³    |           |          |  |
| Amo      | orteciment                 | 0     | 0,01   |             |                |            | 0,0         |           |          |  |
| Rigide   | z à flexão                 | [B]   |  | 26,21 N     | .m             |            | -           |           |          |  |
|          | a específicial do pa       |       |  | 48 kg/m     | 1 <sup>2</sup> | -          |             |           |          |  |
| •        | cias natura<br>is 1 e 2 (H |       |  |             | -              |            |             |           |          |  |
|          |                            | Fred  | quências   | naturais d  | los painé      | is 1 e 2 ( | Hz)         |           |          |  |
| Modo     | (1,1)                      | (1,2) | (1,3)  | (2,1)       | (2,2)          | (2,3)      | (3,1)       | (3,2)     | (3,3     |  |
| Freq.    | 13                         | 32    | 64   | 32          | 52             | 84         | 64          | 84        | 116      |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 25340 Hz FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 25340 Hz FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 236 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 92 dB

| RI              | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |
| 30              | 21                               |  |  |  |  |  |  |
| 60 [f0]         | 27 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |
| 236 [fA']       | 63 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |
| 12670 [fc2/2]   | 97 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |
| 25340 [fc2]     | 69 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |
| 50681           | 84                               |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |

A.11 - Relatório de perda na transmissão sonora para poliestireno expandido com argamassa projetada (EPS) – Ligação Ponto-Ponto

|                                      |       | NOME      | DA ANÁL   | ISE: EPS  | – P.P       |                |           |      |  |
|--------------------------------------|-------|-----------|---|-----------|-------------|----------------|-----------|------|--|
| Tipo de fechamen                     | to:   | T         | ipo de liga   | ação:     |             | Altura [a]: La |           |      |  |
| Parede Dupla                         |       |           | Ponto-Po  | nto       |             | 0              | ,6 m      |      |  |
| Características                      | :     |           | Painéis 1   | e 2:      |             | Material       | absorved  | dor: |  |
|                                      |       |           | Poliestireno expandido com Lã de vidro e<br>argamassa projetada - EPS |           |             |                | vidro (LV | l)   |  |
| Módulo de elasticid                  | ade   |           | 2,5 MP  | a         |             | 0 Pa           |           |      |  |
| Coeficiente de Pois                  | son   | 0,08      |   |           | 0,0         |                |           |      |  |
| Espessura                            |       | 0,05 m    |   |           |             | 0,05 m         |           |      |  |
| Massa específica                     | a     | 960 kg/m³ |   |           |             | 10 kg/m³       |           |      |  |
| Amortecimento                        |       |           | 0,01  |           |             | 0,0            |           |      |  |
| Rigidez à flexão [                   | B]    |           | 26,21 N   | m         | -           |                |           |      |  |
| Massa específica superficial do pair |       |           | 48 kg/m² -  |           |             | -              |           |      |  |
|                                      | Free  | quências  | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (l | Hz)            |           |      |  |
| Modo (1,1)                           | (1,2) | (1,3)     | (2,1)   | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)          | (3,2)     | (3,3 |  |
| Freq. 13                             | 32    | 64        | 32  | 52        | 84          | 64             | 84        | 116  |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 25340 Hz FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 25340 Hz FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 236 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 92 dB

| R               | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |
| 30              | 21                               |  |  |  |  |  |  |
| 60 [f0]         | 27 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |
| 236 [fA']       | 63 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |
| 12670 [fc2/2]   | 97 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |
| 25340 [fc2]     | 69 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |
| 50681           | 84                               |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |

A.12 - Relatório de perda na transmissão sonora para gesso acartonado (GEA)
- Ligação Linha-Linha

|  |             |       | NOME D    | A ANÁLIS         | SE: GEA   | – L.L       |                   |          |          |  |
|--|-------------|-------|-----------|------------------|-----------|-------------|-------------------|----------|----------|--|
| Tipo de                                | fechame     | nto:  | 7         | Tipo de ligação: |           |             | Altura [a]:       | Larg     | ura [b]: |  |
| Par                                    | ede Dupla   | 3     |           | Linha-Linha      |           |             | 0,6 m             |          |          |  |
| Características:                       |             |       |           | Painéis 1        | e 2:      |             | Material          | absorved | or:      |  |
|  |             |       |           | GEA              |           |             | Lã de vidro (LVI) |          |          |  |
| Módulo                                 | de elastici | dade  |           | 2000 MPa         |           |             | 0 Pa              |          |          |  |
| Coeficie                               | nte de Po   | sson  | 0,2       |                  |           | 0,0         |                   |          |          |  |
| Es                                     | spessura    |       |           | 0,02 m           |           |             | 0,                | 05 m     |          |  |
| Mass                                   | a específi  | ca    | 750 kg/m³ |                  |           | 10 kg/m³    |                   |          |          |  |
| Amo                                    | rteciment   | 0     |           | 0,1              |           | 0           |                   |          |          |  |
| Rigide                                 | z à flexão  | [B]   | •         | 1388,89 N.m      |           |             | -                 |          |          |  |
| Massa específica superficial do painel |             |       |           | 15 kg/r          | n²        |             |                   | -        |          |  |
|  |             | Free  | quências  | naturais c       | los painé | is 1 e 2 (H | lz)               |          |          |  |
| Modo                                   | (1,1)       | (1,2) | (1,3)     | (2,1)            | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)             | (3,2)    | (3,3     |  |
| Freq.                                  | 168         | 420   | 840       | 420              | 672       | 1092        | 840               | 1092     | 151      |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 1946 Hz FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 199 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 72 dB

| RI              | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 53              | 16                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 107 [f0]        | 22 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 199 [fA']       | 38 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 52 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 43 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 3892            | 58                               |  |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |  |

A.13 - Relatório de perda na transmissão sonora para gesso acartonado (GEA)
- Ligação Linha-Ponto

| -                                      | fechame     | ento:        |            |                  |             |             |                   |          |          |  |
|--|-------------|--------------|------------|------------------|-------------|-------------|-------------------|----------|----------|--|
| Pare                                   | ada Duni    |              | I          | Tipo de ligação: |             |             | Altura [a]:       | Largi    | ura [b]: |  |
|  | eue Dubio   | Parede Dupla |            |                  | Linha-Ponto |             |                   | 0,       | 6 m      |  |
| Características:                       |             |              |            | Painéis 1        | e 2:        |             | Material          | absorved | or:      |  |
|  |             |              |            | GEA              |             |             | Lã de vidro (LVI) |          |          |  |
| Módulo (                               | de elastici | dade         |            | 2000 MPa         |             |             | 0 Pa              |          |          |  |
| Coeficier                              | nte de Poi  | isson        |            | 0,2              |             |             | 0,0               |          |          |  |
| Es                                     | spessura    |              |            | 0,02 m           |             |             | 0,                | ,05 m    |          |  |
| Mass                                   | a específi  | ca           | 750 kg/m³  |                  |             | 10 kg/m³    |                   |          |          |  |
| Amo                                    | rteciment   | 0            |            | 0,1              |             |             | 0,0               |          |          |  |
| Rigide                                 | z à flexão  | [B]          |            | 1388,89          | N.m         | -           |                   |          |          |  |
| Massa específica superficial do painel |             |              | 15 kg/m² - |                  |             |             | -                 |          |          |  |
|  |             | Free         | quências   | naturais d       | los painéi  | is 1 e 2 (F | łz)               |          |          |  |
| Modo                                   | (1,1)       | (1,2)        | (1,3)      | (2,1)            | (2,2)       | (2,3)       | (3,1)             | (3,2)    | (3,3     |  |
| Freq.                                  | 168         | 420          | 840        | 420              | 672         | 1092        | 840               | 1092     | 151      |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 146 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 72 dB

| R               | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 53              | 16                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 107 [f0]        | 22 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 146 [fA']       | 30 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 47 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 38 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 3892            | 53                               |  |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |  |

A.14 - Relatório de perda na transmissão sonora para gesso acartonado (GEA)
- Ligação Ponto-Ponto

|  | de Dupla   | 1     |           | ipo de liga<br>Ponto-Po<br>Painéis 1 | nto        | ļ          | Altura [a]:<br>0,6 m | •        | ura [b]:<br>6 m |  |
|--|------------|-------|-----------|--------------------------------------|------------|------------|----------------------|----------|-----------------|--|
| Caract<br>Módulo de                    | terística: |       |           |                                      |            |            | 0,6 m                | 0,0      | 6 m             |  |
| Módulo de                              |            | s:    |           | Painéis 1                            | 2·         |            |                      |          |                 |  |
|  | e elastici |       |           |                                      | J <u> </u> |            | Material             | absorved | or:             |  |
|  | e elastici |       |           | GEA                                  |            |            | Lã de vidro (LVI)    |          |                 |  |
| Coeficient                             |            | dade  |           | 2000 MPa                             |            |            | 0 Pa                 |          |                 |  |
|  | te de Poi  | sson  |           | 0,2                                  |            |            | 0,0                  |          |                 |  |
| Esp                                    | essura     |       |           | 0,02 m                               |            |            | 0,                   | 05 m     |                 |  |
| Massa                                  | específic  | ca    | 750 kg/m³ |                                      |            | 10 kg/m³   |                      |          |                 |  |
| Amort                                  | teciment   | )     |           | 0,1                                  |            | 0,0        |                      |          |                 |  |
| Rigidez                                | à flexão   | [B]   | 1         | 1388,89                              | N.m        | -          |                      |          |                 |  |
| Massa específica superficial do painel |            |       | 15 kg/m²  |                                      |            |            |                      | -        |                 |  |
|  |            | F     | requência | s naturai                            | dos pair   | néis 1 e 2 |                      |          |                 |  |
| Modo                                   | (1,1)      | (1,2) | (1,3)     | (2,1)                                | (2,2)      | (2,3)      | (3,1)                | (3,2)    | (3,3            |  |
| Freq.                                  | 168        | 420   | 840       | 420                                  | 672        | 1092       | 840                  | 1092     | 151             |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 146 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 72 dB

| R               | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 53              | 16                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 107 [f0]        | 22 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 146 [fA']       | 30 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 47 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 38 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 3892            | 53                               |  |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |  |

A.15 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* combinada com gesso acartonado (OSB – GEA) - Ligação Linha-Linha

|                        |                            |           | NOME D        | A ANÁLIS  | E: OSB         | - GEA – L | L                    |               |         |
|------------------------|----------------------------|-----------|---------------|-----------|----------------|-----------|----------------------|---------------|---------|
| Tipo de fechamento:    |                            |           | Tipo de li    | igação:   | Altu           | ra [a]:   | Largura [b]:         |               |         |
| Parede Dupla           |                            |           | Linha-l       | ₋inha     | 0,             | 6 m       |                      | 0,6 m         |         |
| Características:       |                            |           | Paine         | el 1:     | Painel 2:      |           | Material absorvedor: |               |         |
|                        |                            |           | os            | В         | G              | EΑ        | Lâ                   | á de vidro (l | _VI)    |
| Módulo de elasticidade |                            | 11050 MPa |               | 2000 MPa  |                | 0 Pa      |                      |               |         |
| Coeficie               | ente de Po                 | oisson    | 0,15          |           | 0,2            |           | 0,0                  |               |         |
| E                      | spessura                   |           | 0,1 m         |           | 0,02 m         |           | 0,05 m               |               |         |
| Mas                    | sa especít                 | ica       | 730 kg        | g/m³      | y/m³ 750 kg/m³ |           |                      | 10 kg/m³      |         |
| Am                     | ortecimen                  | to        | 0,01          |           | 0,1            |           | 0,0                  |               |         |
| Rigid                  | ez à flexão                | [B]       | 942028,99 N.m |           | 1388,89 N.m    |           | -                    |               |         |
|                        | sa específ<br>ficial do pa |           | 73 kg         | J/m²      | 15 k           | i kg/m²   |                      | -             |         |
|                        |                            |           | Freq          | uências n | aturais d      | painel 1  |                      |               |         |
| Modo                   | (1,1)                      | (1,2)     | (1,3)         | (2,1)     | (2,2)          | (2,3)     | (3,1)                | (3,2)         | (3,3)   |
| Freq.                  | 198260                     | 495650    | 991300        | 495650    | 793040         | 1288690   | 991300               | 1288690       | 1784341 |
|                        |                            |           | Freq          | uências n | aturais d      | painel 2  |                      |               |         |
| Modo                   | (1,1)                      | (1,2)     | (1,3)         | (2,1)     | (2,2)          | (2,3)     | (3,1)                | (3,2)         | (3,3)   |
| Freq.                  | 16794                      | 41985     | 83970         | 41985     | 67176          | 109161    | 83970                | 109161        | 151145  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 81 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 86 dB

| RE              | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 83 [f0]         | 29 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 50 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 51 [PT - Lei da Massa em fc2/2]  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 46 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 733 [fl]        | 86 [PTD]                         |  |  |  |  |  |  |  |

A.16 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* combinada com gesso acartonado (OSB – GEA) - Ligação Linha-Ponto

|                     |  |        | NOME D                | A ANÁLIS  | E: OSB                | - GEA – L   | P        |                      |         |  |
|---------------------|--|--------|-----------------------|-----------|-----------------------|-------------|----------|----------------------|---------|--|
| Tipo de fechamento: |  |        | Tipo de I             | igação:   | Altu                  | Altura [a]: |          | Largura [b]:         |         |  |
| Pa                  | Parede Dupla                           |        |                       | Ponto     | 0,                    | 6 m         |          | 0,6 m                |         |  |
| Car                 | Características:                       |        | Painé                 | is 1:     | Pair                  | Painéis 2:  |          | Material absorvedor: |         |  |
|                     |  |        |                       | В         | G                     | GEA         |          | ă de vidro (I        | _VI)    |  |
| Módulo              | Módulo de elasticidade                 |        | 11050 MPa             |           | 2000 MPa              |             | 0 Pa     |                      |         |  |
| Coefici             | Coeficiente de Poisson                 |        | 0,15                  |           | 0,2                   |             | 0,0      |                      |         |  |
| E                   | Espessura                              |        | 0,1 m                 |           | 0,02 m                |             | 0,05 m   |                      |         |  |
| Mas                 | sa específ                             | ica    | 730 kg/m <sup>3</sup> |           | 750 kg/m <sup>3</sup> |             | 10 kg/m³ |                      |         |  |
| Am                  | Amortecimento                          |        | 0,01                  |           | C                     | 0,1         |          | 0,0                  |         |  |
| Rigid               | ez à flexão                            | ) [B]  | 942028,99 N.m         |           | 1388,89 N.m           |             |          | -                    |         |  |
|                     | Massa específica superficial do painel |        | 73 kg                 | g/m²      | 15 k                  | kg/m²       |          | -                    |         |  |
|                     |  |        | Frequê                | ncias nat | urais do p            | ainel 1 (Hz | 2)       |                      |         |  |
| Modo                | (1,1)                                  | (1,2)  | (1,3)                 | (2,1)     | (2,2)                 | (2,3)       | (3,1)    | (3,2)                | (3,3)   |  |
| Freq.               | 198260                                 | 495650 | 991300                | 495650    | 793040                | 1288690     | 991300   | 1288690              | 1784341 |  |
|                     |  |        | Frequê                | ncias nat | urais do p            | ainel 2 (Hz | 2)       |                      |         |  |
| Modo                | (1,1)                                  | (1,2)  | (1,3)                 | (2,1)     | (2,2)                 | (2,3)       | (3,1)    | (3,2)                | (3,3)   |  |
| Freq.               | 16794                                  | 41985  | 83970                 | 41985     | 67176                 | 109161      | 83970    | 109161               | 151145  |  |
|                     |  |        |                       |           |                       |             |          |                      |         |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 33 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 86 dB

| R               | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 83 [f0]         | 29 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 35 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 51 [PT - Lei da Massa em fc2/2]  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 31 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 733 [fl]        | 86 [PTD]                         |  |  |  |  |  |  |  |
|                 |                                  |  |  |  |  |  |  |  |

A.17 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* combinada com gesso acartonado (OSB – GEA) - Ligação Ponto-Ponto

|                     |  |        | NOME DA       | A ANÁLIS  | E: OSB -              | · GEA – F   | P.P                  |               |         |  |
|---------------------|--|--------|---------------|-----------|-----------------------|-------------|----------------------|---------------|---------|--|
| Tipo de fechamento: |  |        | Tipo de li    | igação:   | Altura [a]:           |             | Largura [b]:         |               |         |  |
| Pa                  | Parede Dupla                           |        |               | Ponto     | 0,                    | 6 m         |                      | 0,6 m         |         |  |
| Car                 | acterística                            | as:    | Painé         | is 1:     | Pair                  | éis 2:      | Material absorvedor: |               |         |  |
|                     |  |        | os            | В         | G                     | GEA         |                      | ă de vidro (I | _VI)    |  |
| Módulo              | Módulo de elasticidade                 |        | 11050 MPa     |           | 2000 MPa              |             | 0 Pa                 |               |         |  |
| Coefici             | Coeficiente de Poisson                 |        | 0,15          |           | 0,2                   |             | 0,0                  |               |         |  |
| E                   | Espessura                              |        | 0,1 m         |           | 0,02 m                |             | 0,05 m               |               |         |  |
| Mas                 | sa específ                             | ica    | 730 k         | g/m³      | 750 kg/m <sup>3</sup> |             | 10 kg/m³             |               |         |  |
| Am                  | Amortecimento                          |        | 0,01          |           | C                     | 0,1         |                      | 0,0           |         |  |
| Rigid               | ez à flexão                            | ) [B]  | 942028,99 N.m |           | 1388,89 N.m           |             |                      | -             |         |  |
|                     | Massa específica superficial do painel |        | 73 kg         | 73 kg/m²  |                       | kg/m²       |                      | -             |         |  |
|                     |  |        | Frequê        | ncias nat | urais do p            | ainel 1 (Hz | 2)                   |               |         |  |
| Modo                | (1,1)                                  | (1,2)  | (1,3)         | (2,1)     | (2,2)                 | (2,3)       | (3,1)                | (3,2)         | (3,3)   |  |
| Freq.               | 198260                                 | 495650 | 991300        | 495650    | 793040                | 1288690     | 991300               | 1288690       | 1784341 |  |
|                     |  |        | Frequê        | ncias nat | urais do p            | ainel 2 (Hz | 2)                   |               |         |  |
| Modo                | (1,1)                                  | (1,2)  | (1,3)         | (2,1)     | (2,2)                 | (2,3)       | (3,1)                | (3,2)         | (3,3)   |  |
| Freq.               | 16794                                  | 41985  | 83970         | 41985     | 67176                 | 109161      | 83970                | 109161        | 151145  |  |
|                     |  |        |               |           |                       |             |                      |               |         |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 1946 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 24 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 86 dB

| RESULTADOS      |                                  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |
| 83 [f0]         | 29 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 29 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |
| 973 [fc2/2]     | 51 [PT - Lei da Massa em fc2/2]  |  |  |  |  |  |  |
| 1946 [fc2]      | 25 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |
| 733 [fl]        | 86 [PTD]                         |  |  |  |  |  |  |

A.18 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* (OSB) - Ligação Linha-Linha

|                |          | NOME D    | A ANÁLIS    | SE: OSB   | – L.L       |             |            |          |  |  |
|----------------|----------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|------------|----------|--|--|
| Tipo de fecha  | mento:   | 7         | ipo de liga | ação:     | ,           | Altura [a]: | Larg       | ura [b]: |  |  |
| Parede Du      | pla      |           | Linha-Lin   | ha        |             | 0,6 m       | 0,         | 6 m      |  |  |
| Característ    | cas:     |           | Painéis 1   | e 2:      |             | Material    | absorved   | lor:     |  |  |
|                |          |           | OSB         |           |             | Lã de       | vidro (LVI | )        |  |  |
| Módulo de elas | ticidade |           | 11050 M     | lPa       |             | 0 Pa        |            |          |  |  |
| Coeficiente de | Poisson  | sson 0,15 |             |           |             | 0,0         |            |          |  |  |
| Espessu        | a        |           | 0,1 m       |           |             | 0,05 m      |            |          |  |  |
| Massa espe     | cífica   | 730 kg/m³ |             |           |             |             | 10 kg/m³   |          |  |  |
| Amortecime     | ento     | 0,01 0,0  |             |           |             |             | 0,0        |          |  |  |
| Rigidez à flex | ão [B]   | Ç         | 942,03 k    | N.m       |             | -           |            |          |  |  |
| Massa espe     | n²       |           |             | -         |             |             |            |          |  |  |
|                | Fre      | quências  | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (H | lz)         |            |          |  |  |
| Modo (1,1      | ) (1,2)  | (1,3)     | (2,1)       | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)       | (3,2)      | (3,3)    |  |  |
| Freq. 0        | 0        | 0         | 0           | 0         | 0           | 0           | 0          | 1        |  |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 165 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 48 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 100 dB

| Perda na Transmissão Sonora [dB]<br>23 |
|--|
| 23                                     |
|  |
| 29 [PTA]                               |
| 29 [PTA']                              |
| 34 [PTB]                               |
| 9 [PTC]                                |
| 24                                     |
| _                                      |

A.19 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* (OSB) - Ligação Linha-Ponto

|                        |                        | NOME D         | A ANÁLIS    | SE: OSB   | – L.P       |             |           |          |  |  |
|------------------------|------------------------|----------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|----------|--|--|
| Tipo de fechan         | nento:                 | 7              | ipo de liga | ação:     |             | Altura [a]: | Larg      | ura [b]: |  |  |
| Parede Du <sub>l</sub> | ola                    |                | Linha-Po    | nto       |             | 0,6 m       | 0,        | 6 m      |  |  |
| Característic          | cas:                   |                | Painéis 1   | e 2:      |             | Material    | absorved  | lor:     |  |  |
|                        |                        |                | OSB         |           |             | Lã de       | vidro (LV | 1)       |  |  |
| Módulo de elast        | icidade                |                | 11050 M     | 1Pa       |             | 0 Pa        |           |          |  |  |
| Coeficiente de F       | Coeficiente de Poisson |                |             |           | 0,0         |             |           |          |  |  |
| Espessura              | 3                      |                | 0,1 m       | 1         |             | 0,05 m      |           |          |  |  |
| Massa espec            | ífica                  | 730 kg/m³ 10 l |             |           |             |             | 0 kg/m³   |          |  |  |
| Amortecime             | nto                    | 0,01 0,0       |             |           |             |             | 0,0       |          |  |  |
| Rigidez à flex         | io [B]                 | Ç              | 942,03 k    | N.m       |             | -           |           |          |  |  |
| Massa espec            |                        |                | 73 kg/m² -  |           |             | -           |           |          |  |  |
|                        | Fre                    | quências       | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (H | lz)         |           |          |  |  |
| Modo (1,1)             | (1,2)                  | (1,3)          | (2,1)       | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)       | (3,2)     | (3,3)    |  |  |
| Freq. 0                | 0                      | 0              | 0           | 0         | 0           | 0           | 0         | 1        |  |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 165 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 48 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 100 dB

| R               | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 24              | 23                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 48 [f0]         | 29 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 48 [fA']        | 29 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 82 [fc2/2]      | 34 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 165 [fc2]       | 9 [PTC]                          |  |  |  |  |  |  |  |
| 330             | 24                               |  |  |  |  |  |  |  |

A.20 - Relatório de perda na transmissão sonora para *oriented strand board* (OSB) - Ligação Ponto-Ponto

| Tipo de fechamen                       |                  |          |             |            | – P.P      |                   |            |      |  |
|--|------------------|----------|-------------|------------|------------|-------------------|------------|------|--|
|  | nto:             | Т        | ipo de liga | ação:      | ,          | Altura [a]:       | Largura [t |      |  |
| Parede Dupla                           | Parede Dupla     |          |             |            |            | 0,6 m             | 0,         | 6 m  |  |
| Características                        | Características: |          |             | e 2:       |            | Material          | absorved   | or:  |  |
|  |                  |          | OSB         |            |            | Lã de vidro (LVI) |            |      |  |
| Módulo de elasticid                    | lade             |          | 11050 MPa   |            |            | 0 Pa              |            |      |  |
| Coeficiente de Pois                    | son              |          | 0,15        |            |            | 0,0               |            |      |  |
| Espessura                              |                  |          | 0,1 m       |            | 0,05 m     |                   |            |      |  |
| Massa específic                        | a                |          | 730 kg/     | m³         | 10 kg/m³   |                   |            |      |  |
| Amortecimento                          |                  |          | 0,01        |            | 0,0        |                   |            |      |  |
| Rigidez à flexão [                     | B]               | Ç        | 942,03 kl   | N.m        | -          |                   |            |      |  |
| Massa específic<br>superficial do pair |                  | 73 kg/m² |             |            | -          |                   |            |      |  |
|  | Fred             | quências | naturais c  | los painéi | s 1 e 2 (H | z)                |            |      |  |
| Modo (1,1)                             | (1,2)            | (1,3)    | (2,1)       | (2,2)      | (2,3)      | (3,1)             | (3,2)      | (3,3 |  |
| Freq. 0                                | 0                | 0        | 0           | 0          | 0          | 0                 | 0          | 1    |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 165 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 165 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 48 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 100 dB

| F               | RESULTADOS                       |
|-----------------|----------------------------------|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |
| 24              | 23                               |
| 48 [f0]         | 29 [PTA]                         |
| 48 [fA']        | 29 [PTA']                        |
| 82 [fc2/2]      | 34 [PTB]                         |

| 165 [fc2] | 9 [PTC] |
|-----------|---------|
| 330       | 24      |

A.21 - Relatório de perda na transmissão sonora para placa cimentícia (PLC) - Ligação Linha-Linha

|                        |  |       | NOME D   | A ANÁLI     | SE: PLC   | – L.L       |                   |             |       |  |
|------------------------|--|-------|----------|-------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|-------|--|
| Tipo de fe             | Tipo de fechamento:                    |       |          | ipo de liga | ação:     |             | Altura [a]:       | Largura [b] |       |  |
| Parede                 | Parede Dupla                           |       |          | Linha-Lin   | ha        |             | 0,6 m 0,6         |             |       |  |
| Caracte                | Características:                       |       |          | Painéis 1   | e 2:      |             | Material          | absorved    | lor:  |  |
|                        |  |       | Plac     | a Cimentío  | ia - PLC  |             | Lã de vidro (LVI) |             |       |  |
| Módulo de              | elastici                               | dade  |          | 120 MF      | Pa        |             | 0 Pa              |             |       |  |
| Coeficiente de Poisson |  |       | 0,2      |             |           | 0,0         |                   |             |       |  |
| Espe                   | ssura                                  |       | 0,01 m   |             |           |             | 0,05 m            |             |       |  |
| Massa e                | specífic                               | ca    |          | 1330 kg     | /m³       |             | 10 kg/m³          |             |       |  |
| Amorte                 | cimento                                | )     |          | 0,01        |           |             | 0,0               |             |       |  |
| Rigidez à              | flexão                                 | [B]   |          | 20,35 N     | .m        | -           |                   |             |       |  |
|                        | Massa específica superficial do painel |       |          | 16,62 kg/m² |           |             | -                 |             |       |  |
|                        |  | Fred  | quências | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (ŀ | łz)               |             |       |  |
| Modo (                 | 1,1)                                   | (1,2) | (1,3)    | (2,1)       | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)             | (3,2)       | (3,3) |  |
| Freq.                  | 19                                     | 48    | 97       | 48          | 77        | 125         | 97                | 125         | 174   |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 326 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 74 dB

| RI              | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 51              | 17                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 101 [f0]        | 23 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 326 [fA']       | 53 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 8463 [fc2/2]    | 81 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 16927 [fc2]     | 53 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 33853           | 68                               |  |  |  |  |  |  |  |

A.22 - Relatório de perda na transmissão sonora para placa cimentícia (PLC) - Ligação Linha-Ponto

|          |  |       | NOME D   | )A ANÁLI    | SE: PLC   | – L.P       |                   |            |       |  |
|----------|--|-------|----------|-------------|-----------|-------------|-------------------|------------|-------|--|
| Tipo de  | Tipo de fechamento:<br>Parede Dupla    |       |          | ipo de liga | ação:     |             | Altura [a]:       | Largura [l |       |  |
| Par      |  |       |          | Linha-Po    | nto       |             | 0,6 m             | 0,         | 6 m   |  |
| Cara     | Características:                       |       |          | Painéis 1   | e 2:      |             | Material          | absorved   | lor:  |  |
|          |  |       | Plac     | a Cimentío  | ia - PLC  |             | Lã de vidro (LVI) |            |       |  |
| Módulo   | de elastici                            | dade  |          | 120 MF      | Pa        |             | 0 Pa              |            |       |  |
| Coeficie | Coeficiente de Poisson                 |       |          | 0,2         |           |             | 0,0               |            |       |  |
| Es       | spessura                               |       |          | 0,01 n      | n         |             | 0,05 m            |            |       |  |
| Mass     | a específi                             | ca    |          | 1330 kg     | /m³       |             | 10 kg/m³          |            |       |  |
| Amo      | rteciment                              | 0     |          | 0,01        |           |             | 0,0               |            |       |  |
| Rigide   | z à flexão                             | [B]   |          | 20,35 N     | .m        | -           |                   |            |       |  |
|          | Massa específica superficial do painel |       |          | 16,62 kg/m² |           |             | -                 |            |       |  |
|          |  | Free  | quências | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (ŀ | łz)               |            |       |  |
| Modo     | (1,1)                                  | (1,2) | (1,3)    | (2,1)       | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)             | (3,2)      | (3,3) |  |
| Freq.    | 19                                     | 48    | 97       | 48          | 77        | 125         | 97                | 125        | 174   |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 404 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 74 dB

| RES             | RESULTADOS                       |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |  |  |  |  |  |  |  |
| 51              | 17                               |  |  |  |  |  |  |  |
| 101 [f0]        | 23 [PTA]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 404 [fA']       | 58 [PTA']                        |  |  |  |  |  |  |  |
| 8463 [fc2/2]    | 85 [PTB]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 16927 [fc2]     | 56 [PTC]                         |  |  |  |  |  |  |  |
| 33853           | 71                               |  |  |  |  |  |  |  |

A.23 - Relatório de perda na transmissão sonora para placa cimentícia (PLC) - Ligação Ponto-Ponto

|  |                                     |       | NOME D      | A ANÁLIS    | SE: PLC   | – P.P       |                   |          |           |  |
|--|-------------------------------------|-------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------------|----------|-----------|--|
| Tipo de fec                            | Tipo de fechamento:<br>Parede Dupla |       |             | ipo de liga | ação:     |             | Altura [a]:       | Larg     | gura [b]: |  |
| Parede                                 |                                     |       |             | Ponto-Po    | nto       |             | 0,6 m             | 0,       | 6 m       |  |
| Caracter                               | Características:                    |       |             | Painéis 1   | e 2:      |             | Material          | absorved | lor:      |  |
|  | Pla                                 |       |             |             | ia - PLC  |             | Lã de vidro (LVI) |          |           |  |
| Módulo de e                            | lasticio                            | dade  |             | 120 MF      | Pa        |             | 0 Pa              |          |           |  |
| Coeficiente d                          | Coeficiente de Poisson              |       |             | 0,2         |           |             | 0,0               |          |           |  |
| Espes                                  | sura                                |       |             | 0,01 n      | า         |             | 0,05 m            |          |           |  |
| Massa es                               | pecífic                             | а     |             | 1330 kg     | /m³       |             | 10 kg/m³          |          |           |  |
| Amortec                                | imento                              | )     |             | 0,01        |           |             | 0,0               |          |           |  |
| Rigidez à f                            | lexão                               | [B]   |             | 20,35 N     | .m        | -           |                   |          |           |  |
| Massa específica superficial do painel |                                     |       | 16,62 kg/m² |             |           | -           |                   |          |           |  |
|  |                                     | Free  | quências    | naturais c  | los painé | is 1 e 2 (ŀ | łz)               |          |           |  |
| Modo (1                                | ,1)                                 | (1,2) | (1,3)       | (2,1)       | (2,2)     | (2,3)       | (3,1)             | (3,2)    | (3,3)     |  |
| Freq.                                  | 19                                  | 48    | 97          | 48          | 77        | 125         | 97                | 125      | 174       |  |

FREQUÊNCIA CRITICA 1 [fc1]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA CRITICA 2 [fc2]: 16927 Hz

FREQUÊNCIA DE ENCONTRO [A']: 404 Hz

FREQUÊNCIA LIMITE [fl]: 733 Hz

PERDA NA TRANSMISSÃO SONORA EM D [PTD]: 74 dB

| RESULTADOS      |                                  |
|-----------------|----------------------------------|
| Frequência [Hz] | Perda na Transmissão Sonora [dB] |
| 51              | 17                               |
| 101 [f0]        | 23 [PTA]                         |
| 404 [fA']       | 58 [PTA']                        |
| 8463 [fc2/2]    | 85 [PTB]                         |
| 16927 [fc2]     | 56 [PTC]                         |
| 33853           | 71                               |
|                 |                                  |