

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído**

**Aline Xavier Pereira**

**CONFORTO ACÚSTICO EM RESIDÊNCIAS  
MULTIFAMILIARES**

**Belo Horizonte**  
**2016**

**ALINE XAVIER PEREIRA**

# **CONFORTO ACÚSTICO EM RESIDÊNCIAS MULTIFAMILIARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador(a):** Adriana Guerra Gumieri

**Belo Horizonte  
2016**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha orientadora Adriana Guerra Gumieri, ao Departamento de Materiais de Construção da Escola de Engenharia da UFMG, ao engenheiro civil Daniel Henrique Nunes Peixoto e ao professor Max de Castro Magalhães do Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG por terem colaborado na realização das medições acústicas necessárias para a parte prática do trabalho. À minha família, ao meu amado Vitor e à Andréa e ao Paulo por terem cedido os espaços escolhidos de sua casa e a todos que de alguma forma colaboraram para a efetivação da presente monografia.

## RESUMO

*Na física, o ramo responsável pelo estudo do som é a acústica e uma de suas áreas que estuda esse fenômeno é a acústica arquitetônica. Essa, por sua vez, analisa o comportamento acústico em recintos fechados e que para se incorporar aos dias atuais, passou a fazer parte não só dos projetos das salas de concerto, teatros, igrejas, cinemas e estúdios, mas também de escritórios, salas de aula e principalmente casas e edifícios residenciais e comerciais. Este estudo tem por objetivo desenvolver soluções para problemáticas referentes às residências multifamiliares que não apresentam projetos acústicos arquitetônicos adequados para a vivência do usuário. Dessa forma, pretende-se verificar quais os principais fatores que prejudicam o usuário, levantando os problemas apontados pelos moradores para entender o motivo pelo qual as questões acústicas da residência não funcionam na prática. Assim, para que se possa compreender melhor as indagações que envolvem o conforto acústico no âmbito residencial e a melhor maneira de intervir nos problemas gerados, é preciso conhecer antes as principais características de seus componentes, o som e o ruído. Após os estudos e observações na edificação objeto de estudo, recorreu-se ao instrumento de pesquisa realizada por meio de uma medição de ruídos, baseada no método simplificado de campo. Com os dados encontrados verificou-se que os resultados foram obtidos de acordo com o esperado, corroborando com o que já havia sido descrito pelos moradores, e a partir disso, pôde-se averiguar o que poderia ser feito para que o problema de conforto acústico fosse solucionado ou amenizado.*

**Palavras-chave:** Acústica arquitetônica. Conforto acústico. Residências Multifamiliares. Materiais de isolamento. Construção civil.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Gráfico da relação entre pressão e tempo. ....	17
<b>Figura 2:</b> Distância entre duas cristas e dois vales. ....	18
<b>Figura 3:</b> Intensidade do som: altura da onda sonora ....	18
<b>Figura 4:</b> Mudança de direção ocasionada pela difração: (a) fonte emissora e ponto receptor, (b) sombra acústica não existe, (c) sombra acústica muito fraca e (d) sombra acústica existente. ....	19
<b>Figura 5:</b> Mudança entre meios de propagação. ....	20
<b>Figura 6:</b> Reflexão das ondas sonoras. ....	20
<b>Figura 7:</b> Esquema da distribuição da onda sonora entre duas fontes. ....	21
<b>Figura 8:</b> Incidência de uma energia sonora em uma superfície ....	24
<b>Figura 9:</b> Materiais absorventes e isolantes ....	25
<b>Figura 10:</b> Isolamento acústico de materiais e sistemas ....	26
<b>Figura 11:</b> Isolamento acústico em relação à frequência: (a) relação entre isolamento x frequência x densidade superficial, (b) aumento do isolamento pela variação da frequência. ....	27
<b>Figura 12:</b> $1/4\lambda$ da onda sonora interrompida ....	27
<b>Figura 13:</b> Aumento da capacidade de isolamento acústico ....	28
<b>Figura 14:</b> Materiais porosos e fibrosos ....	28
<b>Figura 15:</b> Relação entre o coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ) e frequência: (a) variação do coeficiente de absorção sonora segundo a frequência, (b) variação da espessura, (c) efeito da camada de ar, (d) variação da densidade, (e) efeito da aplicação de tinta ....	29
<b>Figura 16:</b> Planta do segundo pavimento com a parede geminada em destaque ....	34
<b>Figura 17:</b> Parede geminada que recebe os ruídos aéreos entre as suítes ....	34
<b>Figura 18:</b> Corte esquemático da parede geminada ....	35
<b>Figura 19:</b> Parte da parede geminada ....	35
<b>Figura 20:</b> Reduções de ruído no ouvido testadas com o protetor auditivo ....	36
<b>Figura 21:</b> Protetor auditivo do tipo concha ....	37
<b>Figura 22:</b> Amplificadores utilizados na medição de ruídos: (a) amplificador Crate, (b) amplificador Frahm ....	38
<b>Figura 23:</b> Decibelímetro ....	38

<b>Figura 24:</b> Localização das fontes de ruído e dos pontos de medição.....	39
<b>Figura 25:</b> Relação entre $D_nT$ e frequência .....	45
<b>Figura 26:</b> Parede geminada com intervenção.....	47
<b>Figura 27:</b> Ondas Estacionárias .....	48

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> .....	40
<b>Tabela 2</b> .....	41
<b>Tabela 3</b> .....	42
<b>Tabela 4</b> .....	42
<b>Tabela 5</b> .....	43
<b>Tabela 6</b> .....	43
<b>Tabela 7</b> .....	44
<b>Tabela 8</b> .....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI - *American National Standards Institute*

dB - Decibel

IA - Isolamento Acústico

LAEPI - Laboratório de Equipamento de Proteção Individual

NBR - Norma Brasileira Registrada

NC - Curvas de Avaliação de Ruído

NPS - Nível de Pressão Sonora

NRC - *Noise Reduction Coefficient*

NRRsf - Níveis de Redução de Ruído *Subject Fit*

PT - Perda na Transmissão Sonora

SVVI - Sistema de Vedações Verticais Internas

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$  – Amplitude pressão ambiente ( $P_a$ )

$A_{recinto}$  - Absorção sonora total de um recinto

$A_{sup}$  - Absorção sonora de uma superfície

$c$  - Velocidade do som

$D$  - Diferença de nível

$DnT$  - Diferença padronizada de nível ponderada

$\Sigma$  - somatório

$f$  - Frequência

$I$  - Intensidade sonora

$I_{absorvida}$  - Intensidade sonora absorvida pela superfície

$I_{incidente}$  - Intensidade sonora que incide na superfície

$I_{refletida}$  - Intensidade sonora refletida na superfície

$I_{transmitida}$  - Intensidade sonora transmitida pela superfície

$L$  - Nível sonoro

$L_{eq}$  - Nível equivalente

$L90$  - Nível estatístico

$NPS_1$  - Nível de pressão sonora antes da colocação do dispositivo

$NPS_2$  - Nível de pressão sonora após da colocação do dispositivo

$S$  - Área da superfície

$T$  - Período

$T_{60}$  - Tempo de reverberação

$V$  - Volume do recinto

$W$  - Potência Sonora

$\alpha$  - Coeficiente de absorção sonora

$\lambda$  - Comprimento de onda

$\Omega$  - Impedância

$p_{m\acute{a}x}$  - Pressão máxima

$p_{m\acute{i}n}$  - Pressão mínima

$\tau$  - Coeficiente de transmissão sonora

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1</b> .....	22
<b>Equação 2</b> .....	22
<b>Equação 3</b> .....	23
<b>Equação 4</b> .....	23
<b>Equação 5</b> .....	25
<b>Equação 6</b> .....	25
<b>Equação 7</b> .....	30
<b>Equação 8</b> .....	30
<b>Equação 9</b> .....	31
<b>Equação 10</b> .....	31
<b>Equação 11</b> .....	31
<b>Equação 12</b> .....	32
<b>Equação 13</b> .....	44

## SUMÁRIO

<b>Introdução</b> .....	13
<b>Objetivos</b> .....	14
<b>Justificativa</b> .....	15
<b>Capítulo 1: O Som e o ruído</b> .....	16
1.1 O som e suas propriedades .....	16
1.1.1 Conceito .....	16
1.1.2 Frequência e período .....	16
1.1.3 Velocidade de propagação .....	17
1.1.4 Comprimento de onda .....	17
1.1.5 Intensidade .....	18
1.2 Comportamento do som nos ambientes .....	18
1.2.1 Difração .....	18
1.2.2 Refração .....	20
1.2.3 Reflexão .....	20
1.2.4 Reverberação .....	21
1.2.4.1 Tempo de Reverberação .....	21
1.2.5 Inteligibilidade .....	22
1.2.6 Decibel .....	22
1.2.7 Transmissão do som .....	23
1.3 O ruído .....	23
1.3.1 Comportamento acústico dos materiais .....	25
1.3.1.1 Materiais isolantes acústicos .....	26
1.3.1.2 Materiais absorventes acústicos .....	28
1.3.1.3 Absorção sonora de uma superfície .....	30
1.3.1.4 Absorção sonora em recintos .....	31
1.3.1.5 Nível equivalente .....	31
1.4 Normas vigentes .....	32
1.4.1 ABNT NBR 10151 .....	32
1.4.2 ABNT NBR 10152 .....	32
1.4.3 ABNT NBR 12172 .....	33

1.4.4 ABNT NBR 15575 .....	33
<b>Capítulo 2: Estudo de caso: edificação e metodologia definidas .....</b>	<b>34</b>
2.1 Descrição da edificação .....	34
2.1.1 Elementos construtivos da parede geminada .....	35
2.2 Metodologia de obtenção de dados .....	36
2.2.1 Equipamentos utilizados .....	36
2.2.2 Coleta de dados .....	39
<b>Capítulo 3: Resultados obtidos e análise final .....</b>	<b>40</b>
<b>Capítulo 4: Proposta de tratamento acústico .....</b>	<b>47</b>
<b>Considerações finais .....</b>	<b>49</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>50</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>52</b>
<b>Apêndice B .....</b>	<b>53</b>
<b>Apêndice C .....</b>	<b>54</b>
<b>Apêndice D .....</b>	<b>55</b>
<b>Apêndice E .....</b>	<b>56</b>
<b>Apêndice F .....</b>	<b>57</b>

## INTRODUÇÃO

Na física, o ramo responsável pelo estudo do som é a acústica e uma de suas áreas que estuda esse fenômeno é a acústica arquitetônica. Essa, por sua vez, analisa o comportamento acústico em recintos fechados e que para se incorporar aos dias atuais, passou a fazer parte não só dos projetos das salas de concerto, teatros, igrejas, cinemas e estúdios, mas também de escritórios, salas de aula e principalmente casas e edifícios residenciais e comerciais.

Segundo Carvalho (2010), como a acústica arquitetônica ainda é um tema relativamente novo no Brasil - com poucos livros disponíveis em português e que nem sempre são encontrados com facilidade nas livrarias e bibliotecas -, a maioria dos profissionais das áreas de arquitetura e engenharia possuem pouco conhecimento sobre o assunto. Assim, ao enfrentarem uma situação cuja atenção sobre a acústica deve ser redobrada, os profissionais acabam por reutilizar especificações e fórmulas existentes que são aplicadas em situações específicas e acabam fazendo com que os projetos arquitetônicos apresentem erros de conforto acústico.

O presente trabalho visa uma abordagem sobre o conforto acústico, especificamente envolvendo as residências multifamiliares, que são as unidades autônomas divididas por uma parede geminada e que se encontram no mesmo lote. Muitos fatores podem interferir na eficiência acústica nas residências citadas, especificamente, em uma edificação geminada que foi escolhida como base para o estudo de caso.

Acredita-se que haja uma falta de compatibilização de projetos na fase de concepção da arquitetura, deixando o projeto acústico como último elemento a ser desenvolvido. Muitas residências, como a escolhida para o estudo, não possuíam projetos que avaliassem as questões acústicas antes da norma ABNT NBR 15575 (2013), mais conhecida como Norma de Desempenho, entrar em vigor.

## OBJETIVOS

- Objetivo geral:

Desenvolver soluções para problemáticas referentes às residências multifamiliares que não apresentam projetos acústicos arquitetônicos adequados para a vivência do usuário a partir do estudo de caso de uma edificação geminada.

- Objetivos específicos:

1. Verificar quais os principais fatores que prejudicam a vivência dos usuários na residência.
2. Levantar os problemas apontados pelos moradores, indicando o que acontece quando as questões acústicas da residência não funcionam na prática.
3. Averiguar o que pode ser realizado para que este problema possa ser solucionado ou, ao menos, amenizado.

## JUSTIFICATIVA

De acordo com Akkerman (2012), a poluição sonora acontece quando o som altera a condição normal de audição em um determinado ambiente. Akkerman (2012) também cita que conforme a Organização Mundial de Saúde (OMS), na atualidade o ruído é considerado a terceira maior causa de poluição do planeta, perdendo apenas para a água e o ar, e passou a se tornar uma questão de saúde pública, podendo causar efeitos negativos com níveis de ruído acima de 50 dB e trazendo problemas de curto a longo prazo.

Assim, o conforto acústico começou a ganhar força em uma época onde as questões de sustentabilidade se tornaram foco em diversas áreas e passou a ser uma preocupação maior, alavancada no Brasil principalmente com a revisão das normas brasileiras de acústica feita em 2012 para a implantação da norma ABNT NBR 15575 (2013).

Aproveitando esse momento, o trabalho justifica-se por ser uma iniciativa de conhecimento voltada aos problemas de acústica arquitetônica existentes no meio da construção civil, principalmente no que tange o âmbito das residências multifamiliares.

No caso da residência selecionada, são de experiência própria os diversos inconvenientes recorrentes de soluções tomadas sem um embasamento correto voltado ao projeto acústico. Esse fator pode culminar na falta de privacidade e gerar estresses naqueles que convivem diariamente com isso.

## CAPÍTULO 1: O SOM

O crescimento dos núcleos urbanos, e conseqüentemente o aumento no número de construções que se vêm pelas cidades, têm trazido consigo um aumento nas questões relacionadas ao conforto acústico. Para se entender as indagações que envolvem o conforto acústico no âmbito arquitetônico é preciso conhecer antes as principais características de seus componentes - o som e o ruído – para que se possa compreender melhor o comportamento acústico dos materiais e a melhor maneira de intervir nos problemas gerados pela falta de um tratamento acústico adequado.

De acordo com Souza, Almeida e Bragança (2012), a acústica arquitetônica deve ser primeiramente compreendida através dos conceitos mais básicos relativos ao som e sua propagação por ser um conhecimento primordial para estabelecer a qualidade acústica do ambiente.

### 1.1 O som e suas propriedades:

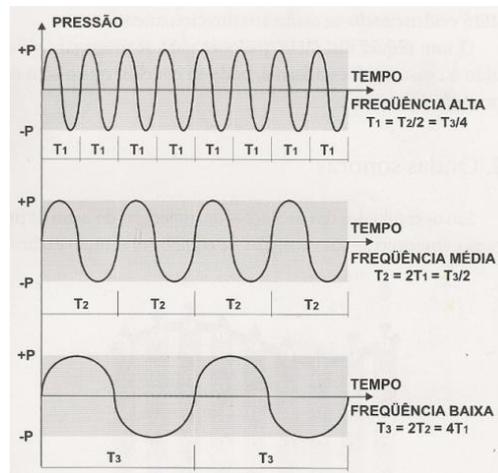
#### 1.1.1 Conceito:

O som é toda onda mecânica gerada por um corpo em vibração e que pode ser detectada por um ouvido humano. Dentre tantas características, o som pode ser estudado principalmente através da frequência ( $f$ ) e período ( $T$ ), da velocidade de propagação ( $C$ ), do comprimento de onda, da intensidade, da difração, da refração, da reflexão e da reverberação (Carvalho, 2010).

#### 1.1.2 Frequência e Período:

Pode-se definir uma frequência ( $f$ ) como o número de oscilações (ciclos) por uma unidade de tempo, período ( $T$ ), que é expressa em ciclos por segundo ou Hertz. Em resumo, as oscilações ocorrem devido a uma pressão exercida em um meio elástico (Carvalho, 2010).

A Figura 1 mostra que a frequência é inversamente proporcional ao período, podendo tirar disso a relação  $f = 1/T$ .



**Figura 1:** Gráfico da relação entre pressão e tempo.

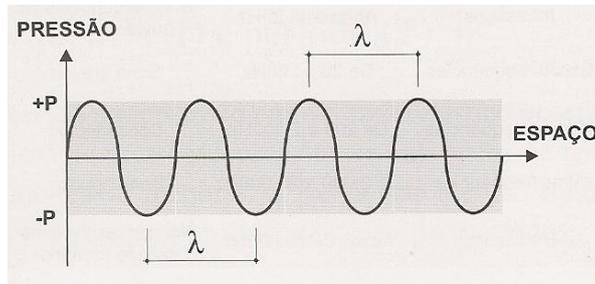
**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.26.

### 1.1.3 Velocidade de Propagação:

O som se propaga em uma velocidade (C) que é diretamente proporcional à densidade de um meio, à sua temperatura, à umidade e não sofre influência da pressão atmosférica e nem varia com a frequência (Carvalho, 2010).

### 1.1.4 Comprimento de Onda:

O comprimento de onda ( $\lambda = C/f$ ) pode ser definido como a distância percorrida pela onda sonora segundo um ciclo completo de pressão e depressão, ou seja, é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos. Costuma ser representado pela letra grega lambda ( $\lambda$ ) e seus valores são dados em metros (Carvalho, 2010). A Figura 2 mostra, a partir da relação entre espaço e pressão, como é possível identificar as distâncias citadas.

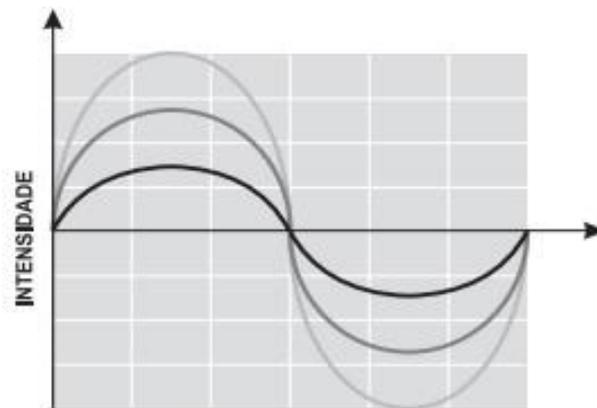


**Figura 2:** Distância entre duas cristas e dois vales.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.28.

### 1.1.5 Intensidade do Som:

A intensidade do som ocorre quando o som chega ao receptor em forma de energia. Quanto mais alta for a amplitude da onda sonora, maior será a intensidade do som (Carvalho, 2010). Como mostrado na Figura 3.



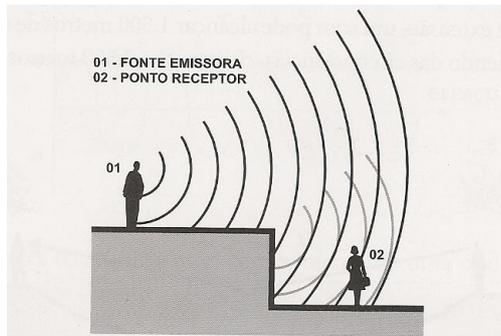
**Figura 3:** Intensidade do som: altura da onda sonora

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.28.

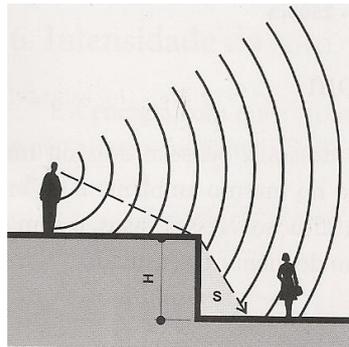
## 1.2 Comportamento do som nos ambientes

### 1.2.1 Difração do Som:

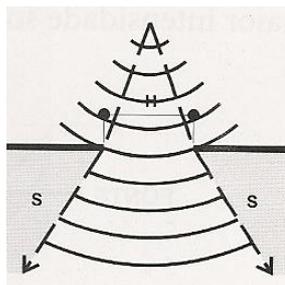
A difração é a propriedade que uma onda sonora tem para passar por obstáculos que estão entre a fonte emissora e o ponto receptor, tendo, assim, a capacidade de mudar de direção e tendo como consequência a redução da sua intensidade (Carvalho, 2010), como mostrado na Figura 4.



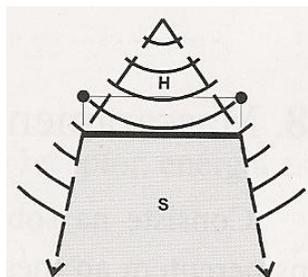
(a) Fonte emissora e ponto receptor



(b) Se o comprimento do obstáculo ( $H$ ) < comprimento da onda sonora ( $\lambda$ ), a sombra acústica ( $S$ ) não existe.



(c) Se o comprimento do obstáculo ( $H$ ) = comprimento da onda sonora ( $\lambda$ ), a sombra acústica ( $S$ ) é muito fraca.



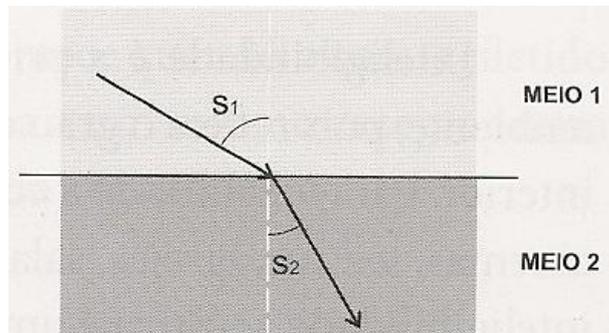
(d) Se o comprimento do obstáculo ( $H$ ) > comprimento da onda sonora ( $\lambda$ ), a sombra acústica ( $S$ ) existe.

**Figura 4:** Mudança de direção ocasionada pela difração: (a) fonte emissora e ponto receptor, (b) sombra acústica não existe, (c) sombra acústica muito fraca e (d) sombra acústica existente.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.30.

### 1.2.2 Refração do Som:

A refração acontece quando uma onda sonora muda de direção ao passar de um meio de propagação para o outro com seus respectivos ângulos de incidência ( $S_1$  e  $S_2$ ), como mostrado na Figura 5.

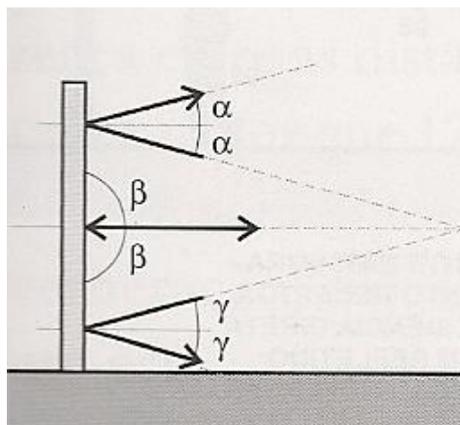


**Figura 5:** Mudança entre meios de propagação.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.31.

### 1.2.3 Reflexão do Som:

Ao atingirem um obstáculo físico, as ondas sonoras são refletidas, possuindo um ângulo de incidência igual ao de reflexão, representado pelas letras  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  nos três diferentes tipos de reflexão, como mostrado na Figura 6.



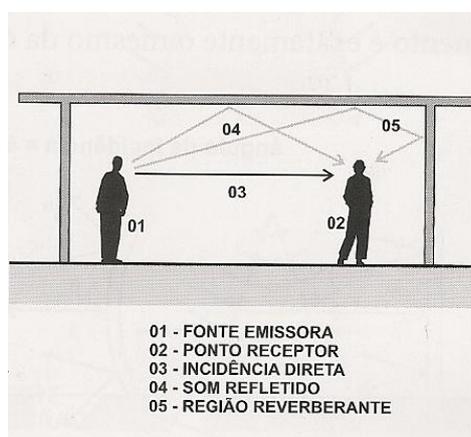
**Figura 6:** Reflexão das ondas sonoras.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.31.

## 1.2.4 Reverberação

A reverberação ocorre quando um obstáculo que refletiu a onda sonora está mais afastado da fonte, onde o som emitido e o refletido devem possuir um intervalo de tempo menor que 0,1s. Nesse caso, ao receber dois estímulos do mesmo tipo em menos de 0,1s, o ouvinte tem a sensação que o som ainda não foi suplantado.

Assim, quanto maior for a distância entre as fontes emissoras e receptoras, maior deve ser o prolongamento do som produzido (Carvalho, 2010), como mostrado na Figura 7.



**Figura 7:** Esquema da distribuição da onda sonora entre duas fontes.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.32.

### 1.2.4.1 Tempo de Reverberação

De acordo com Silva (2005), o tempo de reverberação ( $T_{60}$ ) é o intervalo de tempo necessário para que a densidade média da energia contida em um determinado som reduza a  $10^{-16}$  (Watt/cm<sup>2</sup>) do seu valor inicial, isto é, de 60dB, a partir do término da emissão de sua fonte.

O tempo de reverberação pode ser encontrado pela Fórmula de Sabine (representado pela equação 1), uma fórmula criada pelo pesquisador W. C. Sabine e que é capaz de relacionar o tempo de reverberação e a absorção sonora.

$$T_{60} = 0,161 \times \frac{V}{A_{recinto}} \text{ (segundos)} \quad \text{Eq. 1}$$

onde:

$V$  = o volume do recinto;

$A_{recinto}$  = a absorção sonora total de um recinto.

### 1.2.5 Inteligibilidade:

A inteligibilidade é a principal característica acústica de um ambiente, pois retrata o quanto as palavras são compreendidas em seu interior.

### 1.2.6 Decibel

O bel é a unidade de intensidade física que é principalmente usado nas áreas de acústica, eletrônica e telecomunicações. Sua décima parte, o decibel (dB), é utilizado em medições de níveis de ruído e pode ser representado pela equação 2.

$$i = 10 \times \log_{10} I / I_0 \quad \text{Eq. 2}$$

onde:

$i$  = intensidade física relativa, expressa em dB

$I$  = intensidade física absoluta do mesmo som

$I_0$  = intensidade do som correspondente ao limiar da percepção

( $I_0 = 10^{-16} \text{ W/cm}^2$ ).

“Se para existir um som é necessário uma variação da pressão do meio ambiente ( $P$ ), pode-se afirmar que a medida de um nível de pressão sonora (NPS) também pode ser quantificada com base na variação de pressão do meio ambiente:  $20 \times \log_{10} P/P_0$ .” (CARVALHO, 2010, p.35.)

### 1.2.7 Transmissão do som

Para que a transmissão sonora ocorra, é preciso que exista um meio material para sua propagação, como por exemplo, o ar. Ao se deparar com um obstáculo, a onda sonora incide sobre ele, fazendo-o vibrar, e parte dela é transmitida através do material.

A capacidade de medir a transmissão sonora é dada pelo coeficiente de transmissão sonora ( $\tau$ ), representado pela equação 3, segundo Bistafa (2006), pode ser definido pela associação entre a intensidade sonora do som incidente e a intensidade sonora transmitida, que pode ser explicada como a parcela de energia sonora que passa pela superfície oposta à do som incidente e se propaga ao ar livre ou em outro ambiente.

$$\tau = \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}} \quad \text{Eq. 3}$$

Para Bistafa (2006), o parâmetro responsável por caracterizar a isolamento sonora de um elemento construtivo é uma grandeza derivada do coeficiente de transmissão sonora ( $\tau$ ), chamada de perda na transmissão sonora (PT), representada na equação 4.

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad \text{Eq. 4}$$

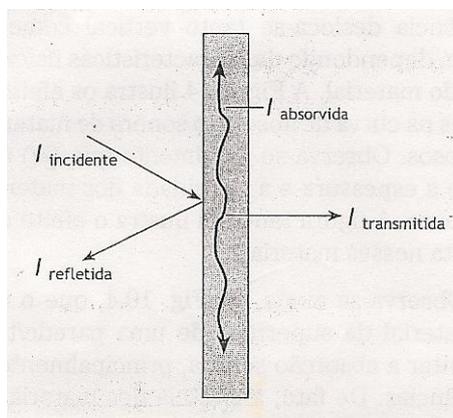
### 1.3 O ruído

Para Souza, Almeida e Bragança (2012), os ruídos gerados, em função das características e do posicionamento da fonte, podem se propagar pelo ar (ruído aéreo) e por estruturas sólidas, que podem ser gerados por vibrações em sólidos ou por impacto (ruído de impacto).

Ainda de acordo com Souza, Almeida e Bragança (2012), os ruídos existentes em um ambiente interno podem surgir a partir de fontes internas ou externas à edificação. Estas fontes, trabalhando em conjunto, definem um nível sonoro mínimo que pode ser chamado de ruído de fundo.

“O ruído de fundo caracteriza-se por apresentar variação de intensidade e pode, por consequência da propriedade de mascaramento dos sons, contribuir para a acústica dos ambientes. Portanto, somente quando o ambiente requer condições especiais de baixa intensidade sonora, como no caso de estúdios e câmaras acústicas, é que o ruído de fundo deve ser eliminado. Para ambientes mais comuns, isolar é reduzir a intensidade sonora transmitida para dentro dos ambientes, sem que, no entanto, isso represente a extinção total do ruído de fundo.” (SOUZA, ALMEIDA e BRAGANÇA, 2012).

De acordo com Bistafa (2006), a propagação de um ruído ocorre quando um som incide sobre uma superfície, gerando uma energia sonora na qual parte dela é refletida e a outra parte, que desaparece na própria superfície, é composta de duas partes: a energia sonora que é absorvida e a energia sonora que é transmitida pela superfície, como mostrado na Figura 8.



**Figura 8:** Incidência de uma energia sonora em uma superfície

**Fonte:** BISTAFA, 2006, p. 232.

De acordo com Bistafa (2006), para definir a eficiência que uma superfície possui em absorver o som, utiliza-se a medida dada pelo coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ), apresentada pela equação 5. Já o coeficiente de reflexão sonora ( $\rho$ ) pode ser definido pela equação 6.

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorvida}}}{I_{\text{incidente}}} = \frac{I_{\text{incidente}} - I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} = 1 - \frac{I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad \text{Eq. 5}$$

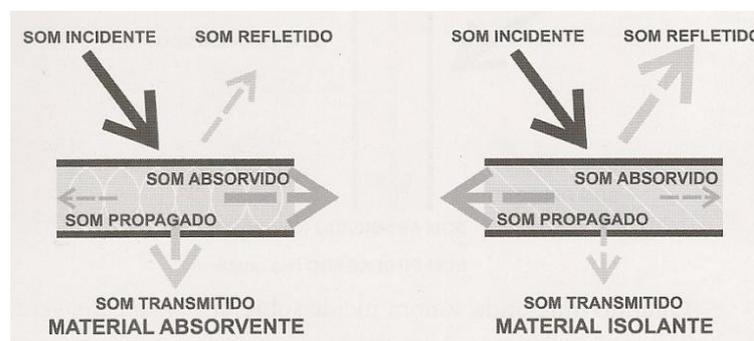
$$\rho = \frac{I_{\text{refletida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad \text{Eq. 6}$$

A partir da relação entre as fórmulas dos coeficientes de absorção e reflexão, é possível perceber que  $\alpha = 1 - \rho$ . Portanto, para uma situação onde  $\alpha = 1$  e  $\rho = 0$ , tem-se uma superfície totalmente absorvente, da mesma forma que para  $\alpha = 0$  e  $\rho = 1$ , tem-se uma superfície totalmente reflexiva.

### 1.3.1 Comportamento acústico dos materiais

Pelas definições de Carvalho (2010), quando um material retém a maior parte das ondas sonoras que incidem sobre ele, transformando-as em energia térmica, se diz que este material tem boa absorção acústica. Já quando um material reflete a maior parte da energia sonora que incide sobre o material, evitando que essa onda sonora seja transmitida de um ambiente para o outro, pode-se dizer que o material é um bom isolante acústico.

Assim, quando um material é considerado um bom isolante acústico, ele pode ser considerado um absorvente acústico ruim, pois poucas ondas sonoras serão absorvidas, da mesma forma que um bom material absorvente pode ser considerado um isolante acústico ruim, pois poucas ondas sonoras serão refletidas, como mostrado na Figura 9.



**Figura 9:** Materiais absorventes e isolantes

Fonte: CARVALHO, 2010, p. 56.

### 1.3.1.1 Materiais isolantes acústicos

“A variação de pressão acústica de um determinado ambiente induz os anteparos/superfícies nas imediações a vibrarem. É esse processo vibratório que gera, do outro lado da superfície, uma fonte sonora secundária.” (CARVALHO, 2010, p.56).

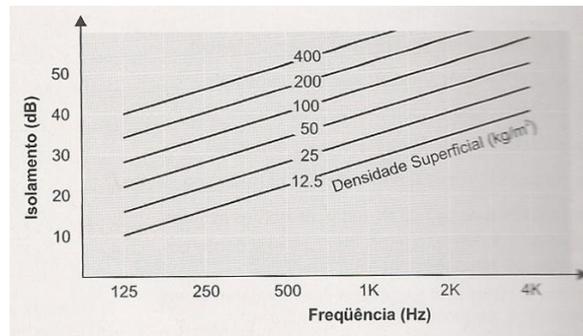
De acordo com Carvalho (2010), quanto maior for a massa da superfície, menor serão as suas chances de vibrar e transmitir as ondas sonoras. O nível de isolamento acústico (IA) de materiais e sistemas é obtido de maneira exata em laboratório e alguns índices de isolamento podem ser conferidos na Figura 10.

Materiais e Sistemas	IA(dB) 500Hz
Divisórias	
Fibra mineral 50mm, c/ compensado 6mm em ambos lados	30
Gesso acartonado 13mm, fixado em cada um dos lados de montantes de madeira 75 x 38mm	35
Gesso acartonado 13mm, fixado em cada um dos lados de um núcleo alveolado	28
Gyproc (gesso c/ lâ de rocha), placa c/ 3 camadas de 19mm.	35
Lã de madeira 50mm, densidade 30kg/m <sup>3</sup>	08
Lã de madeira 50mm, revestida c/ gesso acartonado 35kg/m <sup>2</sup>	35
Lã de rocha 50mm, revestida c/ gesso acartonado 10mm em ambos os lados.	37

**Figura 10:** Isolamento acústico de materiais e sistemas

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p. 57.

Outra maneira para encontrar o nível de isolamento acústico, de acordo com Carvalho (2010), é pela Lei da Massa. Seu cálculo é feito com base na densidade superficial de um material em uma determinada frequência. Um detalhe importante é que, ao se duplicar a massa de um determinado material, o seu isolamento sonoro não aumenta na mesma proporção, mas apresenta um aumento de 6 dB a cada dobra, como mostrado na Figura 11.



(a) Relação entre isolamento x frequência x densidade superficial

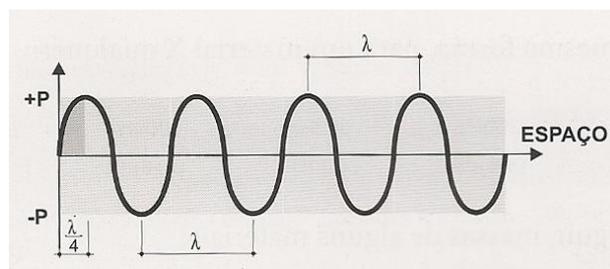
125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz
(x-12)dB	(x-6)dB	(x)dB	(x+6)dB	(x+12)dB

(b) aumento do isolamento pela variação da frequência

**Figura 11:** Isolamento acústico em relação à frequência: (a) relação entre isolamento x frequência x densidade superficial, (b) aumento do isolamento pela variação da frequência.

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.60 e 61.

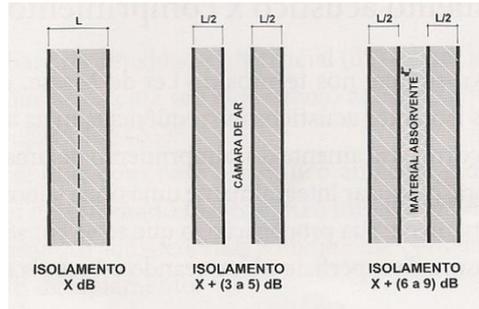
Portanto, à medida que a frequência vai aumentando, os materiais se tornam melhores isolantes acústicos, e isso acontece por causa do comprimento de uma determinada onda sonora que tem a sua propagação interrompida integralmente a  $1/4\lambda$  e a partir do aumento da espessura da superfície, como mostrado na Figura 12.



**Figura 12:**  $1/4\lambda$  da onda sonora interrompida

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.62.

De acordo com Carvalho (2006), um importante efeito para o isolamento acústico é o massa/mola/massa, que tem como objetivo gerar espaços vazios ou o preenchimento com material absorvente acústico entre duas placas externas para melhorar a capacidade de isolamento do sistema, como mostrado na Figura 13.

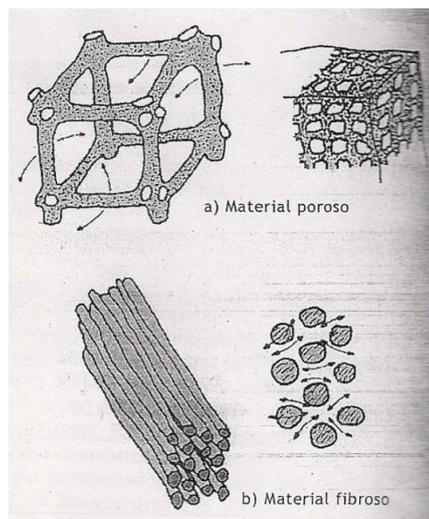


**Figura 13:** Aumento da capacidade de isolamento acústico

**Fonte:** CARVALHO, 2010, p.62.

### 1.3.1.2 Materiais absorventes acústicos

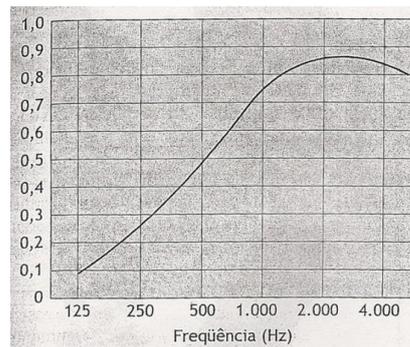
De acordo com Bistafa (2006), os materiais considerados bons absorventes acústicos são aqueles que apresentam características fibrosas (lã de rocha, lã de vidro) ou porosas (espumas de poliuretano), pois são materiais que permitem a entrada e a movimentação de moléculas de ar em seu interior, o que resulta na dissipação da energia sonora, causada pelo atrito entre a onda sonora incidente e as moléculas de ar citadas, como mostrado na Figura 14.



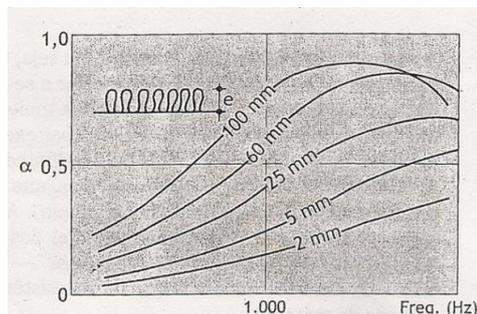
**Figura 14:** Materiais porosos e fibrosos

**Fonte:** BISTAFA, 2006, p.232.

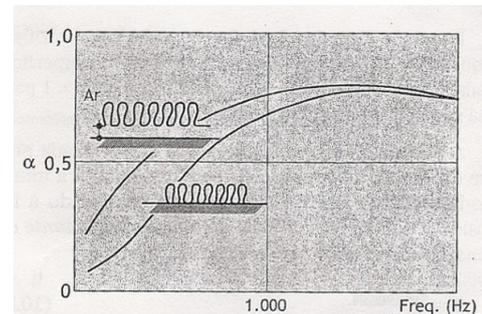
De acordo com Bistafa (2006), o coeficiente de absorção sonora de um material poroso ou fibroso ( $\alpha$ ) pode variar de acordo com a frequência de uma onda sonora. A curva gerada no gráfico pela relação dessas duas variáveis pode sofrer mudanças de acordo com as características físicas e construtivas do material escolhido, como por exemplo: a variações na espessura e na densidade, efeito da aplicação de tinta nos materiais e efeito da camada de ar, como mostrado na Figura 15.



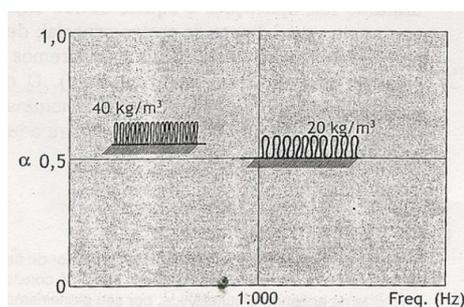
(a) Variação do coeficiente de absorção sonora segundo a frequência



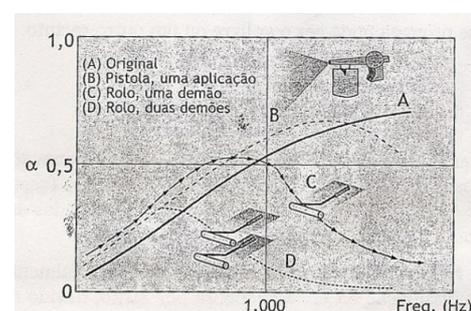
(b) Variação da espessura



(c) Efeito da camada de ar



(d) Variação da densidade



(e) Efeito da aplicação de tinta

**Figura 15:** Relação entre o coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ) e frequência: (a) variação do coeficiente de absorção sonora segundo a frequência, (b) variação da espessura, (c) efeito da camada de ar, (d) variação da densidade, (e) efeito da aplicação de tinta

Fonte: BISTAFSA, 2006, p.233.

Existe ainda, de acordo com Bistafa (2006), um índice de absorção acústica conhecido como NRC (*Noise Reduction Coefficient*), que pode ser definido pela capacidade de quantificar a redução de ruídos devido ao uso de dispositivos, como por exemplo, paredes. Pode-se dizer que o NRC é a diferença entre os níveis de pressão sonora (NPS) antes e depois da colocação de um dispositivo e pode ser representado pela equação 7.

$$NR = NPS_1 - NPS_2 \quad \text{Eq. 7}$$

onde:

$NPS_1$  = nível de pressão sonora antes da colocação do dispositivo

$NPS_2$  = nível de pressão sonora após da colocação do dispositivo

Para avaliar a perda de transmissão sonora entre dois meios - determinada através de um experimento em uma câmara reverberante e normalizado pela ISO 140-3 (1995) -, é possível utilizar a equação 8.

$$PT = NPS_1 - NPS_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A_{\text{sala recepção}}} \right) \quad \text{Eq. 8}$$

onde:

$S$  = área da parede em  $m^2$

$A_{\text{sala recepção}}$  = absorção sonora na sala de recepção

### 1.3.1.3 Absorção sonora de uma superfície

Para Bistafa (2006), a capacidade de absorção sonora de uma superfície não depende somente do coeficiente de absorção sonora, mas também da área da superfície. A absorção sonora de uma superfície ( $A_{sup}$ ) pode ser representada pela equação 9.

$$A_{sup} = \alpha \times S \quad \text{Eq. 9}$$

onde:

$\alpha$  = coeficiente de absorção sonora

$S$  = área da superfície em m<sup>2</sup>

#### 1.3.1.4 Absorção sonora em recintos

De acordo com Bistafa (2006), a absorção sonora em recintos é dada pelo somatório de todas as absorções sonoras das superfícies em um recinto e pode ser expressa pela equação 10.

$$A_{recinto} = \sum \alpha_i \times S_i \quad \text{Eq. 10}$$

#### 1.3.1.5 Nível Sonoro Equivalente

O nível sonoro equivalente ( $L_{eq}$ ), segundo Bistafa (2006), é a média dos níveis que são encontrados em uma medição de ruídos, expresso em decibéis (dB), e pode ser calculado pelas equações 11 e 12.

$$L_{eq} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{T} \times \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right] \quad \text{Eq. 11}$$

onde:

$L_p(t)$  = o nível sonoro no instante  $t$

$T$  = o intervalo de tempo de registro.

Quando  $L_p(t)$  for o nível sonoro A-ponderado, então a unidade de  $L_{eq}$  será dada em dB(A).

Ainda de acordo com Bistafa (2006), regularmente a integral da equação 11 é calculada numericamente (cálculo aproximado), tendo por base as medições com um medidor de nível sonoro simples. Por isso, pode-se usar uma fórmula (equação 12) que se aproxima da equação 11, cujo método se baseia em realizar N leituras de níveis sonoros em intervalos de tempos iguais.

$$L_{eq} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i 10^{L_{pi}/10} \right] \quad \text{Eq. 12}$$

onde:

N = número de medições realizadas

$L_{pi}$  = valores encontrados nas medições

#### 1.4 Normas vigentes

Hoje, as questões de acústica arquitetônica e os parâmetros a serem seguidos podem se basear principalmente em três normas brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

##### 1.4.1 ABNT NBR 10151

Esta norma, vigente no Brasil desde 2000, tem como objetivo avaliar o ruído em áreas habitadas visando o conforto local.

##### 1.4.2 ABNT NBR 10152

Esta norma, vigente no Brasil desde 1987, tem como objetivo apresentar os níveis de ruído que são aceitáveis acusticamente em diversos ambientes. Em residências, por exemplo, são tolerados em dormitórios níveis de ruídos que variam de 35 a 45 dB (A), já nas salas de estar são aceitáveis ruídos de 40 a 50 dB (A).

#### 1.4.3 ABNT NBR 12172

Esta norma, vigente no Brasil desde 1992, tem como objetivo estabelecer os principais critérios para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. Nela são apresentados os valores de isolamento acústico de diversos materiais de construção, necessários para elaboração dos cálculos e posterior projeto acústico, cujo objetivo final é atender as normas vigentes.

A norma apresenta o coeficiente de absorção nas frequências de 125 a 4000 Hz de diversos materiais da construção civil (Tabela de Hans W. Bobran), fornecendo dados para o cálculo do tempo de reverberação. Indica também os tempos de reverberação ideais a serem alcançados em um projeto e que esse tempo ideal varie de acordo com o volume ( $m^3$ ) e o tipo de uso do recinto.

#### 1.4.4 ABNT NBR 15575

A principal e mais recente norma atualmente no Brasil é a Norma de Desempenho, vigente no Brasil desde 2013, e que tem como objetivo especificar todas as características dos sistemas construtivos de edificações residenciais de modo que o seu comportamento em uso, e não os métodos construtivos em si, atendam aos requisitos mínimos de desempenho ao longo de sua vida útil.

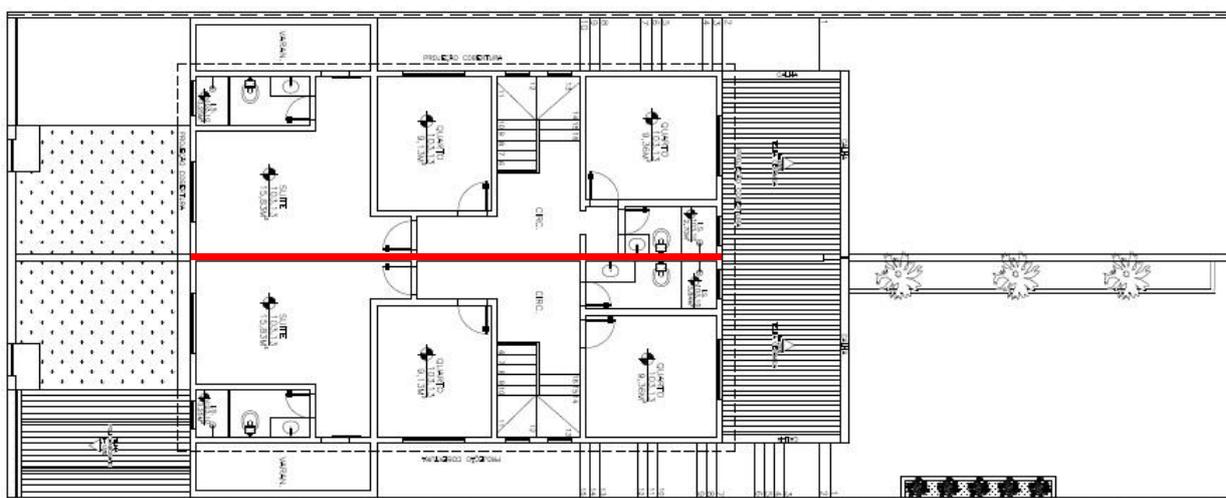
A norma de desempenho foi criada para ser um dos principais instrumentos para melhorar as questões acústicas, desde a concepção do projeto até a especificação dos seus materiais, de modo que as construtoras tentem incorporá-las cada vez mais nas construções dos edifícios residenciais. Diferentemente das outras normas, a NBR 15575 passa a estabelecer os atuais níveis de ruídos aceitáveis analisando o desempenho acústico dos sistemas de vedações verticais internas e externas. No caso deste trabalho será analisado o sistema de vedação vertical interna (SVVI), determinada por uma parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), onde pelo menos um dos ambientes seja um dormitório.

## CAPÍTULO 2: ESTUDO DE CASO

### EDIFICAÇÃO E METODOLOGIA DEFINIDAS

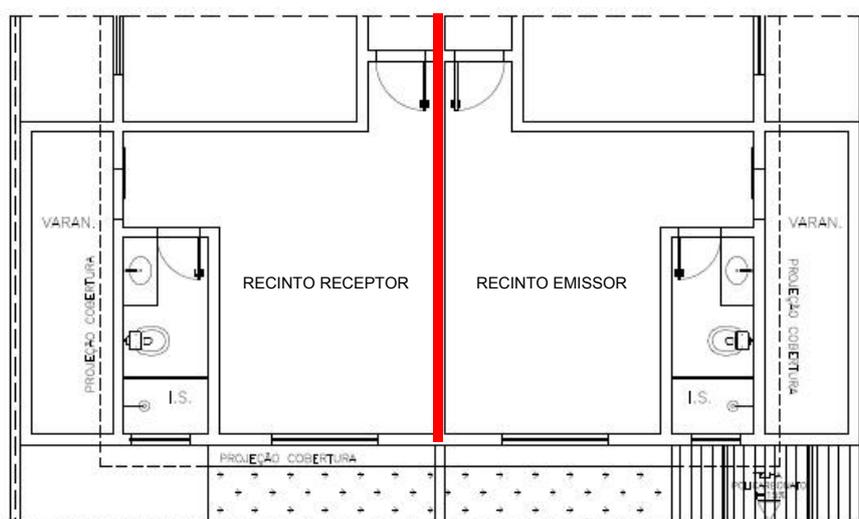
#### 2.1 Descrição da Edificação

O objeto de estudo desse trabalho é uma casa geminada que foi construída em 2007 e que é composta por duas unidades autônomas com dois pavimentos e subsolo (apêndices A, B e C). Especificamente, a área analisada no experimento é o segundo pavimento onde se encontram os quartos, como representado nas Figuras 16 e 17.



**Figura 16:** Planta do segundo pavimento com a parede geminada em destaque

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

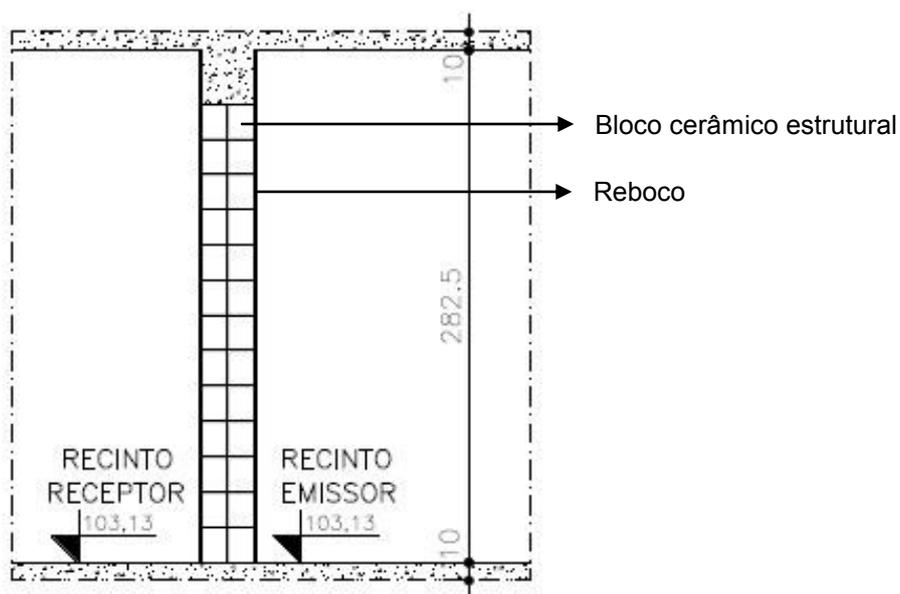


**Figura 17:** Parede geminada que recebe os ruídos aéreos entre as suítes

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

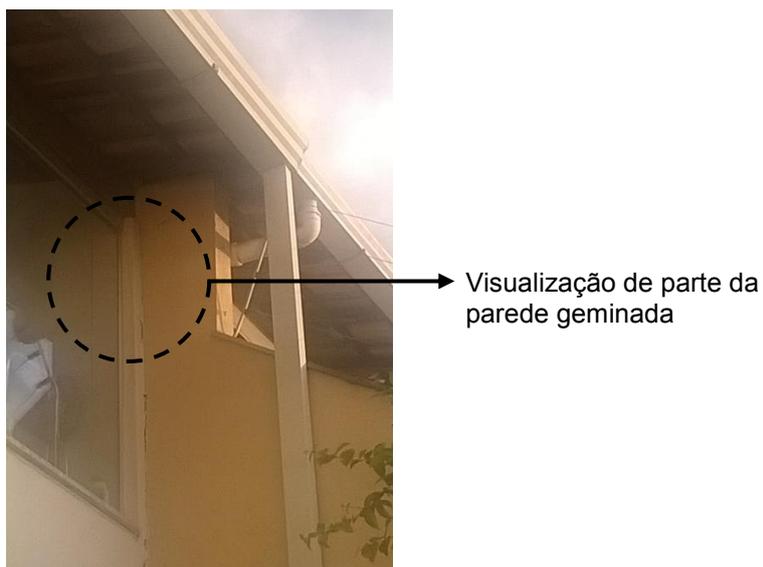
### 2.1.1 Elementos construtivos da parede geminada

A parede geminada que divide as duas unidades autônomas é uma parede dupla composta por blocos cerâmicos estruturais de 14 x 19 x 29 cm, reboco com gesso liso de 1 cm de espessura de cada lado e finalizada com tinta acrílica acetinada, mas sem nenhum tipo de material de isolamento acústico entre as paredes, como mostrado nas Figuras 18 e 19.



**Figura 18:** Corte esquemático da parede geminada

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.



**Figura 19:** Parte da parede geminada

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

## 2.2 Metodologia de obtenção de dados

Para efeito de estudo do presente trabalho serão analisados somente os ruídos aéreos do objeto de estudo, que podem se transmitir através do piso e das paredes entre diferentes ambientes e podem ser exemplificados pelos sons das vozes, músicas e TV.

As medições foram realizadas nas duas suítes pertencentes às unidades autônomas, de modo que a obtenção de dados foi realizada a partir do método simplificado de campo (método de controle).

De acordo com a norma ABNT NBR 15575 (2013):

“Este método permite obter uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa (conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso), do isolamento sonoro global entre recintos internos, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro. O método simplificado é descrito na ISO 10052.” (ABNT, 2013)

### 2.2.1 Equipamentos utilizados

Na medição de ruídos foram utilizados equipamentos de proteção auditiva, um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) e duas caixas acústicas amplificadas ativas (caixa de som mais amplificador integrado).

O protetor auditivo usado foi do tipo concha da marca 3M, modelo 1426 e foi testado de acordo com a norma ANSI S12.6 (2008) através do método B - método do ouvido real, colocação pelo ouvinte - pelo Laboratório de Equipamento de Proteção Individual (LAEPI), tendo sido obtidos os Níveis de Redução de Ruído *Subject Fit* (NRRsf), como mostram as Figuras 20 e 21.

FREQUÊNCIA (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000	NRRsf
Redução De Ruído No Ouvido (dB)	10,06	15,9	24,6	34,1	32,2	32,4	29,4	20 dB
Desvio Padrão (dB)	2,1	3,2	3,1	2,3	2	3,5	3,7	

**Figura 20:** Reduções de ruído no ouvido testadas com o protetor auditivo

**Fonte:** 3M – [www.3mepi.com.br](http://www.3mepi.com.br)



**Figura 21:** Protetor auditivo do tipo concha

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

Em um primeiro momento, seria utilizada apenas uma caixa ativa e constatou-se depois de um teste de medição que os ruídos que chegavam ao recinto receptor não eram suficientes para obter uma diferença mínima de nível de pressão sonora de 10 dB em relação ao ruído de fundo do recinto emissor, como pede a ISO 10052. Assim, tomou-se a decisão de utilizar duas caixas ativas para encontrar o resultado esperado.

Uma das características principais das caixas acústicas é a impedância ( $\Omega$ ), que segundo Bersan (2008) é a oposição, resistência, que um circuito faz à passagem de uma corrente elétrica e que varia de acordo com a frequência.

“A energia elétrica, ao passar pelo alto-falante, encontra uma resistência elétrica (o fio da bobina) e uma resistência mecânica (uma dificuldade causada pela inércia para movimentar os componentes mecânicos). A soma dessas duas resistências é que dará a impedância nominal do alto-falante”. (BERSAN, 2008).

A interação entre as caixas acontece através do casamento de impedâncias, que de acordo com Bersan (2008), é a conexão de circuitos diferentes, com impedâncias diferentes, de forma que se possa obter um máximo rendimento entre elas.

Uma das caixas, do tipo retangular, pertence ao modelo GX-15 da marca Crate, possui impedância de 4  $\Omega$  e potência de saída de 15 watts, podendo atingir no máximo 50 watts. A segunda caixa, do tipo trapezoidal, pertence ao modelo PSA-1800 da marca Frahm, com impedância de 8  $\Omega$  e potência de saída de 100 watts, como mostra a Figura 22.



(a) Amplificador Crate



(b) Amplificador Frahm

**Figura 22:** Amplificadores utilizados na medição de ruídos: (a) amplificador Crate, (b) amplificador Frahm

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

O medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) utilizado foi o modelo DL - 4050 da marca Icel, como mostra a Figura 23. Conforme o exigido pelas normas ABNT NBR 10151 (2000) e ABNT NBR 10152 (1987), o aparelho foi programado para funcionar no modo “*Slow*” e para medir o nível de pressão sonora equivalente no modo “*A*” ( $L_{Aeq}$ ), pois de acordo com a Icel esse modo simula a curva de resposta do ouvido humano.



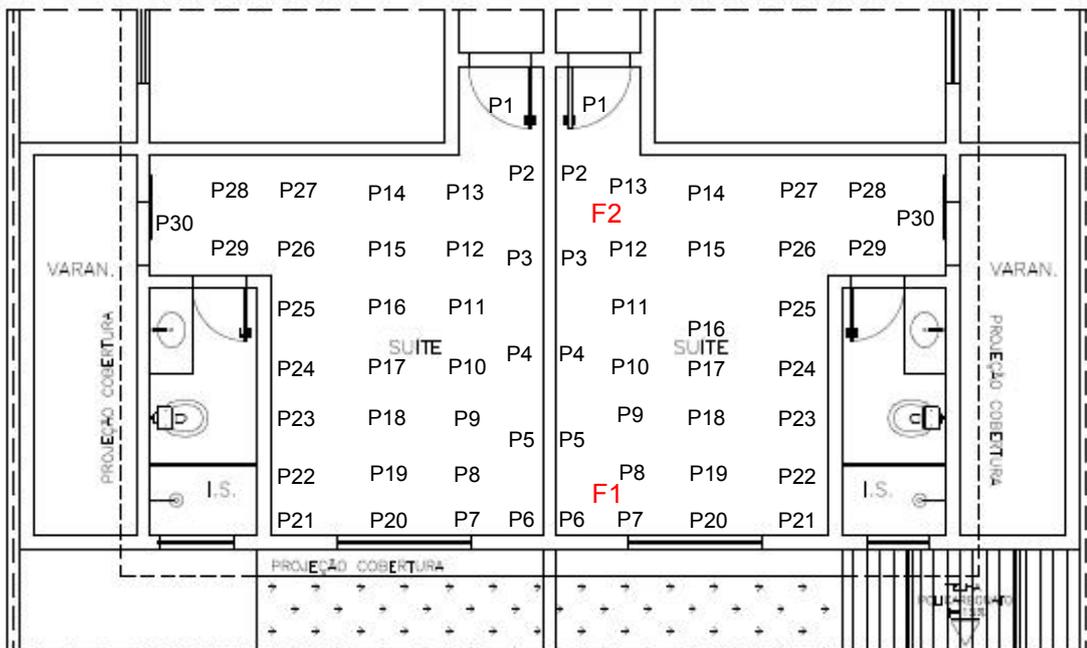
**Figura 23:** Decibelímetro

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

## 2.2.2 Coleta de Dados

As medições internas dos níveis de pressão sonora foram realizadas de modo que as fontes de ruído se encontrassem no recinto emissor. Neste, as duas fontes foram posicionadas a 0,60 m do chão e emitiram ruídos pertencentes a uma banda de oitava, faixa audível do ouvido humano que é dividida em oito bandas ou intervalos onde cada banda é expressa no valor central do intervalo (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz).

No recinto emissor foram realizadas 30 medições com as fontes ligadas (apêndice D), com 5s de duração cada, em diversos pontos do recinto, para as frequências centrais da banda de oitava de 125 a 4000 Hz. Já no recinto receptor, as duas fontes de ruído permaneceram no recinto emissor e as medições foram realizadas da mesma forma (apêndice E), como demonstrado na Figura 24.



**Figura 24:** Localização das fontes de ruído e dos pontos de medição

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

### **Legenda:**

**F** – Fonte de Ruído

**P** – Ponto de medição

### CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE FINAL

A partir dos dados coletados nas medições, que podem ser vistos nos apêndices D e E, é possível realizar os cálculos necessários para encontrar os valores referentes à diferença de nível padronizada (DnT), que servem para entender o quanto a parede geminada isolou acusticamente o ruído aéreo entre os recintos em cada frequência central da banda de oitava (Hz).

Primeiramente, começaremos encontrando o valor do nível equivalente ( $L_{eq}$ ), representada pela equação 12 (p.32), das 30 medições realizadas para cada uma das frequências de 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz, tanto do recinto emissor quanto do receptor.

$$L_{eq} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i 10^{L_{pi}/10} \right]$$

Foram encontrados os seguintes dados para os recintos, representados nas Tabelas 1 e 2, cujos cálculos podem ser conferidos no apêndice F:

-  $L_{eq1}$  do recinto emissor:

**Tabela 1:** Valores de  $L_{eq}$  no recinto emissor

Frequências Centrais Banda de Oitava (Hz)	$L_{eq1}$ (dB)
125	85,80
250	88,83
500	94,73
1000	92,64
2000	95,75
4000	91,57

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

-  $L_{eq2}$  do recinto receptor:

**Tabela 2:** Valores de  $L_{eq}$  no recinto receptor

Frequências Centrais Banda de Oitava (Hz)	$L_{eq2}$ (dB)
125	55,02
250	59,98
500	60,86
1000	63,40
2000	52,19
4000	52,25

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.

Depois é preciso calcular o tempo de reverberação e para isso é necessário que os seguintes valores sejam encontrados:

- Volumetria do recinto:  $15,83 \text{ m}^2 \times 2,825 \text{ m}^2 = 44,71975 = \mathbf{44,72 \text{ m}^3}$

- Áreas das superfícies do recinto:

Paredes:  $(5,30 \times 2,825) + [(3,05 \times 2,825) - (1,5 \times 1,5)] + (2,95 \times 2,825) + [(1,31 \times 2,825) - (0,60 \times 2,10)] + [(1,35 \times 2,825) - (0,70 \times 2,10)] + (3,41 \times 2,825) + (1 \times 2,825) + [(0,95 \times 2,825) - (0,70 \times 2,10)] = 48,129 = \mathbf{48,13 \text{ m}^2}$

Piso:  $15,8335 = \mathbf{15,83 \text{ m}^2}$

Teto:  $15,8335 = \mathbf{15,83 \text{ m}^2}$

Portas:

- Madeira:  $(0,70 \times 2,10) + (0,60 \times 2,10) = 1,47 + 1,26 = \mathbf{2,73 \text{ m}^2}$

Vidro Temperado:

- Janela:  $1,5 \times 1,5 = 2,25 \text{ m}^2$

- Porta:  $0,70 \times 2,10 = 1,47 \text{ m}^2$

$2,25 + 1,47 = \mathbf{3,72 \text{ m}^2}$

- Coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) dos materiais encontrados no recinto, como mostra a Tabela 3, e absorção sonora das superfícies do recinto - coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) x área das superfícies do recinto -, como mostra a Tabela 4.

**Tabela 3:** Valores dos coeficientes de absorção ( $\alpha$ )

Materiais	Frequências Centrais da Banda de Oitava (Hz)						Fonte
	125	250	500	1000	2000	4000	
Reboco ou gesso desempenado sobre quaisquer alvenarias (parede)	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	BIS. <sup>1</sup>
Laje de concreto rebocada (teto)	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018	COS. <sup>2</sup>
Paviflex (pisso)	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	BIS.
Porta de madeira, pintada ou envernizada	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	BIS.
Vidro fixo, temperado ou laminado, com grande superfície (janela e porta)	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	BIS.

Fonte: (1) BISTAFA, 2006; (2) COSTA, 2004.

**Tabela 4:** Valores das absorções sonoras das superfícies dos recintos

Materiais	Frequências Centrais da Banda de Oitava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Reboco ou gesso desempenado sobre quaisquer alvenarias (parede)	$0,02 \times 48,13 =$ 0,9626	$0,02 \times 48,13 =$ 0,9626	$0,03 \times 48,13 =$ 1,4439	$0,04 \times 48,13 =$ 1,9252	$0,04 \times 48,13 =$ 1,9252	$0,03 \times 48,13 =$ 1,4439
Laje de concreto rebocada (teto)	$0,009 \times 15,8 =$ 0,14247	$0,011 \times 15,83 =$ 0,17413	$0,014 \times 15,83 =$ 0,22162	$0,016 \times 15,8 =$ 0,25328	$0,017 \times 15,8 =$ 0,26911	$0,018 \times 15,8 =$ 0,28494
Paviflex (pisso)	$0,02 \times 15,83 =$ 0,3166	$0,03 \times 15,83 =$ 0,4749	$0,03 \times 15,83 =$ 0,4749	$0,03 \times 15,83 =$ 0,4749	$0,03 \times 15,83 =$ 0,4749	$0,02 \times 15,83 =$ 0,3166
Porta de Madeira, pintada ou envernizada	$0,24 \times 2,73 =$ 0,6552	$0,19 \times 2,73 =$ 0,5187	$0,14 \times 2,73 =$ 0,3822	$0,08 \times 2,73 =$ 0,2184	$0,13 \times 2,73 =$ 0,3549	$0,10 \times 2,73 =$ 0,273
Vidro fixo, temperado ou laminado, com grande superfície (janela e porta)	$0,18 \times 3,72 =$ 0,6696	$0,06 \times 3,72 =$ 0,2232	$0,04 \times 3,72 =$ 0,1488	$0,03 \times 3,72 =$ 0,1116	$0,02 \times 3,72 =$ 0,0744	$0,02 \times 3,72 =$ 0,0744
<b><math>A_{sup.recinto}</math></b>	<b>2,75</b>	<b>2,35</b>	<b>2,67</b>	<b>2,98</b>	<b>3,10</b>	<b>2,39</b>

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.

- Absorção sonora de pessoas e mobília presentes no recinto - os recintos se encontravam mobiliados, mas somente os valores referentes à cortina puderam ser encontrados, conforme a Tabela 5.

$$A_{diversos} = A_{mobília} + A_{pessoas}$$

**Tabela 5:** Valores das absorções sonoras de pessoas e mobiliário

Materiais	Frequências Centrais da Banda de Oitava (Hz)						Fonte
	125	250	500	1000	2000	4000	
Cortina de tecido médio, drapeada, em 50% da área	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60	BIS. <sup>1</sup>
Pessoa adulta em pé	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37	BIS.
<b><math>A_{diversos}</math></b>	<b>0,26</b>	<b>0,64</b>	<b>0,93</b>	<b>1,17</b>	<b>1,16</b>	<b>0,97</b>	

Fonte: (1) BISTAFA, 2006.

- Absorção sonora do ar,  $A_{ar}$ , é igual a zero para recintos de pequenas dimensões, e conseqüentemente, pequenos volumes. Assim, como mostra a Tabela 6, a absorção total do recinto é dada por:

$$A_{recinto} = A_{sup.recinto} + A_{diversos} + A_{ar} \text{ (Sabine):}$$

**Tabela 6:** Valores das absorções sonoras de pessoas e mobiliário

Frequências Centrais Banda de Oitava (Hz)	$A_{recinto}$ (m <sup>2</sup> )
125	2,75 + 0,26 + 0 = <b>3,01</b>
250	2,35 + 0,64 + 0 = <b>2,99</b>
500	2,67 + 0,93 + 0 = <b>3,60</b>
1000	2,98 + 1,17 + 0 = <b>4,15</b>
2000	3,10 + 1,16 + 0 = <b>4,26</b>
4000	2,39 + 0,97 + 0 = <b>3,36</b>

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.

- O tempo de reverberação, conforme a Tabela 7, é calculado através da equação 1 (p.22):

$$T_{60} = 0,161 \times \frac{V}{A_{recinto}}$$

onde:

$V$  = volume do recinto

$A_{recinto}$  = absorção sonora total do recinto

**Tabela 7:** Valores dos tempos de reverberação

Frequências Centrais Banda de Oitava (Hz)	$T_{60}$ (s)
125	$0,161 \times \frac{44,72}{3,01} = 2,392 = \mathbf{2,39\ s}$
250	$0,161 \times \frac{44,72}{2,99} = 2,408 = \mathbf{2,41s}$
500	$0,161 \times \frac{44,72}{3,60} = 1,99 = \mathbf{2,00\ s}$
1000	$0,161 \times \frac{44,72}{4,15} = 1,73 = \mathbf{1,74\ s}$
2000	$0,161 \times \frac{44,72}{4,26} = 1,69 = \mathbf{1,69\ s}$
4000	$0,161 \times \frac{44,72}{3,36} = 2,14 = \mathbf{2,14\ s}$

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2016.

E finalmente, calculou-se a diferença de nível padronizada (DnT) através da equação 13, como mostra a Tabela 8. A relação da DnT em cada frequência da banda de oitava pode ser visualizada na Figura 25.

$$D_{nT} = L_{q1} - L_{q2} + 10 \times \log \frac{T}{T_0} \quad \text{Eq. 13}$$

onde:

$L_{q1} = L_{eq1}$  = nível equivalente do recinto emissor

$L_{q2} = L_{eq2}$  = nível equivalente do recinto receptor

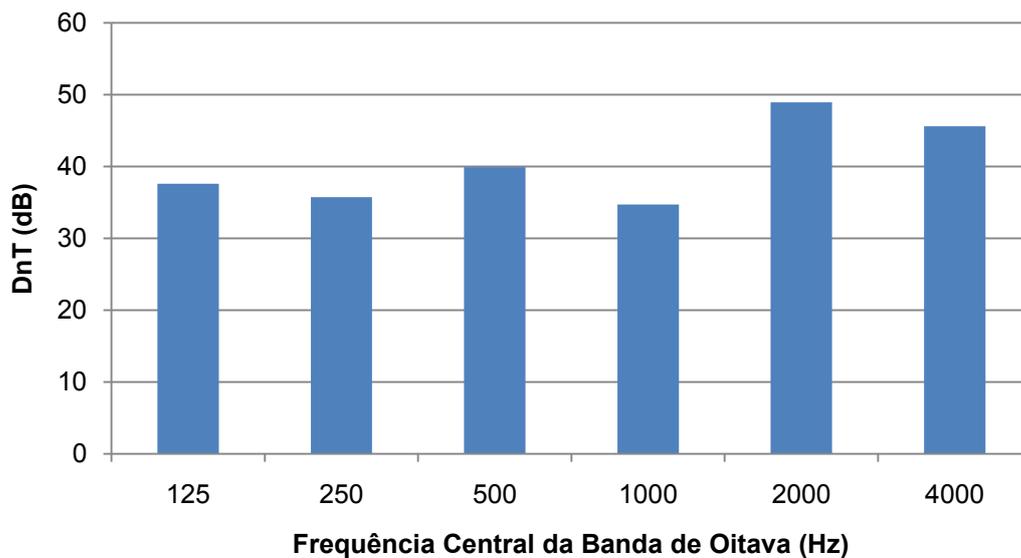
$T = T_{60}$  (Tempo de Reverberação)

$T_0 = 0,5$  (Tempo de Reverberação de Referência)

**Tabela 8:** Valores referentes à diferença de nível padronizada

<b>Frequências Centrais Banda de Oitava (Hz)</b>	<b>DnT (dB)</b>
125	$85,80 - 55,02 + 10 \times \log \frac{2,39}{0,5} =$ $30,78 + 6,79 = 37,57 = \mathbf{37,6 \text{ dB}}$
250	$88,83 - 59,98 + 10 \times \log \frac{2,41}{0,5} =$ $28,85 + 6,83 = 35,68 = \mathbf{35,7 \text{ dB}}$
500	$94,73 - 60,86 + 10 \times \log \frac{2,00}{0,5} =$ $33,87 + 6,02 = 39,89 = \mathbf{39,9 \text{ dB}}$
1000	$92,64 - 63,40 + 10 \times \log \frac{1,74}{0,5} =$ $29,24 + 5,42 = 34,66 = \mathbf{34,7 \text{ dB}}$
2000	$95,75 - 52,19 + 10 \times \log \frac{1,69}{0,5} =$ $43,56 + 5,29 = 48,85 = \mathbf{48,9 \text{ dB}}$
4000	$91,57 - 52,25 + 10 \times \log \frac{2,14}{0,5} =$ $39,32 + 6,31 = 45,63 = \mathbf{45,6 \text{ dB}}$

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.



**Figura 25:** Relação entre DnT e frequência

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.

A necessidade de se realizar uma adequação acústica está diretamente ligada à grande transmissão dos ruídos aéreos, e conseqüentemente à grande inteligibilidade da fala, que está ocorrendo de um recinto para o outro através da parede geminada. Analisando a Figura 25, que é a representação final dos resultados apresentados, é possível perceber esse comportamento do ruído aéreo nos ambientes pelo fato dos menores valores da  $D_nT$  estarem associados às frequências mais baixas (125, 250 e 500 Hz).

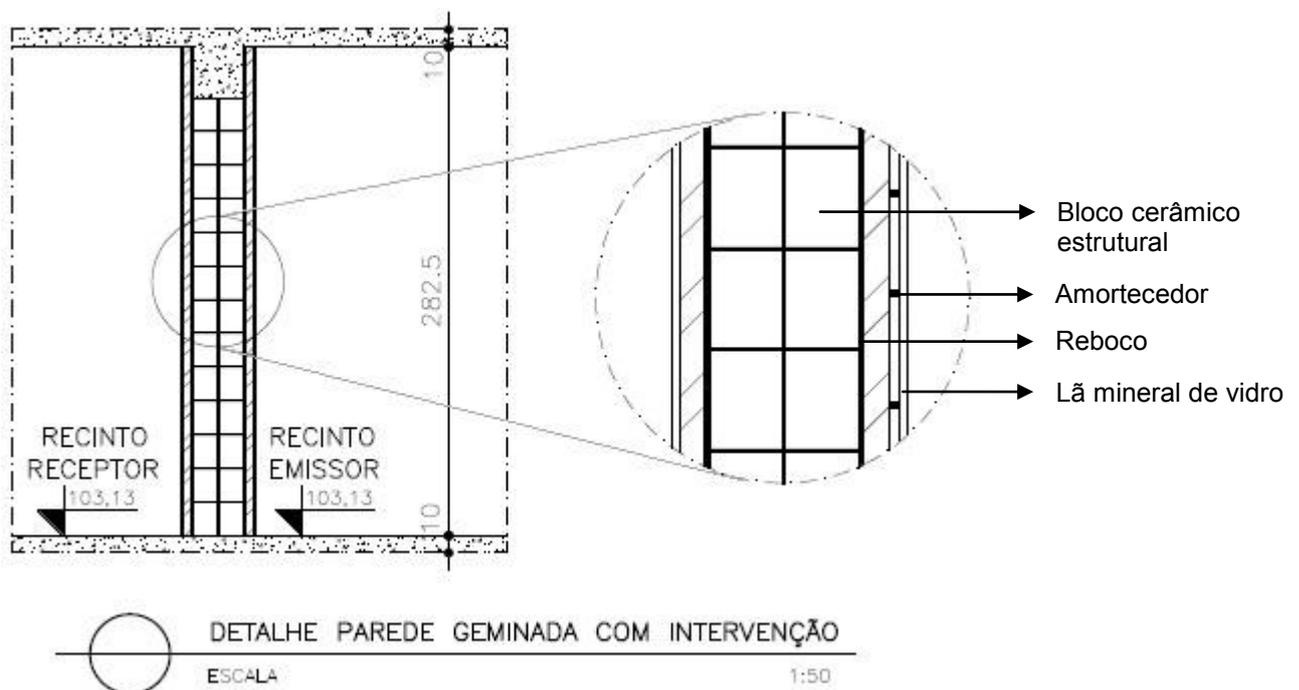
De acordo com Bistafa (2006), isso acontece porque normalmente os coeficientes de absorção dos materiais fibrosos e porosos (materiais absorventes) são menores nas baixas frequências e quando o material absorvente não consegue reter a maior parte das ondas sonoras, transformando-as em energia térmica, uma boa quantidade dessas ondas é transferida para o recinto receptor.

## CAPÍTULO 4: PROPOSTA DE TRATAMENTO ACÚSTICO

Com o propósito de sanar o problema identificado, e para que não se tenha a necessidade de intervir na parede geminada de toda a casa, até por ser algo impraticável, a solução encontrada para melhorar o desempenho acústico da mesma foi criar uma nova parede dupla em cada um dos lados das unidades autônomas, aliando um material absorvente a um material isolante e aumentando a espessura e a densidade superficial do sistema para que a maior parte das ondas sonoras seja absorvida pelo novo obstáculo.

A nova parede dupla seria composta pela própria parede existente (massa), uma camada de lã mineral de vidro preenchendo o vão entre eles (mola) e um sistema de Drywall (massa), criando um sistema massa-mola-massa (explicado no item 1.3.1.1, p.26), como mostra a Figura 26.

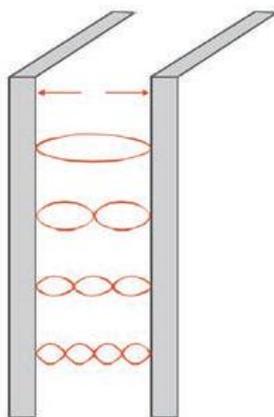
De acordo com Bistafa (2006), para um melhor resultado, a parede dupla deve ter os seus componentes isolados um do outro, tanto mecânica quanto acusticamente e para isso serão utilizados amortecedores (borrachas) entre as ligações da nova estrutura a fim de reduzir a transferência de vibrações mecânicas da parede existente para a estrutura de Drywall.



**Figura 26:** Parede geminada com intervenção

Fonte: Arquivo Pessoal, 2016.

De acordo com Simões (2011), esse tipo de sistema, devido à sua descontinuidade e à propriedade elástica da lã mineral de vidro, dificulta a transmissão dos sons e impede a formação de ondas estacionárias em seu interior, como mostrado na Figura 27. Segundo Ribeiro (2009), as ondas estacionárias surgem a partir da interferência de duas ondas iguais – que possuem o mesmo comprimento de onda, a mesma frequência, amplitude e velocidade - que se propagam no mesmo meio e em sentidos contrários



**Figura 27:** Ondas Estacionárias

**Fonte:** SIMÕES, 2011, p.49

Detalhar o perfil do Drywall é um sistema composto por uma estrutura de aço, coberto por duas chapas com miolo de gesso e face de papel-cartão, uma de cada lado, e foi escolhido por ser um material com um bom índice de isolamento acústico e por ser um sistema econômico e racional. Como nesse caso já existe a parede geminada, a idéia é utilizar perfis de aço mais compactos, de 48 mm de espessura, uma única chapa de gesso, de 12,5 mm, e preencher a camada de ar com lã mineral de vidro, representando um acréscimo de cerca de 6 cm à estrutura existente.

A lã mineral de vidro, um material absorvente fibroso, foi escolhida com a densidade de  $35 \text{ kg/m}^3$  porque ao aumentar a densidade superficial do material, o seu comportamento pode ser alterado e de acordo com Souza, Almeida e Bragança (2012), um material com essas características faz com que a energia sonora incidente seja perdida, em forma de calor, por causa dos movimentos de seus componentes, ajudando a atenuar a intensidade do som transmitido.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes da implantação da Norma de Desempenho (ABNT NBR 15575) no ano de 2013, e para diminuir os custos com essas intervenções, muitas construções eram realizadas sem dar o devido tratamento acústico adequado às paredes verticais internas que costumam dividir duas unidades autônomas, mesmo já tendo em vigência, desde 1987, a norma ABNT NBR 10152, referente aos níveis de ruído para o conforto acústico.

Vale ressaltar que a casa objeto de estudo tem aproximadamente 8 anos de construção e no momento no qual foi construída, os parâmetros acústicos para paredes geminadas naquela época eram suficientes. A obtenção dos dados nas medições do trabalho tem a intenção de mostrar o que ocorria em muitas construções de residências multifamiliares antes da implantação da norma e diante dos resultados apresentados tem a intenção de propor uma solução para a parede geminada com a interação de materiais isolantes e absorventes acústicos, atendendo aos requisitos mínimos que a Norma de Desempenho recomenda.

Tem-se percebido que com a norma de ABNT NBR 15575 (2013) surgiu a obrigatoriedade de atender requisitos mínimos de conforto e segurança para casas e edifícios residenciais (e com as responsabilidades sendo divididas entre os projetistas, construtores, fabricantes e usuários). O controle do nível de ruído nas construções atuais obteve melhorias e está se tornado mais eficaz em relação ao passado, pois a nova norma preconiza que as paredes e as esquadrias formam um único sistema, e como tal, devam atender em conjunto aos valores mínimos para que se tenha o desempenho esperado e para que os usuários vivenciem de maneira mais confortável suas residências.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3M. **Boletim Técnico:** Protetores auditivos 3M 1426. Disponível em: <<http://multimedia.3m.com/mws/media/828289O/boletim-tecnico-abafador-3m-1426.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** Acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- \_\_\_\_\_. **NBR 10152:** Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro. 1987.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12179:** Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro. 1992.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575:** Edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro. 2013.
- AKKERMAN, Davi. **Conforto acústico:** Norma de desempenho para unidades habitacionais. 2012. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/13.060/4499>>. Acesso em: 22 jan. 2016.
- AKKERMAN, Davi; FRIAS, Juan. Acústica e Sustentabilidade nas Edificações. **Revista Summa+**. São Paulo, n. 124, set. 2012.
- BERSAN, Fernando. **Amplificadores, Falantes, Caixas Acústicas e uma tal de Impedância - Parte 1.** 2008. Disponível em: <<https://www.somaovivo.org/artigos/amplificadores-falantes-caixas-acusticas-e-uma-tal-de-impedancia-%C2%96-parte-1/>>. Acesso em: 06 jun.2016.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído.** São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica.** 2. Ed. Brasília: Thesaurus, 2010.
- ICEL MANAUS. **Manual de Instruções do Decibelímetro Modelo DL-4050.** Disponível em: <<http://www.icel-manauas.com.br/imagens/produtos/dl4050.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2016.
- PRO-ACÚSTICA NEWS. **Norma de Desempenho para Edifícios Habitacionais é um grande avanço em relação à Acústica no Brasil.** Disponível em: <<http://www.proacustica.org.br/publicacoes/artigos-sobre-acustica-e-temas-relacionados/norma-desempenho-para-edificios-habitacionais-grande-avanco-acustica-brasil.html>>. Acesso em: 09 mar. 2016.
- RIBEIRO, Thyago. **Onda Estacionária.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/onda-estacionaria/>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

SILVA, Péricles. **Acústica Arquitetônica e condicionamento de ar**. 5. Ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T. Ltda., 2005.

SIMÕES, Flávio Maia. **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro: Procel Edifica, 2011.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-à-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. 4. Ed. Reimp. São Carlos: EdUFSCar, 2012.

## APÊNDICE A – PLANTA SUBSOLO

## APÊNDICE B – PLANTA PRIMEIRO PAVIMENTO

## APÊNDICE C – PLANTA SEGUNDO PAVIMENTO

## APÊNDICE D – TABELA DE MEDIÇÕES RECINTO EMISSOR

Ruído Ambiente Emissor: 40 dB

dB(a)	FREQUÊNCIA (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
1 <sup>a</sup>	83	89	91	90	96	90
2 <sup>a</sup>	84	90	90	90	97	93
3 <sup>a</sup>	83	90	92	90	100	93
4 <sup>a</sup>	83	92	90	88	95	92
5 <sup>a</sup>	84	93	93	90	95	91
6 <sup>a</sup>	84	92	94	91	94	90
7 <sup>a</sup>	87	86	99	91	100	90
8 <sup>a</sup>	86	87	89	91	101	90
9 <sup>a</sup>	87	90	90	92	100	89
10 <sup>a</sup>	87	86	96	92	95	91
11 <sup>a</sup>	83	90	97	91	94	90
12 <sup>a</sup>	84	85	95	91	96	90
13 <sup>a</sup>	83	94	93	95	95	88
14 <sup>a</sup>	83	92	98	95	96	89
15 <sup>a</sup>	83	86	98	98	95	89
16 <sup>a</sup>	86	88	93	93	95	95
17 <sup>a</sup>	87	86	93	89	96	96
18 <sup>a</sup>	89	89	92	90	95	90
19 <sup>a</sup>	87	82	92	96	97	89
20 <sup>a</sup>	90	85	92	95	94	88
21 <sup>a</sup>	83	87	90	91	94	88
22 <sup>a</sup>	87	90	93	91	95	91
23 <sup>a</sup>	87	87	96	94	95	90
24 <sup>a</sup>	83	83	99	91	95	87
25 <sup>a</sup>	86	85	98	91	94	88
26 <sup>a</sup>	90	85	98	93	94	92
27 <sup>a</sup>	85	91	89	91	96	89
28 <sup>a</sup>	85	83	91	94	96	96
29 <sup>a</sup>	82	86	94	92	97	97
30 <sup>a</sup>	85	86	94	94	94	90

## APÊNDICE E – TABELA DE MEDIÇÕES RECINTO RECEPTOR

Ruído Ambiente Receptor: 40 dB

dB(A)	FREQUÊNCIA (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
1ª	55	62	63	63	53	53
2ª	57	62	63	67	54	53
3ª	58	62	62	66	53	55
4ª	52	64	63	66	55	54
5ª	52	63	63	65	54	55
6ª	56	62	62	65	52	53
7ª	52	57	59	66	54	51
8ª	55	57	57	62	54	53
9ª	53	57	59	63	53	52
10ª	53	56	57	63	51	51
11ª	58	57	58	62	51	51
12ª	60	55	59	62	52	52
13ª	55	58	58	62	51	52
14ª	53	56	58	63	52	53
15ª	55	60	59	62	52	51
16ª	56	56	58	64	50	50
17ª	58	58	57	64	51	50
18ª	56	57	57	62	51	52
19ª	51	61	57	60	51	51
20ª	54	64	56	60	51	51
21ª	52	62	59	60	51	52
22ª	55	62	64	62	52	50
23ª	52	63	65	63	52	51
24ª	53	58	64	64	52	53
25ª	52	57	63	64	52	52
26ª	52	58	64	63	51	51
27ª	52	58	61	63	53	53
28ª	55	57	58	60	51	54
29ª	53	57	59	62	51	51
30ª	56	56	58	62	50	51

## APÊNDICE F – CÁLCULOS DO $L_{eq1}$ E $L_{eq2}$ (dB) EM CADA FREQUÊNCIA CENTRAL DA BANDA DE OITAVA

Calcular a  $L_{eq}$  para cada frequência central da banda de oitava.

$$L_{eq} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i 10^{L_{pi}/10} \right]$$

← Número de medições
→ Valor de cada medição

-  $L_{eq1}$  do recinto emissor:

→ 125 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times (10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{84}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{89}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{87}{10}} + 10^{\frac{83}{10}} + 10^{\frac{86}{10}} + 10^{\frac{90}{10}} + 10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{82}{10}} + 10^{\frac{85}{10}}) \right]$$

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 11404623655 \right] = 10 \times \log 380154121,8333333 = 10 \times 8,579959704 = 85,79959704 \cong 85,80 \text{ dB}$$

→ 250 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 22911885529 \right] = 10 \times \log 763729517,6333333 = 10 \times 8,882939576 = 88,82939576 \cong 88,83 \text{ dB}$$

→ 500 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 89219202813 \right] = 10 \times \log 2973973427,1 = 10 \times 9,473337084 = 94,73337084 \cong 94,73 \text{ dB}$$

→ 1000 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 55072881330 \right] = 10 \times \log 1835762711 = 10 \times 9,263816544 = 92,63816544 \cong 92,64 \text{ dB}$$

→ 2000 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 112717282986 \right] = 10 \times \log 3757242766,2 = \\ 10 \times 9,574869257 = 95,74869257 \cong 95,75 \text{ dB}$$

→ 4000 Hz:

$$L_{eq1} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 43070038443 \right] = 10 \times \log 1435667948,1 = \\ 10 \times 9,157054005 = 91,57054005 \cong 91,57 \text{ dB}$$

-  $L_{eq2}$  do recinto receptor:

→ 125 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 9526481,441 \right] = 10 \times \log 317549,3813666667 = \\ 10 \times 5,501811271 = 55,01811271 \cong 55,02 \text{ dB}$$

→ 250 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 29855523,1 \right] = 10 \times \log 995184,1033333333 = \\ 10 \times 5,99790343 = 59,9790343 \cong 59,98 \text{ dB}$$

→ 500 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 36558717,14 \right] = 10 \times \log 1218623,9046666667 = \\ 10 \times 6,085869693 = 60,85869693 \cong 60,86 \text{ dB}$$

→ 1000 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 65558063,44 \right] = 10 \times \log 2185268,7813333333 = \\ 10 \times 6,339504861 = 63,39504861 \cong 63,40 \text{ dB}$$

→ 2000 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 4971819,772 \right] = 10 \times \log 165727,32573333333 = \\ 10 \times 5,219394122 = 52,19394122 \cong 52,19 \text{ dB}$$

→ 4000 Hz:

$$L_{eq2} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{30} \times 5041377,766 \right] = 10 \times \log 168045,92553333333 =$$
$$10 \times 5,225427987 = 52,25427987 \cong 52,25 \text{ dB}$$