



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL NOGUEIRA DE SOUSA E LIMA

**QUALIDADE ACÚSTICA APLICADA A UM *HOME STUDIO* E SUA
RELAÇÃO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

PAU DOS FERROS

2021

GABRIEL NOGUEIRA DE SOUSA E LIMA

**QUALIDADE ACÚSTICA APLICADA A UM *HOME STUDIO* E SUA
RELAÇÃO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

Monografia apresentada pelo aluno **Gabriel Nogueira de Sousa e Lima**, ao Conselho do Curso Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Pau dos Ferros, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Dra. Adla Kellen
Dionisio Sousa de Oliveira – UFERSA

Co-Orientador: Prof. Dr. Eduardo
Raimundo Dias Nunes - UFERSA

PAU DOS FERROS

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L732q Lima, Gabriel Nogueira de Sousa e.
Qualidade acústica aplicada a um home studio e
sua relação com materiais de baixo custo / Gabriel
Nogueira de Sousa e Lima. - 2021.
45 f. : il.

Orientadora: Adla Kellen Dionisio Sousa.
Coorientador: Eduardo Raimundo Dias Nunes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Tratamento acústico. 2. Home studios. 3.
tempo de reverberação. 4. conforto acústico. I.
Sousa, Adla Kellen Dionisio, orient. II. Nunes,
Eduardo Raimundo Dias, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 1115

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

GABRIEL NOGUEIRA DE SOUSA E LIMA

**QUALIDADE ACÚSTICA APLICADA A UM *HOME STUDIO* E SUA RELAÇÃO
COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendido em: 09/11/2021

BANCA EXAMINADORA

ADLA KELLEN DIONISIO
DIONISIO SOUSA DE OLIVEIRA:
06133633450

ADLA KELLEN DIONISIO
SOUSA DE OLIVEIRA:
IRA:06133633450
2021.11.17 11:00:
57-03'00'

Adla Kellen Dionisio Sousa, Prof^ª. Dra. (UFERSA)

Presidente

 UNIVERSIDADE FEDERAL
UFERSA
RURAL DO SEMI-ÁRIDO

cn=EDUARDO RAIMUNDO DIAS
NUNES:03978933454, ou=UFERSA -
Universidade Federal Rural do Semi-
Arido, o=ICPEdu, c=BR
2021.11.17 10:34:02 -03'00'

Eduardo Raimundo Dias Nunes, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro examinador

CLAWSIO ROGERIO CRUZ DE SOUSA:05328256409

Assinado de forma digital por CLAWSIO
ROGERIO CRUZ DE SOUSA:05328256409
Dados: 2021.11.12 09:44:46 -03'00'

Cláwsio Rogério Cruz de Sousa, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro examinador

AGRADECIMENTOS

Não poderia ter trilhado este caminho tão difícil sozinho. Por isto, devo agradecer a muitas pessoas que de alguma forma me ajudaram para que eu pudesse ter esta oportunidade.

Primeiro, aos meus pais, Perpétua e Petrônio, pelo amor incondicional, todos os ensinamentos, e todo o cuidado desde o meu primeiro dia de vida. Com toda a certeza não teria chegado até aqui sem o apoio e a ajuda deles.

À Erika, por todo o suporte e amor, e por estar comigo em todos os instantes, fáceis ou difíceis. Seu amor me move e me rejuvenesce a cada dia.

A todos os meus amigos, que de alguma forma contribuíram com quem eu sou hoje, e continuam contribuindo de diversas maneiras.

A todos que fazem a UFERSA, pelo trabalho realizado e por ajudar tantas pessoas a lutar pelos seus sonhos.

A todos os professores, dentro e fora da sala de aula. A coisa mais valiosa que temos é o conhecimento, e vocês são os verdadeiros mensageiros do saber científico, através da discussão e da pesquisa.

À Adla, orientadora deste trabalho, e Eduardo, co-orientador, grandes profissionais, que dispuseram do seu tempo para contribuir com a minha pesquisa. Agradeço a paciência, não fui o orientando que gostaria de ser, mas sempre fui guiado com calma e sabedoria.

À banca avaliadora, pelo tempo tomado, e pela contribuição dada ao trabalho.

A fala só é bonita quando ela nasce de uma longa e silenciosa escuta.

- Rubem Alves

RESUMO

O avanço da tecnologia proporciona a acessibilidade a várias comodidades ao redor do mundo, bem como a independência a muitas das funções laborais, reduzindo a necessidade de sair de casa para trabalhar (*home office*). Os estúdios de música acompanham esta tendência ao passo em que, cada vez mais, pode-se enxergar *home studios* nos mais diversos cantos do Brasil e do planeta. Esta alternativa surge como uma possibilidade de reduzir custos para se possuir um estúdio, já que este pode coexistir com a casa e os ambientes residenciais, além de que, para várias atividades de gravação, não se necessitar de um espaço amplo, podendo-se gravar instrumentos de forma individual, com o auxílio de poucas ferramentas. Para isto, o ambiente deve ser preparado para que tais atividades possam ser realizadas nele, priorizando a qualidade do som gravado. O presente trabalho analisou a qualidade acústica de um pequeno quarto, propondo alterações a fim de condicioná-lo à função de um *home studio*, tomando como critérios a absorção acústica dos materiais, o tempo de reverberação da sala e o custo. Ao ser considerado um tempo de reverberação ótimo de 0,6 segundos de acordo com a ABNT, e tendo o tempo real de reverberação sendo aproximadamente o quádruplo, foi proposto a inserção de materiais no ambiente para aumentar a absorção - agindo principalmente sobre os materiais de menor coeficiente de absorção -, diminuindo o tempo de reverberação, e assim adequando o ambiente à função. Percebeu-se a viabilidade e eficiência de vários desses materiais, bem como a necessidade de simulações através de softwares para acústica de salas para esta área de estudo.

Palavras-chave: tratamento acústico, *home studios*, tempo de reverberação, conforto acústico

ABSTRACT

The advancement of technology provides accessibility to many amenities around the world, as well as independence to many work functions, reducing the need to leave the home to work (home office). Music studios follow this trend, which increasingly home studios can be seen in the most diverse corners of Brazil and the planet. This alternative appears as a possibility to reduce costs to own a studio, since it can coexist with the home and residential environments, in addition to that, for various recording activities, a large space is not needed, being able to record instruments individually, with the help of few tools. For this, the environment must be prepared so that such activities can be performed in it, prioritizing the quality of the recorded sound. This work analyzed the acoustic quality of a small room, proposing changes to condition it to the function of a home studio, taking as criteria the acoustic absorption of materials, the room's reverberation time and cost. Considering an optimal reverberation time of 0.6 seconds according to the ABNT, and having the real reverberation time being approximately quadruple, it was proposed to insert materials in the environment to increase the absorption - acting mainly on the materials with lower absorption coefficient -, reducing the reverberation time, and thus adapting the room to the function. The feasibility and efficiency of several of these materials was perceived, as well as the need for simulations through software for room acoustics for this study area.

Key-words: acoustics, home studios, reverb time, acoustic treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Closet adaptado a uma cabine acústica	15
Figura 02: Exemplo de <i>home studio</i>	16
Figura 03: Mulher gravando voz	17
Figura 04: “Gambiarras” no processo de gravação de vozes	18
Figura 05: Difusor acústico portátil para microfones	18
Figura 06: Rolo de lã de rocha	20
Figura 07: Lã de vidro sendo posicionada para isolamento acústico	21
Figura 08: Modelo de difusor acústico feito com espuma	21
Figura 09: Fibra de coco	22
Figura 10: Difusor acústico de madeira	23
Figura 11: Fluxograma das etapas da pesquisa	24
Figura 12: Página inicial do Banco de Dados, reproduzido no programa Microsoft Excel	25
Figura 13: Exemplo do layout do banco de dados, mostrando os coeficientes de absorção do material para faixas de frequência diferentes	26
Figura 14: Planilha automatizada para o auxílio do cálculo do tempo real de reverberação	27
Figura 15: Ábaco relacionando o tempo de reverberação a 500Hz com o volume do ambiente em metros cúbicos	28
Figura 16: Representação em planta do cômodo realizada no software AutoCad	29
Figura 17: Representação em 3D do cômodo realizada no software SketchUp	30
Figura 18: Gráfico de barras ilustrando a absorção das superfícies do ambiente	32
Figura 19: Modelo de cortina	34

Figura 20: Montagem de uma placa acústica com madeira e lã de rocha	35
Figura 21: Placas difusoras do Seno Estúdio, localizado na cidade do Natal	36
Figura 22: Simulação da incidência das ondas sonoras para identificação dos pontos mais críticos para posicionamento das placas difusoras	38
Figura 23: Indicação do posicionamento das placas difusoras	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Dados geométricos sobre o cômodo	29
Tabela 02: Levantamento dos materiais e somatório das absorções	31
Tabela 03: Relação de materiais substituídos	33
Tabela 04: Somatório das absorções com as propostas de inserções para o ambiente	37
Tabela 05: Levantamento de cortinas, com preço e coeficientes de absorção	39
Tabela 06: Levantamento de materiais para o piso, com preço e coeficientes de absorção	40
Tabela 07: Levantamento de materiais para vedação vertical, com preço e coeficientes de absorção	40

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação de Sabine	25
------------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 OBJETIVO GERAL	14
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 <i>HOME STUDIO</i>	15
2.2 TEMPO DE REVERBERAÇÃO	19
2.3 ISOLAMENTO ACÚSTICO	19
2.4 TRATAMENTO ACÚSTICO	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 DADOS DO AMBIENTE	29
4.2 MATERIAIS PRESENTES	30
4.3 MATERIAIS PROPOSTOS	32
4.4 CUSTOS DAS ALTERAÇÕES	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Após a criação do fonógrafo¹ por Thomas Edison em 1877, e com o posterior desenvolvimento dos equipamentos de captação de som, os estúdios de gravação de música foram dominantes no ato de gravação musical. Este processo, além de documentar a obra (instrumental ou canção), possibilita que estes registros sonoros possam ser ouvidos pelos consumidores das mais diversas formas possíveis ao longo dos anos (discos, fitas, arquivos digitais).

Segundo Carvalho² (2006, apud Palombini e Filho 2006), a indústria fonográfica molda estilos e métodos de gravação, de forma a adequar o processo de gravação ao espaço e equipamentos disponíveis. Essa adequação visa sempre uma aceitação maior do público, já que o maior intuito das gravadoras e produtoras musicais é o lucro.

Com o constante avanço da tecnologia empregada nos equipamentos necessários para a gravação de áudio, é lógico pensar que cada vez mais produtos foram sendo disponibilizados para a compra, com os produtos mais “desatualizados” ficando mais baratos e acessíveis. Além disso, é possível notar em vários equipamentos eletrônicos, a redução de tamanho ao longo do tempo, com a evolução dos componentes eletrônicos – cada vez mais compactos - necessários para a construção de um produto, bem como a criação e desenvolvimento das DAWs³ e dos instrumentos virtuais. A combinação de todos esses fatores corrobora para que hoje em dia seja possível possuir um estúdio dentro de casa ou do seu próprio quarto, o que é conhecido como *home studio* (estúdio caseiro, em inglês).

O alto crescimento deste tipo de espaço deve-se à comodidade de ter todos os equipamentos necessários para uma gravação de qualidade ao alcance da própria mão, sem precisar percorrer mais do que alguns passos para alcançá-lo, e pelo fator financeiro, já que não se gasta pela “hora de gravação” ou ensaio em um estúdio profissional, com equipamentos de ponta. A comodidade também aparece no momento em que o músico

¹ Aparelho destinado à gravação e reprodução de sons, através da “leitura” de um cilindro – de maneira análoga ao que a agulha faz com discos de vinil -, que fazia vibrar uma membrana, produzindo vibrações que conhecemos como som.

² CARVALHO, Vinícius Paggioli de. **Estudo e avaliação da acústica de *home studios***. Orientador: João Antônio Pereira. 2019. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

³ Digital Audio Workstation (Estação de trabalho de áudio digital), são softwares utilizados para gravação, mixagem e masterização de arquivos de áudio. Substituem todo o aparato utilizado para uma gravação de áudio de forma analógica, como gravação em fitas.

quando em casa pode se sentir bem mais à vontade, por estar em um lugar já conhecido, sem a presença de um técnico ou engenheiro de som por perto monitorando os equipamentos.

Pelo fato de cada vez mais pessoas poderem gravar as suas canções (ou de outras pessoas) em casa, segundo Lima (2018) é uma óbvia evidência de que cada vez mais a música e os processos de gravação estão sendo mais democratizados, já que, além da vasta informação disponível na internet – para aprender como monitorar um software ou até mesmo aprender a tocar um instrumento – o crescimento dos estúdios caseiros “tira das mãos” das gravadoras um monopólio, tanto no âmbito da música independente, como para artistas já consagrados (cito aqui o álbum “When We All Fall Asleep, Where Do We Go?”, da cantora estadunidense Billie Eilish, vencedor de 3 Grammys, gravado inteiramente em um estúdio caseiro, no quarto de Finneas O’Connell, irmão da artista).

Além da área musical, existe uma grande crescente de gravações de *podcasts* e de conteúdos produzidos para a plataforma de vídeos YouTube (LEITE, 2019) realizadas dentro de casa ou dos próprios quartos, e com um alto fluxo de visualizações (SILVA, 2019), e com um processo de pseudo-profissionalização destas funções, é cada vez maior a necessidade de uma alta qualidade de gravação audiovisual, com a maior supressão possível de ruídos, priorizando, neste caso, a nitidez da voz falada.

É relevante citar a importância das plataformas de *streaming*⁴, em que o próprio artista ou apresentador (no caso de *podcasts*) pode inserir o seu próprio material nas plataformas sem a necessidade da aprovação e da mediação de uma gravadora ou de um produtor musical, por exemplo, dando uma maior independência ao compositor e criador de conteúdo cultural.

É de alta relevância promover o acesso a este tipo de informação, tanto para difundir a possibilidade de se ter um *home studio* dentro da própria residência, como também para que haja mais interesse na área para profissionais como técnicos de áudio, engenheiros de som e arquitetos, bem como para a comunidade em geral, fazendo com que a troca de informação e o contato entre o meio cultural, popular e comercial seja cada vez maior.

⁴ Streaming é um meio de compartilhamento de conteúdo através de “pacote de dados”, em que não é necessário efetuar o *download* para acessar algum tipo de dado, seja áudio ou vídeo.

Nesse contexto, é de extremo valor dar notoriedade aos *home studios* como objeto de estudo, avaliando melhorias que podem ser feitas na qualidade acústica destes ambientes.

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi propor melhorias na qualidade acústica de um *home studio*, selecionando materiais com melhor custo-benefício.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Calcular o tempo de reverberação de uma sala real, como parâmetro para as propostas, comparando com um tempo de reverberação ótimo;
- II. Analisar os materiais atuais, identificando quais possuem menos poder de absorção;
- III. Propor novos materiais para o ambiente, avaliando o seu custo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Home Studio*

O *home studio*, ou estúdio caseiro, na sua tradução literal, é um ambiente condicionado para a gravação de sons, mixagem e masterização de faixas de áudio. A grande diferença desses estúdios caseiros para os estúdios convencionais, é que eles estão localizados em casas habitadas, trazendo uma espécie de uso misto⁵ à edificação.

Isso não significa que os *home studios* precisam ser, necessariamente, pequenos. As possibilidades são diversas, podendo se utilizar, inclusive, de mais de um cômodo – destinando uma sala para monitoração do técnico de som, mixagem e masterização, e uma câmara (ou cabine) acústica (Figura 01) para a gravação de voz ou instrumentos não cabeados – para estas atividades.

Figura 01 – Closet adaptado a uma cabine acústica

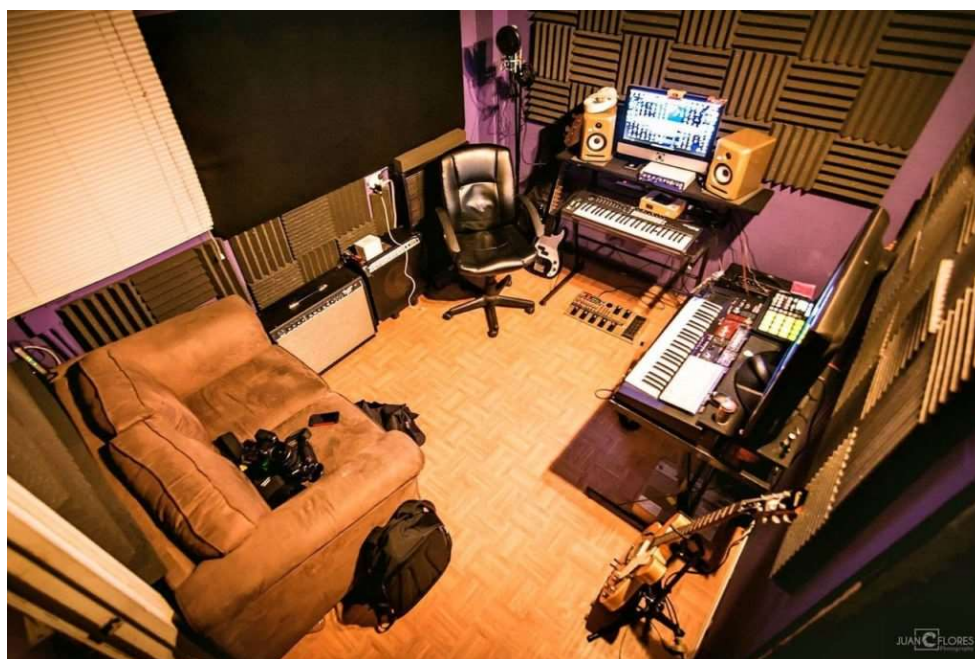


Fonte: Domestika (2020)

⁵ O uso misto de edificações ocorre quando convergem várias funções e objetivos em um mesmo edifício, como por exemplo, um condomínio que tenham habitações, ambientes corporativos e comerciais concomitantemente. (BURJATO, 2017)

Outra possibilidade, também, é manter todos os equipamentos necessários para os processos de gravação, mixagem e masterização em um único ambiente – demonstrado na Figura 02, com a presença de materiais que possibilitem uma acústica adequada à esta atividade. Nada impede também que a mobília do ambiente seja característica a de um quarto, com camas e armários, existindo uma larga variedade de layouts possíveis, de acordo com a necessidade e disponibilidade de espaço e mobília.

Figura 02 – Exemplo de *home studio*



Fonte: Portal da Produção (2020)

Percebe-se na Figura 03 que a musicista grava a voz fora de uma cabine acústica. Dependendo do caso, isso pode interferir bastante na qualidade da gravação, pois sons indesejáveis podem ser captados pela cápsula do microfone (ruídos⁶ externos ou a própria reverberação da voz, no caso de uma sala não tratada), comprometendo a nitidez da voz cantada, ou até mesmo gerando um trabalho desnecessário na pós-produção (edição e redução de ruídos).

⁶ Aqui ruído pode ser definido como um som indesejável e não previsível, de frequência irregular. Porém, o ruído possui teor relativo, sendo assim, não existindo uma definição fixa, sendo alvo de várias discussões acadêmicas, como discutido por Silva (2012).

Figura 03 – Mulher gravando voz



Fonte: Aero JR. (2020)

Para resolver este problema de maneira prática, é muito comum ver músicos e técnicos de som colocando materiais absorventes – como edredons e travesseiros (Figura 04) – atrás do microfone, servindo como difusores e absorsores acústicos (Figura 05), ou gravando os vocais com o microfone dentro de guarda-roupas e armários, para que a onda sonora proveniente da voz não seja refletida em uma superfície, e captada novamente pelo microfone, prejudicando a qualidade do registro sonoro.

Figura 04 – “Gambiarras” no processo de gravação de vozes



Fonte: Reddit (2019)

Figura 05 – Difusor acústico portátil para microfones



Fonte: Mercado Livre (2018)

2.2 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação é um fator imprescindível ao analisar a qualidade acústica de um ambiente – principalmente ao falar de tratamento acústico – pois está diretamente ligado à nitidez do som emitido.

O efeito da reverberação é causado pelas múltiplas reflexões que ocorrem com uma onda sonora em superfícies e objetos antes desta ser captada por um microfone ou um ouvinte. No dia-a-dia, este efeito é principalmente notado em locais fechados como salas de aula, auditórios, igrejas ou teatros. (ALCÂNTARA, 2017, p. 16)

Sendo assim, define-se o tempo de reverberação como o tempo que o nível de pressão sonora leva para diminuir em 60 decibéis, após uma fonte de som ser abruptamente interrompida.

“O tempo de reverberação é utilizado como forma de correção dos valores para determinado ambiente ensaiado, tanto para a diferença de nível sonoro entre unidades, quanto para o nível de pressão sonora de impacto padrão.” (OLIVEIRA e HEISSLER, 2021).

Assim, para cada tipo de ambiente, existe um tempo de reverberação recomendado pela norma NBR 12179 (ABNT, 1992, p. 9).

2.3 Isolamento Acústico

O isolamento acústico é um processo realizado para, literalmente, tentar isolar o som que é propagado em um ambiente, do outro; ou seja, reduz-se ao máximo a intensidade sonora – conhecido no nosso cotidiano como volume do som – para que este som não “vaze” do ambiente, para não perturbar os usuários de cômodos vizinhos. Da mesma forma, os sons externos não conseguem “invadir” o ambiente, pois a mesma barreira que impede o som propagado do lado interno, barra o som proveniente do lado externo. Para isto, pode-se utilizar de várias técnicas e sistemas, como paredes duplas, aplicação de materiais isolantes e absorventes, amortecimento estrutural, entre outras.

A transmissão sonora entre dois ambientes pode ocorrer de duas maneiras: através da transmissão via ar e através da transmissão via sólido. Portanto, para uma partição ser considerada como isolante sonora deve ser capaz de proporcionar razoável isolamento aéreo e estrutural. (LOSSO e VIVEIROS, 2004).

De acordo com Catai et al (2006), a atenuação do nível de intensidade sonora já acontece devido à presença das paredes de vedação, vigas e pilares, porém, para aumentar o efeito atenuante, pode-se aplicar alguns materiais, como lã de rocha (Figura 06), lã de vidro (Figura 07), espumas acústicas (Figura 08), e até mesmo a fibra de coco (Figura 09), por exemplo, podendo também ter seu uso combinado à aplicação do gesso acartonado⁷.

Figura 06 – Rolo de lã de rocha



Fonte: Terac Forros e Isolamentos (2021)

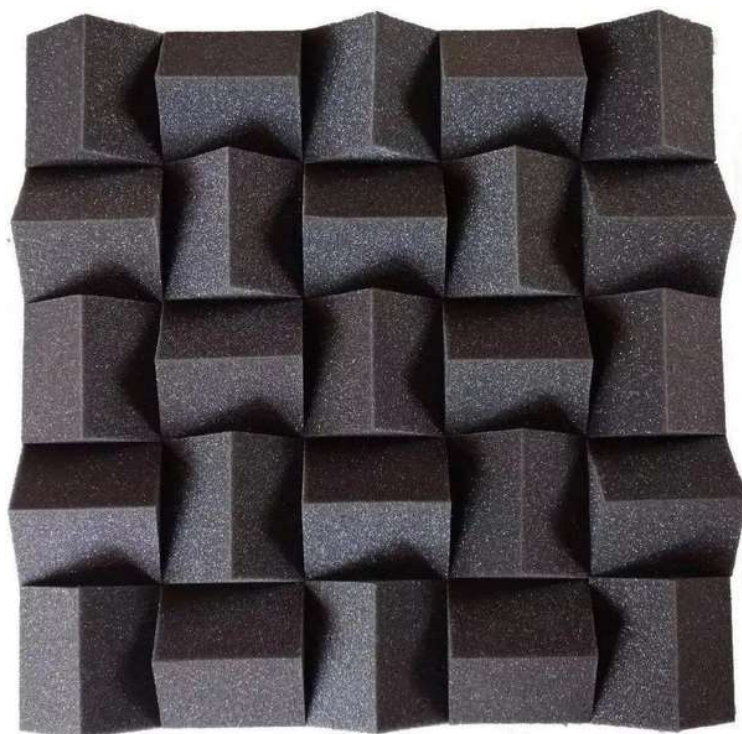
⁷ De acordo com Losso e Viveiros (2004), o *dry wall* ou gesso acartonado é um dos elementos que possuem um bom desempenho de isolamento sonoro, mesmo com sua baixa densidade. Está presente no Brasil desde 1974, ganhando notoriedade nos anos 90. Como características, possui pouco uso de água e geração mínima de resíduos.

Figura 07 - Lã de vidro sendo posicionada para isolamento acústico



Fonte: Terac Forros e Isolamentos (2021)

Figura 08 – Modelo de difusor acústico feito com espuma



Fonte: Leroy Merlin (2021)

Figura 09 – Fibra de coco



Fonte: Terral (2016)

Segundo Oliveira e Heissler (2021), para cada situação específica, existem soluções apropriadas para o caso, dependendo bastante das frequências emitidas. Para baixas frequências, o fator mais importante será a rigidez do material; para altas frequências, a capacidade de amortecimento é mais importante. Já para isolamento de ruído de impacto, a transmissão será realizada pelos materiais empregados na construção, já que é proveniente de um impacto mecânico, que fará com que a edificação transmita essa vibração, ou seja, é ideal que se utilizem materiais que amortecem estes impactos.

2.4 Tratamento Acústico

Tratamento acústico é o “processo pelo qual se procura dar a um recinto, pela finalidade a que destina, condições que permitam boa audição às pessoas nele presentes” (ABNT, 1992), o que no caso de estúdios, pode-se dizer que esta “boa audição” seria uma boa qualidade do áudio captado por microfones.

A diferença entre o tratamento acústico e o isolamento acústico, é que, enquanto o isolamento se preocupa em não transmitir os sons emitidos dentro do cômodo para o lado de fora, e também para que os sons externos não influenciem o que está sendo ouvido dentro da sala, o tratamento se preocupa apenas administrar os sons provenientes de um

cômodo. É lógico pensar que, sem um isolamento acústico adequado, é improvável que haja um tratamento eficiente, já que, frequentemente sons externos irão afetar a percepção de quem está posicionado dentro de um ambiente não isolado.

Para o tratamento acústico, práticas – como posicionar difusores acústicos (Figura 10) em pontos estratégicos - são adotadas para evitar fenômenos físicos como ecos, pois estes afetam a nossa percepção do que está sendo falado ou reproduzido. Para isso, usa-se o tempo de reverberação como critério para um tratamento eficiente.

Figura 10 – Difusor acústico de madeira

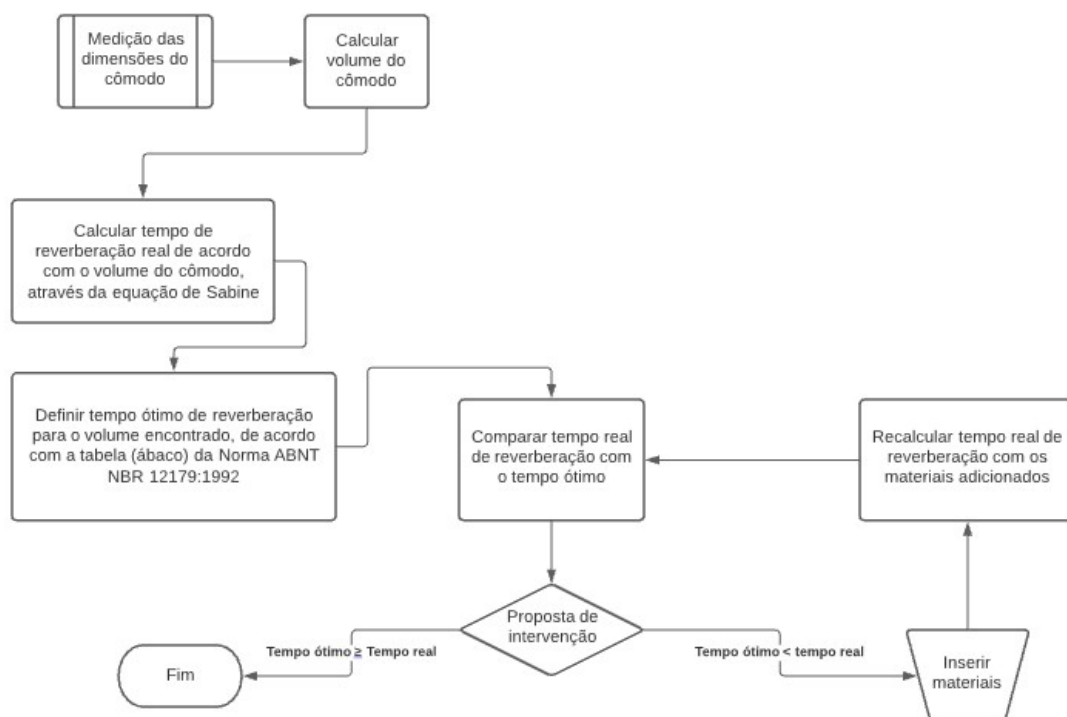


Fonte: Cinemma Audio Video Automação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tratou-se de uma pesquisa exploratória (MARTINS JÚNIOR, 2015), que através de medições, cálculos e pesquisas de materiais, teve como proposta encontrar e apresentar soluções para um cômodo de uma residência comum, no processo de adequá-lo a um estúdio caseiro. O fluxograma da pesquisa é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Para adequar um ambiente, neste caso, um quarto, à função de servir como um ambiente de gravação de música, ou seja, um estúdio, foi preciso adequá-lo através do Condicionamento Acústico, que segundo a norma ABNT NBR 12179 (1992), é o processo no qual garante-se ao recinto um tempo de reverberação adequado, aproximando-se ao máximo do tempo ótimo sugerido pela norma.

Na primeira etapa da pesquisa, foi feita a medição *in loco* do ambiente usando uma trena de aço. Após a obtenção dos dados dimensionais, verificou-se os materiais presentes neste quarto e as suas respectivas áreas.

Para a avaliação da qualidade acústica do quarto, tomou-se como critério principal o tempo de reverberação do ambiente, e para isto, foi necessário calcular o tempo de

reverberação real, para posteriormente compará-lo com o tempo de reverberação ótimo, com base na norma NBR 12179 da ABNT.

Após a coleta das dimensões dos materiais, e dos seus respectivos coeficientes de absorção, foi calculado o tempo de reverberação real através da equação de Sabine (equação 1):

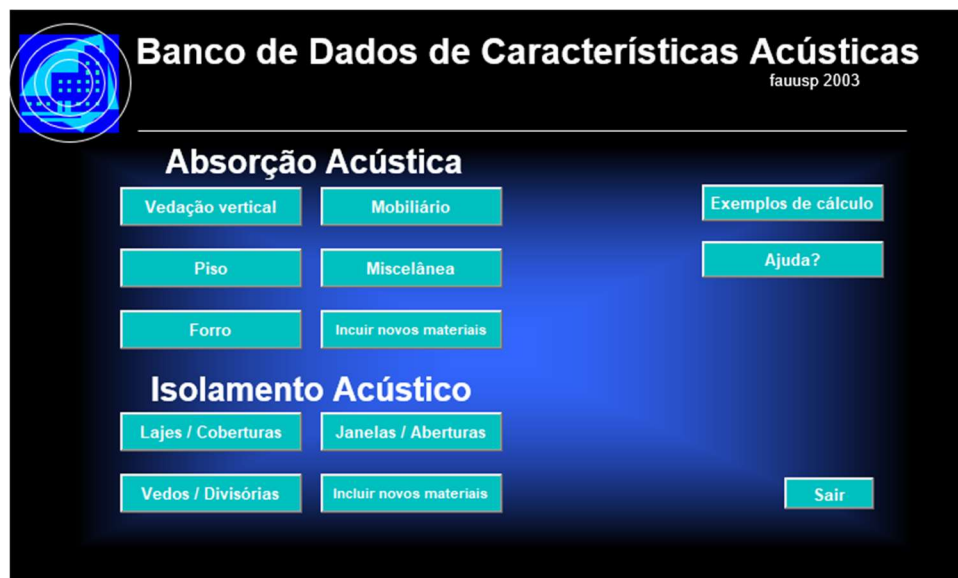
$$T_r = 0,161 \times \frac{V}{\sum S\alpha} \quad (1)$$

Em que: T_r é o tempo real de reverberação, medido em segundos, V é o volume da sala em m³, e $\sum S\alpha$ é o somatório das absorções dos materiais presentes no ambiente.

Para a obtenção do somatório das absorções, foi necessário conhecer o coeficiente de absorção de cada material apenas para uma frequência de 500 Hz, pois esta é a faixa de frequência predominante para a atividade referente (estúdio de música) que o ambiente será condicionado.

Estes dados foram verificados em um Banco de Dados de Características Acústicas (FAUUSP, 2003), ilustrado na Figura 12.

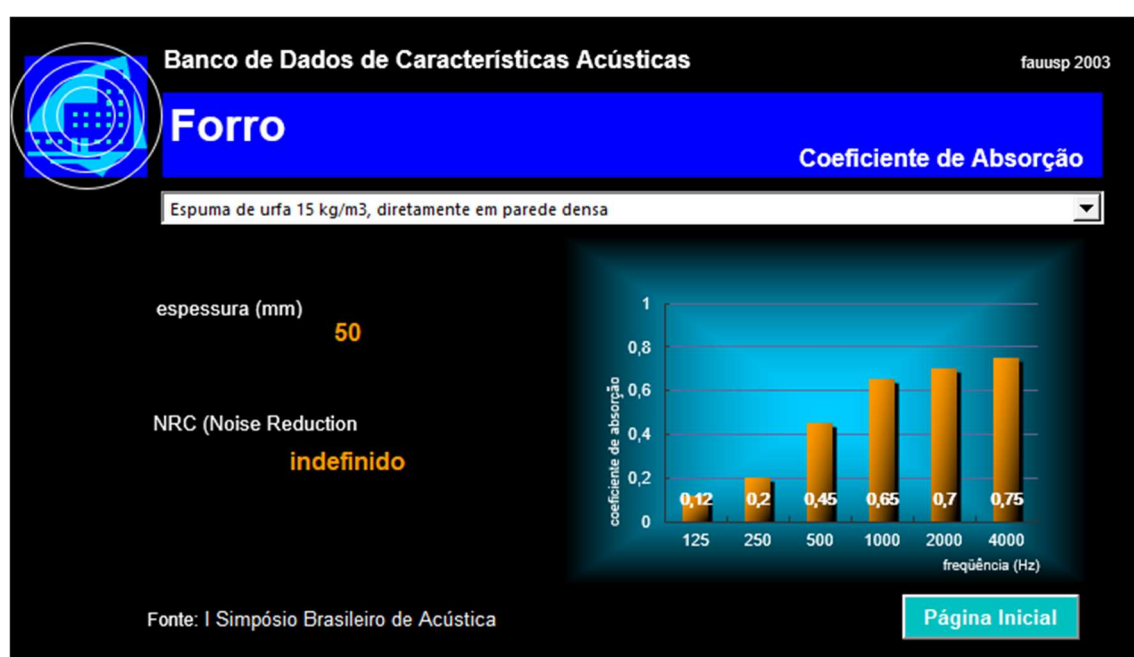
Figura 12 – Página inicial do Banco de Dados, reproduzido no programa Microsoft Excel



Fonte: Adaptada de FAUUSP (2003)

O banco de dados fornece os valores do coeficiente de absorção para vários materiais, a diferentes frequências. Para ter acesso aos valores do coeficiente de absorção de um material utilizado em forros, por exemplo, clica-se na janela correspondente, e ao ser redirecionado para outra janela (Figura 13), pode-se escolher diversos materiais, e o banco de dados fornece o coeficiente de absorção para aquele material, em diversas faixas de frequência.

Figura 13 – Exemplo do layout do banco de dados, mostrando os coeficientes de absorção do material para faixas de frequência diferentes



Fonte: Adaptada de FAUUSP (2003)

O cálculo do tempo real de reverberação foi realizado com o auxílio de uma planilha do programa Microsoft Excel (realçado na Figura 14), em que, na primeira etapa adicionou-se as dimensões do ambiente para o cálculo do volume. Logo após, foram inseridos os materiais presentes no ambiente, suas áreas, e seus respectivos coeficientes de absorção, tendo como resultado o cálculo de maneira automatizada do somatório das absorções, bem como o tempo real de reverberação.

Figura 14 – Planilha automatizada para o auxílio do cálculo do tempo real de reverberação

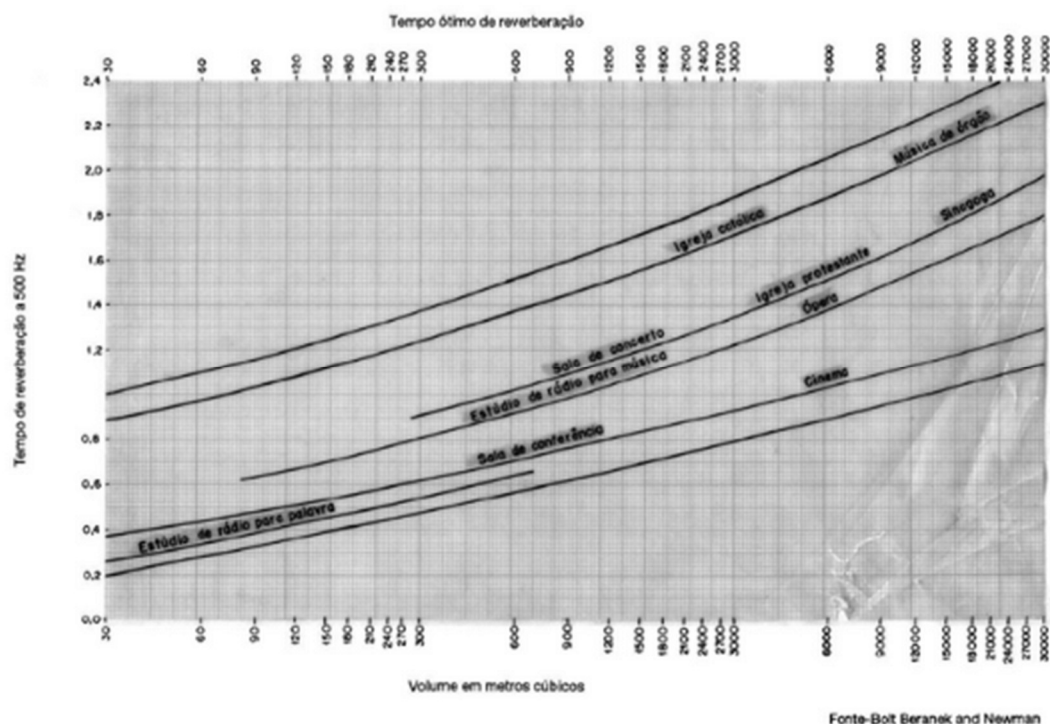
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Tempo Real de Reberberação										
2											
3	$Tr = 0.161 \times V / \sum S\alpha$										
4											
5	Volume (m³)										
6	Somatório das Absorções ($\sum S\alpha$)										
7											
8	Tempo Real de Reverberação										
9											
10	Tempo Ótimo de Reverberação										
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
	Tempo Ótimo de Reverberação				Somatório das Absorções			Tempo Real de Reverberação			

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Após o cálculo do tempo de reverberação real, este valor foi comparado com o tempo de reverberação ótimo, e avaliando que o tempo de reverberação real precisaria diminuir, foram propostos materiais para melhor adaptá-lo à função de um *home studio*.

Este tempo de reverberação ótimo foi encontrado em um ábaco presente na norma ABNT NBR 12179 (1992), ilustrado na Figura 15. O ábaco fornece o tempo de reverberação ótimo para cada volume de ambiente. Como pode ser visto na figura, cada curva é referente a uma função (Cinema, sala de conferência, igrejas), e o tipo de ambiente de interesse para este trabalho foi o estúdio de rádio para música, cujo tempo de reverberação mínimo foi de 0,6 segundos.

Figura 15 – Ábaco relacionando o tempo de reverberação a 500Hz com o volume do ambiente em metros cúbicos



Fonte: ABNT NBR 12179 (1992)

O fator de escolha para os materiais propostos foi a eficiência de absorção (através do coeficiente de absorção fornecido no banco de dados), e também o preço, dado este que foi coletado para cada material através de pesquisa *online*.

Além disso, após a proposta dos materiais a serem inseridos, e da verificação do novo tempo real de reverberação foi feita uma sugestão do posicionamento desses materiais para criar uma zona livre de reflexão para o usuário da sala utilizando o software AutoCad.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados do ambiente

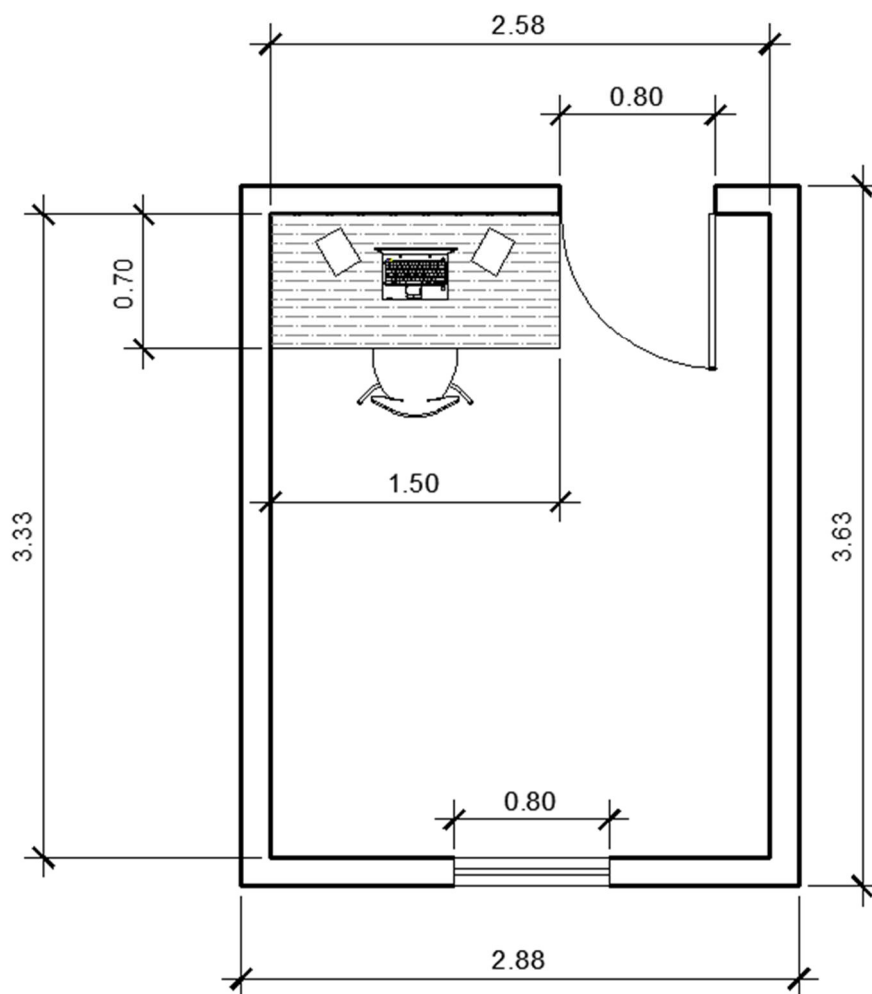
Conforme a Tabela 01, obteve-se o volume de 23,45 m³ na medição do quarto, e observando na Figura 13, percebemos que o volume mínimo presente no ábaco é de 30 m³, e para estúdio de música, o mínimo é de 90 m³. Na Figura 16 é possível observar visualmente a planta do ambiente, com o posicionamento de suas esquadrias e de uma mesa. Na Figura 17, há uma representação em modelo 3D deste mesmo espaço.

Tabela 01 – Dados geométricos sobre o cômodo

Largura (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Volume (m ³)
2,58	3,33	2,73	23,45

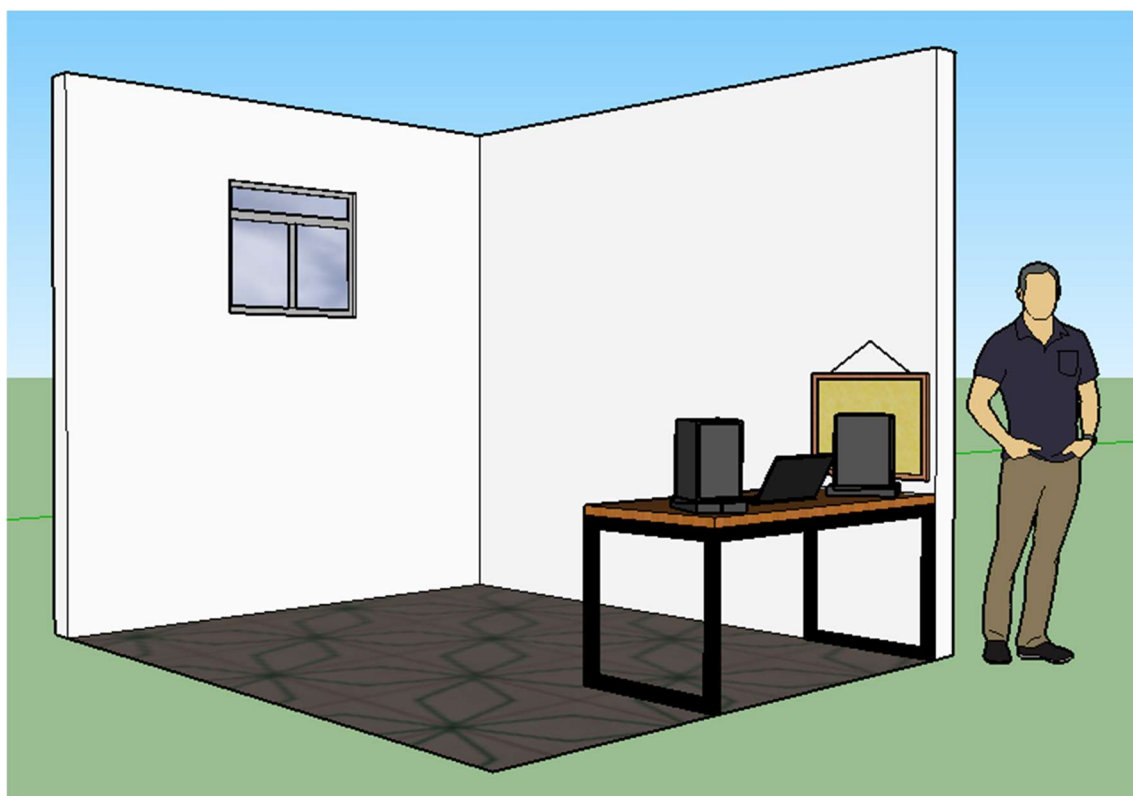
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 16 – Representação em planta do ambiente realizada no software AutoCad



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Figura 17 – Representação em 3D do cômodo realizada no software SketchUp



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Portanto, adotou-se o valor do tempo ótimo de reverberação para a sala como sendo 0,6, já que é o tempo ótimo mínimo para um ambiente com esta função, presente na norma.

4.2 Materiais presentes

Além dos elementos de vedação inerentes a um quarto de uma residência (piso, teto, parede e porta), foram inseridos como mobiliário: uma mesa (com tampo de compensado e pés de metalon), um quadro de aviso em cortiça, uma cadeira, um notebook e dois monitores de áudios (equipamentos necessários para os processos de mixagem e masterização de músicas), bem como um técnico de som – responsável pela operação dos softwares de gravação – e um músico. Realizou-se o levantamento dos materiais presentes no ambiente e as suas dimensões, com o intuito de obter o somatório das áreas destes materiais, para posterior multiplicação pelos respectivos coeficientes de absorção de cada um, como ilustrado na Tabela 02.

Tabela 02 – Levantamento dos materiais e somatório das absorções

Somatório das Absorções					
Superfície	Material	Comprimento	Largura	Coef. Absorção	Absorção do Material
Piso	Ladrilho (de cerâmica)	3,33	2,58	0,01	0,10
Teto	Gesso	3,33	2,58	0,02	0,17
Parede	Parede de alvenaria pintada	8,55	2,73	0,02	0,47
Porta	Porta de madeira fechada	2,17	0,80	0,06	0,10
Cortina	Cortina de dupla lona	1,55	0,88	0,10	0,14
Mesa (tampo)	Compensado (tábuas de madeira 16mm)	1,50	0,70	0,10	0,11
Mesa (espessura)	Compensado (tábuas de madeira 16mm)	2,20	0,07	0,10	0,02
Mesa (pés)	Metalon (metal oco com selamento e soleira)	15,12	0,03	0,00	0,00
Quadro de aviso (mural)	Cortija	0,63	0,48	0,08	0,02
Cadeira	Cadeira com assento erguido	1,00	1,00	0,15	0,15
Técnico de som	Pessoa sentada	1,00	1,00	0,19	0,19
Músico	Músico de orquestra com instrumento	1,00	1,00	1,02	1,02
Somatório das Absorções ($\sum \alpha$)					1,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

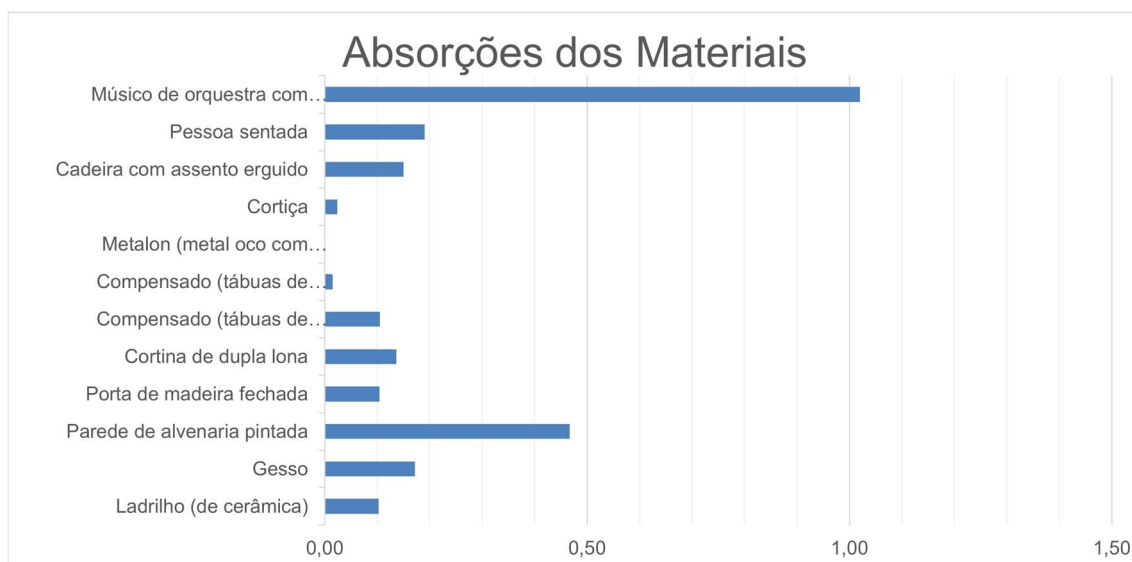
De posse do valor da soma das absorções na sala (1,50), foi possível mensurar o tempo real de reverberação através da equação de Sabine (equação 1). Sendo assim, considerando aqui o volume real da sala (23,45 m³), foi obtido um T_r (tempo de reverberação) calculado de 2,52s. Comparando com o tempo ideal, de 0,60s, foi necessário diminuir em aproximadamente 1,92 segundos o tempo de reverberação real. Para tanto, a sugestão foi de inserir novos materiais, e/ou substituir materiais já presentes na sala por outros mais absorventes, assim aumentando o somatório de absorções, já que este é inversamente proporcional ao tempo real de reverberação.

Ainda analisando a Tabela 02, percebe-se que, além do metalon presente na mesa, o teto, a parede e o piso são os elementos com materiais menos absorventes (gesso e alvenaria pintada, com coeficiente de absorção igual a 0,02, e ladrilhos de cerâmica com absorção de 0,012). Além disso, estes mesmos elementos, são os com maior área no ambiente. Por isso, serão os maiores focos de alterações no cômodo, já que existe muito espaço disponível para modificações.

Na Figura 18, a relação dos materiais e suas absorções no ambiente é ilustrada em um gráfico de barras. Pode-se perceber que o músico de orquestra com instrumento, a cerâmica e a parede de alvenaria pintada têm os maiores valores de absorção. Apesar de a parede de alvenaria pintada não possuir um coeficiente de absorção alto, possui boa parcela de absorção, pois tem uma área muito grande. Já o músico de orquestra com

instrumento, possui um coeficiente de absorção alto, e por esse motivo, apenas um instrumentista se torna o “objeto” mais absorvente do ambiente.

Figura 18 – Gráfico de barras ilustrando a absorção das superfícies do ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.3 Materiais propostos

Para fazer com que o tempo de reverberação do ambiente se aproxime do tempo de reverberação ótimo, foi preciso inserir ou substituir materiais no ambiente. Para isto, foi feito um levantamento dos possíveis materiais a serem acrescentados no cômodo, e realizado uma pesquisa de preço para analisar a viabilidade econômica de cada solução, sendo este um fator determinante para a escolha de um ou outro material a ser proposto.

Os nomes dos materiais propostos estão todos relacionados aos nomes encontrados no Banco de Dados de Características Acústicas (FAUUSP; 2003).

Verificando a equação de Sabine, e tendo o tempo de reverberação ótimo fixado como 0,6, descobriu-se que o valor do somatório das absorções deve ser aproximadamente 6,30:

$$T_r = 0,161 \times \frac{V}{\sum S\alpha}$$

$$\sum S\alpha = 0,161 \times \frac{V}{T_r}$$

$$\sum S\alpha = 0,161 \times \frac{23,45}{0,6}$$

$$\sum S\alpha \cong 6,30$$

Todas as inserções e substituições estão relacionadas na Tabela 03, mostrando os materiais presentes inicialmente no espaço, e na coluna vizinha por quais materiais foram substituídos, ou quais materiais foram inseridos naquela superfície.

Tabela 03 – Relação de materiais substituídos

Superfície	Material existente	Material proposto (inserido)
Cortina	Cortina de dupla lona	Cortina de algodão (com dobras de 50% de sua área) ⁸
Porta	Porta de madeira	Cortina pendurada em porta, opaca
Paredes	Parede de alvenaria pintada	Lã de rocha sobre parede
Forro	Gesso	Lã de rocha solta

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A única substituição de materiais proposta foi a da cortina de dupla lona por uma cortina de algodão (ilustrado na Figura 19), por ser um material mais absorvente. Esta solução foi pensada visto que a cortina é um item já existente no ambiente, que facilmente pode ser substituído sem alterar o espaço disponível no cômodo.

⁸ Para a cortina possuir dobras, a sua dimensão (do tecido) deve ser maior do que a dimensão em corte. Como a janela do cômodo possui 80cm, a cortina deve ter aproximadamente 1,60 de dimensão de peça. A mesma cortina será utilizada na porta, fazendo com que este investimento seja efetivamente utilizado em sua totalidade, sem desperdício algum.

Figura 19 – Modelo de cortina.



Fonte: Magazine Luiza (2021)

Com esta sugestão, o somatório de absorções do ambiente passa de 1,50 a ser 2,20, faltando ainda a inserção de materiais para que se atinja o valor de 6,30. Ou seja, deve-se ter ainda um acréscimo de absorção de 4,10.

Para as paredes, uma solução viável é a de inserção de placas difusoras, preenchidas com lã de rocha (Figura 20). Estas placas podem ser feitas com madeiras de demolição, diminuindo os custos com sua construção. O material encontrado com melhor custo-benefício foram mantas de dimensões 10 m x 1,20 m, com espessura de 25 mm. A absorção do material utilizado seria de 0,85 – acréscimo de 0,83 em relação à absorção da parede de alvenaria pintada, que é de 0,02 –, já que esta lã de rocha estaria sobre a parede.

Figura 20 – Montagem de uma placa acústica com madeira e lã de rocha



Fonte: Fábio Mazzeu (2018)

Com o valor exato restante da absorção necessária para o cômodo, pode-se descobrir uma aproximação para a área mínima necessária de placas difusoras, dividindo a absorção restante pelo coeficiente de absorção da lã de rocha:

$$\frac{4,10}{0,85} \cong 4,83 \text{ m}^2$$

Sendo assim, pode-se construir painéis difusores com dimensões de 120 cm x 50 cm, para uma divisão mais eficiente da manta. Dividindo a área de 3,53 m² pela área de uma placa, descobriu-se quantas placas seriam necessárias para que fosse atingido um valor próximo ao valor satisfatório de absorções, e consequentemente, o tempo de reverberação ótimo.

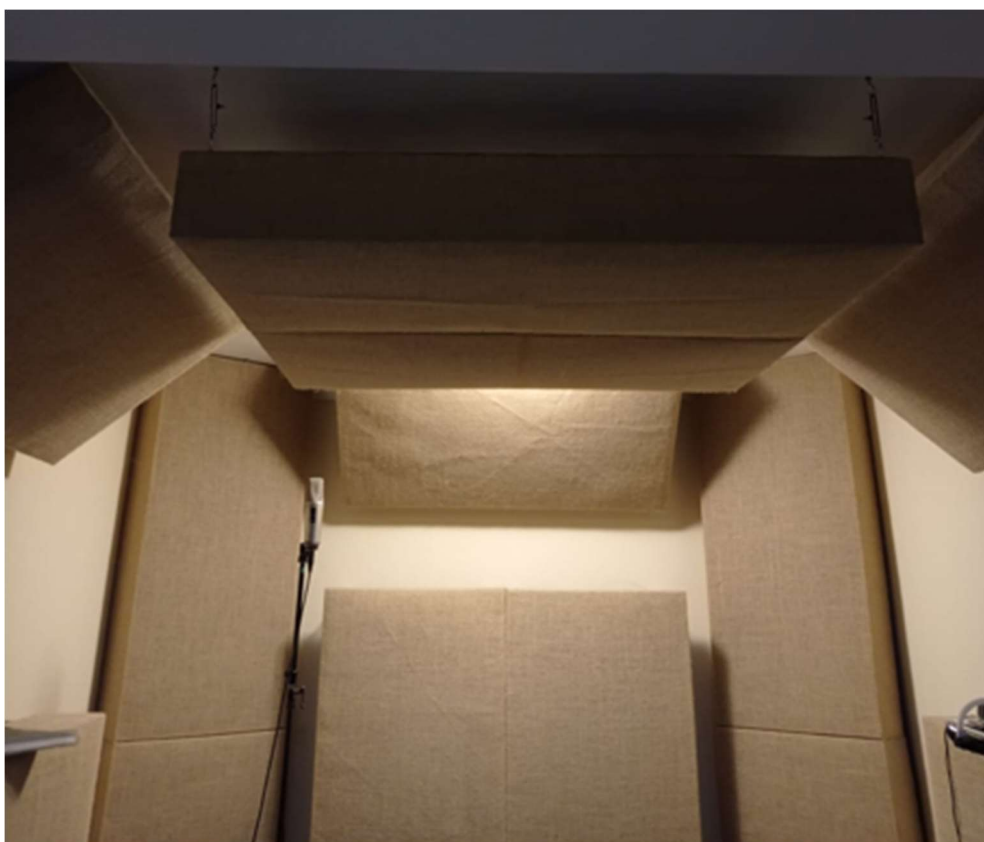
$$\frac{4,83}{1,2 \times 0,5} \cong 8,04$$

Ou seja, oito (8) placas seriam necessárias para que fosse atingido um valor de absorção próximo a 6,30, totalizando uma área de 4,8 m² de lã de rocha sobre a parede.

Ao adicionar as oito (8) placas, e reduzir o valor referente à área adicionada da parede, o somatório das absorções atinge o valor de 6,24, e o tempo de reverberação real chega ao valor de 0,61 s.

Este valor de 0,01 segundo restante pode ser diminuído com a inserção de um tapete no piso, ou de mais uma placa na parede. Como a manta de lã de rocha sugerida possui 12m² de área, e tendo sido utilizado apenas 4,8m², pode se construir uma ou duas placas difusoras a mais, fixando-as no forro, ou ainda na parede. Foi proposta a fixação de duas dessas placas no forro, como ilustrado na Figura 21, para que a difusão do som possa ser efetivada em mais direções, pois, tendo apenas o gesso, as ondas sonoras que incidem na parte superior do cômodo têm uma grande parcela de reflexão.

Figura 21 – Placas difusoras do Seno Estúdio, localizado na cidade do Natal



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

É relevante ressaltar que, além da absorção sonora pelos materiais, a difusão dessas ondas é de igual importância, pois, sendo a onda sonora uma onda tridimensional, se propaga em todas as direções no quarto. Dito isto, é fundamental posicionar as placas difusoras em pontos estratégicos, para que as ondas incidentes em seus trajetos tenham o mínimo de reflexões possível.

Sendo assim, com todas as propostas, o somatório de absorções total seria de 7,15 (como consta na Tabela 04), e o tempo de reverberação chegaria ao valor de 0,53

segundos, sendo o tempo ótimo adotado 0,07 segundo mais alto. É lógico pensar que, se para um ambiente com 90 m³ o tempo ótimo de reverberação é de 0,6 segundos, para um ambiente menor, este tempo também deve ser menor, já que são grandezas diretamente proporcionais, pois a distância que esta onda sonora irá percorrer será menor, devido às dimensões do ambiente.

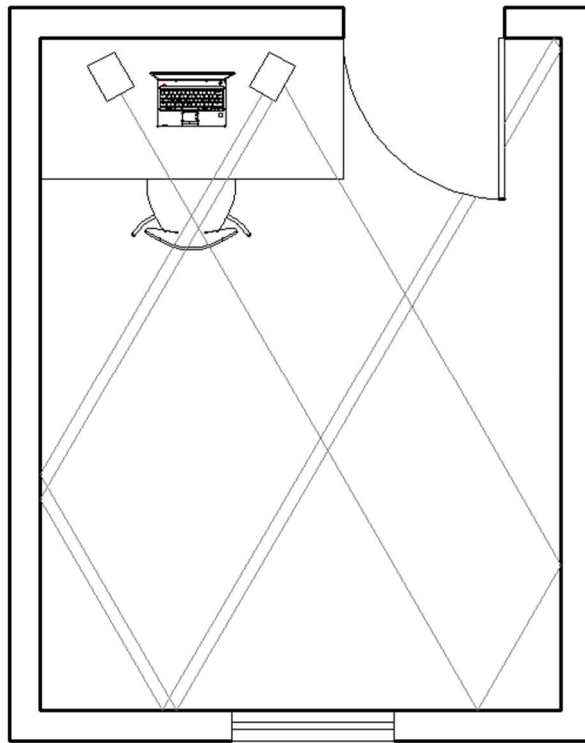
Tabela 04 – Somatório das absorções com as propostas de inserções para o ambiente

Somatório das Absorções					
Superfície	Material	Comprimento	Largura	Coef. Absorção	Absorção do Material
Piso	Ladrilho de cerâmica	3,33	2,58	0,06	0,52
Teto	Gesso	3,33	2,58	0,02	0,17
Teto	Lã de rocha solta	2,40	0,60	0,61	0,88
Parede	Parede de alvenaria pintada	4,95	2,73	0,02	0,27
Placas difusoras de lã de rocha	Lã de rocha sobre parede	9,60	0,50	0,85	4,08
Cortina próxima a porta	Cortina pendurada em porta, opaca	2,80	0,90	0,20	0,50
Cortina	Cortina pendurada reta contra a parede	2,80	0,90	0,25	0,63
Mesa (tampo)	Compensado (tábuas de madeira 16mm)	1,50	0,70	0,10	0,11
Mesa (espessura)	Compensado (tábuas de madeira 16mm)	2,20	0,07	0,10	0,02
Mesa (pés)	Metalon (metal oco com selamento e soleira)	15,12	0,03	0,00	0,00
Quadro de aviso (mural)	Cortija	0,63	0,48	0,08	0,02
Cadeira	Cadeira com assento erguido	1,00	1,00	0,15	0,15
Técnico de som	Pessoa sentada	1,00	1,00	0,19	0,19
Músico	Músico de orquestra com instrumento	1,00	1,00	1,02	1,02
Somatório das Absorções ($\Sigma S\alpha$)					7,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Após resolver o problema das absorções, e do tempo de reverberação, foi sugerido uma possibilidade de posicionamento para as placas difusoras, baseado no princípio físico de que o ângulo de incidência é igual ao de reflexão para superfícies regulares. Considerando os elementos de vedação vertical do quarto como paredes planas e regulares, montou se um esquema com o auxílio do software AutoCad, para prever os pontos de maior incidência de ondas sonoras (Figura 22).

Figura 22 – Simulação da incidência das ondas sonoras para identificação dos pontos mais críticos para posicionamento das placas difusoras

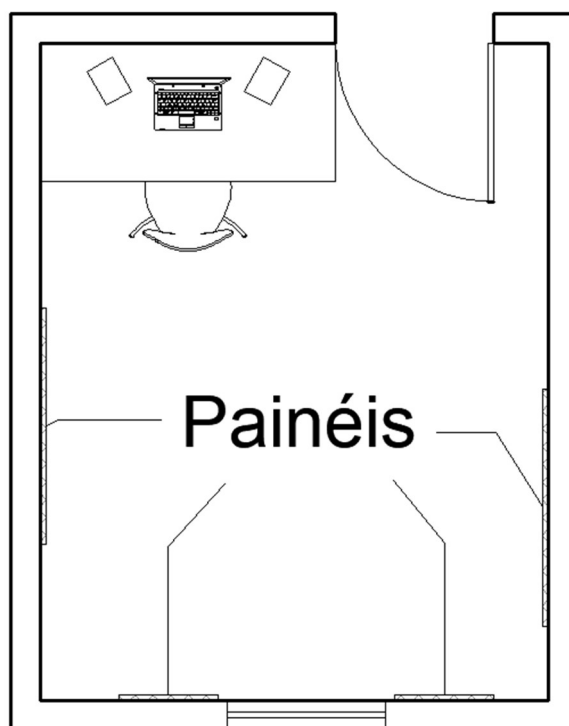


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Para tanto, a posição dos monitores foi fixada de tal forma que a cabeça do técnico de áudio (engenheiro de som, ou músico posicionado na cadeira) forme com os alto-falantes dos monitores de áudio um triângulo equilátero. Ou seja, que o ângulo de inclinação desses monitores seja de 60° em relação ao eixo horizontal da planta.

A sugestão do posicionamento das placas foi justamente nos pontos de maior incidência de ondas sonoras, como ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Indicação do posicionamento das placas difusoras



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.4 Custos das alterações

Em relação ao valor da cortina, na Tabela 05 consta os valores de cortinas encontradas no mercado, mostrando a viabilidade financeira de cada produto. Também consta nesta mesma tabela, uma pesquisa e orçamento feito levando em consideração o m² do tecido, utilizado para fazer uma cortina com o tamanho proporcional à janela do quarto, sendo um potencial fator de economia para o proprietário do ambiente.

Tabela 05 – Levantamento de cortinas, com preço e coeficientes de absorção

Material	Dimensões (peça)	Área (m ²)	Coefficiente de absorção	Absorção por peça	Preço	Preço por valor de absorção	Fonte do preço
Cortina simples (cortina pendurada reta próxima a parede)	2,80 x 0,90 (duas peças)	2,52	0,25	0,63	R\$ 60,00	R\$ 95,24	Loja 10
Cortina pendurada em dobras contra superfície sólida	3,00 x 0,90 (duas peças)	2,7	0,35	0,945	R\$ 64,90	R\$ 68,68	Loja 1

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Como as cortinas presentes no mercado são duas peças (para que se possa puxar individualmente cada parte da cortina, como uma porta de correr), e a janela presente no quarto é de pequena dimensão (80 cm de comprimento), uma forma de aproveitar melhor o investimento feito, seria colocar uma das peças de cortina na porta, evitando o

vazamento pelas frestas da esquadria, e aumentando a absorção do ambiente. Todo o investimento para essas duas modificações custaria R\$64,90.

Para as outras superfícies, visando o menor custo possível, foram propostas apenas inserções de materiais, para que não fosse necessário nenhum tipo de reforma, evitando custos com materiais e mão de obra para algum tipo de demolição – e posterior reconstrução - de algum elemento do quarto.

Para o piso, inicialmente foi pensada a instalação de um carpete, cujo m² custa R\$18,90, o que nas pesquisas, se mostrou o menor preço, e tendo um coeficiente de absorção de 0,30 – quatro vezes mais do que o coeficiente de absorção do piso cerâmico já existente -, seria um ótimo material para acrescentar ao ambiente. Porém, além de necessitar de ferramentas para instalação, colas, adesivos e mão de obra especializada, esta opção foi descartada por possuir um custo maior do que apenas o m² do material.

Os valores encontrados para todos os materiais pesquisados para piso e vedação vertical estão presentes nas Tabelas 06 e 07.

Tabela 06 – Levantamento de materiais para o piso, com preço e coeficientes de absorção

Material	Dimensões (peça)	Área (m ²)	Coeficiente de absorção	Absorção por peça	Preço (peça)	Preço por m ²	Preço por valor de absorção	Fonte do preço
Tapete de veludo	2,00 x 3,00	6	0,35	2,1	R\$ 352,00	R\$ 58,67	R\$ 167,62	Loja 1
Tapete de veludo	1,00 x 1,40	1,4	0,35	0,49	R\$ 79,99	R\$ 57,14	R\$ 163,24	Loja 2
Borracha sobre superfície sólida	0,50 x 0,50	0,25	0,35	0,0875	R\$ 31,90	R\$ 127,60	R\$ 364,57	Loja 3
Tapete boucle	2,50 x 3,00	7,5	0,15	1,125	R\$ 365,65	R\$ 48,75	R\$ 325,02	Loja 4
Tapete boucle	1,00 x 1,50	1,5	0,15	0,225	R\$ 91,78	R\$ 61,19	R\$ 407,91	Loja 1
Carpete forração	1,00 x 1,00	1	0,3	0,3	R\$ 18,90	R\$ 18,90	R\$ 63,00	Loja 5

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 07 – Levantamento de materiais para vedação vertical, com preço e coeficientes de absorção

Material	Dimensões (peça)	Área (m ²)	Coeficiente de absorção	Absorção por peça	Preço	Preço por valor de absorção	Fonte do preço
Placa de cortiça (espessura 25mm)	0,90 x 0,70	0,54	0,2	0,108	R\$ 50,00	R\$ 462,96	Loja 6
Eucatex	2,44 x 1,22	2,9768	0,64	1,905152	R\$ 55,37	R\$ 29,06	Loja 7
Tecido algodão	1,00 x 1,60	1,6	0,13	0,208	R\$ 14,90	R\$ 71,63	Loja 8
Manta lã de rocha	10,00 x 1,20	12	0,85	10,2	R\$ 135,18	R\$ 13,25	Loja 3
Painel lã de rocha	6 peças de 1,25 x 0,60	4,32	0,85	3,672	R\$ 88,41	R\$ 24,08	Loja 9

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

O custo total com os materiais propostos, que seriam apenas a cortina e a lã de rocha, seria de R\$200,08, com os preços datados na época desta pesquisa. O custo das madeiras utilizadas na construção das placas foi desprezado, pois, por terem apenas função de sustentação das mantas de lã de rocha, podem ser reutilizadas madeiras de demolição, ou sobras de madeiras cortadas em marcenarias, madeireiras ou serrarias. Além da redução de custos, é um incentivo à reutilização e reaproveitamento da matéria prima de maneira inteligente.

5 CONCLUSÃO

Foi possível concluir que o investimento em materiais como a lã de rocha, para a resolução de tratamento acústico em ambientes é diretamente proporcional ao tamanho do cômodo, tendo em vista que o tempo de reverberação ótimo aumenta de maneira exponencial ao aumento do ambiente. Também pôde-se enxergar na pesquisa que não existem tantos materiais disponíveis no mercado voltados para as funções de tratamento acústico, porém, quebra-se o mito de que estúdios de música devem ser recheados de absorvedores acústicos, pois existe um valor ideal para a reverberação na sala, não sendo necessário haver o cobrimento total das paredes com espuma ou materiais muito absorventes.

Destaca-se a necessidade de softwares gratuitos para o estudo do comportamento acústico nos ambientes, pois apesar de haver métodos mais manuais para a decisão da posição dos difusores acústicos, existe mercado para o desenvolvimento de softwares com valores mais acessíveis – ou até mesmo livres de qualquer custo para a utilização (como o Ftool para o cálculo preliminar de estruturas) – neste ramo, mesmo que mais simples, para auxiliar levantamentos e análises mais rápidas e menos densas.

Ainda são necessários estudos e avanços sobre a absorção acústica de materiais menos comuns como edredons, tatames e diversos tipos de poliéster, tendo em vista que estes materiais podem ser alternativas para a construção de ferramentas no tratamento acústico de vários ambientes.

O trabalho atingiu seu objetivo em propor um tratamento acústico adequado ao quarto em questão, analisando os critérios de absorção para o cálculo do tempo de absorção, e o custo, de forma a ter um bom custo-benefício.

Estudos futuros podem ser realizados analisando a absorção de mais materiais (tais como tatames, edredons e compósitos com poliéster, por exemplo), além de estudar como a forma dos difusores pode afetar o tratamento acústico, mesmo com uma absorção mais baixa. Também é necessária a discussão sobre *bass-traps*⁹, sua importância no tratamento acústico e métodos de construção. Além de que, em centros universitários que possuam cursos de arquitetura e de computação, podem surgir pesquisas a fim de criar softwares que possam auxiliar o profissional a calcular de maneira mais rápida o tempo de reverberação em um ambiente, e a identificar pontos prováveis de intervenção, bem como diagnosticar possíveis soluções.

⁹ Difusores e absorvedores destinados a tratar a ressonância e reverberação de frequências mais baixas (abaixo de 250 Hz). (MAZZEU, 2018).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em:

<<https://querosossego.files.wordpress.com/2008/08/abnt-nbr-12179.pdf>>. Acesso em: 02 agosto 2021.

ALCÂNTARA, Raoni Luar de Freitas. **Efeito da Reverberação na Inteligibilidade e na Identificação Acústica de Indivíduos**. Orientador: Bruno Sanches Masiero. 2018. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de CampinasU, Campinas, SP, 2018. Disponível em:

http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/332523/1/Alcantara_RaoniLuarDeFreitas_M.pdf. Acesso em: 12 ago. 2021.

BURJATO, Marina. **Complexo de Uso Misto em São Paulo - Pinheiros**. Orientador: Prof. Artur Katchborian. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Universitário Senac, [S. l.], 2017. Disponível em: https://issuu.com/senacbau_201202/docs/tcc_marina_complexo_uso_misto. Acesso em: 2 nov. 2021.

CARVALHO, Vinícius Paggioli de. **Estudo e avaliação da acústica de *home studios***. Orientador: João Antônio Pereira. 2019. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/190936>. Acesso em: 9 ago. 2021.

CATAI, Rodrigo Eduardo; PENTEADO, André Padilha; DALBELLO, Paula Ferraretto. Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. **17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, PR, p. 4205-4216, [2006?]. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17747/material/Engenharia%20de%20Produ%C3%A7%C3%A3o,%20Engenharia%20Civil,%20Mecatr%C3%B4nica.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2021.

FAUUSP – FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA USP. **Banco de dados de características acústicas**. 2003. Disponível em: http://www.fau.usp.br/arquivos/cpq/labs/labaut/conforto/Bd_Acustica_Versao_1.2.xls. Acesso em: 16 set. 2021.

FILHO, Marcos Edson Cardoso; PALOMBINI, Carlos. Música e tecnologia no Brasil: a canção popular, o som e o microfone. In: XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Música (ANPPOM), 2006, Brasília. **Música e tecnologia no Brasil: a canção popular, o som e o microfone...** [S.l.: s.n.], 2006. P. 313-317. Disponível em:

<https://antigo.anppom.com.br/anais/anaiscongresso_anppom_2006/CDROM/COM/04_Com_Musicologia/sessao01/04COM_MusHist_0102-194.pdf>. Acesso em: 02 agosto 2021.

LEITE, Rafaela Bernardazzi Torrens. **YouTuber: o produtor de conteúdo do YouTube e suas práticas de produção audiovisual**. Orientador: Maria Helena Braga e Vaz da Costa. 2019. 276 f. Tese (Doutorado em Estudos da Mídia e Práticas Sociais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/27385>. Acesso em: 16 nov. 2021.

LIMA, Gabriel Nogueira de Sousa e. **A tecnologia no meio musical: a produção lo-fi e o acesso à música.** Orientador: Glauber Barreto Luna. 2018. 35 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018.

LOSSO, Marco; VIVEIROS, Elvira. Gesso acartonado e isolamento acústico. **Anais**, São Paulo, [2004?]. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável / X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo.

MARTINS JÚNIOR, Joaquim. **Como escrever trabalhos de conclusão de curso: instruções para planejar e montar, desenvolver, concluir, redigir e apresentar trabalhos monográficos e artigos.** 9. ed. Petrópolis, RJ; Vozes, 2015. 248 p. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/149506/pdf/3?code=EucQoJ2MDF8bPYyJLt9QZH2Z0Ynj5/LfVqa4ALpxBAV0EGF2JxK1KPcG+1B8bOK4LP+FsdqZjHmkEAeKCdKeEw==>>. Acesso em: 10 setembro 2021.

MAZZEU, Fábio. O que é bass trap e para quê serve?. In: **Fábio Mazzeu**: Áudio Blog. [S. l.], 11 set. 2018. Disponível em: <https://fabiomazzeu.com/o-que-e-bass-trap-para-que-serve/>. Acesso em: 3 nov. 2021.

OLIVEIRA, Maria Fernanda; HEISSLER, Rafael. Análise comparativa do isolamento acústico em diferentes geometrias: ensaios em campo e simulações computacionais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 385-402, jan./mar. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100510>. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/c6RFPFWG4mbxr3sZsQ6sx6B/?lang=pt>>. Acesso em: 12 agosto 2021.

SILVA, Ágatha Contursi César Spiegel da. **A utilização de novas mídias digitais como fonte de informação: Um estudo exploratório sobre podcasts.** Orientador: Gisele Vasconcelos Dziekaniak. 2019. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Biblioteconomia) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.furg.br/handle/1/8673>. Acesso em: 16 nov. 2021.

SILVA, Lílian Campesato Custódio da. **Vidro e Martelo: contradições na estetização do ruído na música.** Orientador: Rodolfo Caesar. 2012. 160 f. Tese (Doutorado em Música) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.