

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES ACÚSTICAS
DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO ENSINO DA
MÚSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Claudia Rogeria Gaida

Santa Maria, RS, Brasil

2012

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES ACÚSTICAS DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO ENSINO DA MÚSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Claudia Rogeria Gaida

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Área de
Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, RS, Brasil

2012

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gaida, Claudia Rogeria
Caracterização das condições acústicas de salas de aula destinadas ao ensino da música na educação básica / Claudia Rogeria Gaida.-2012.
102 p.; 30cm

Orientador: Dinara Xavier da Paixão
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2012

1. Acústica de salas 2. Parâmetros acústicos 3. Ensino da música I. Paixão, Dinara Xavier da II. Título.

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Claudia Gaida. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte:

Endereço Eletrônico: claudiagaida@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES ACÚSTICAS DE
SALAS DE AULA DESTINADAS AO ENSINO DA MÚSICA
NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

elaborada por
Claudia Rogeria Gaida

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dinara Xavier da Paixão, Dra. Eng.
(Presidenta/Orientadora)

Erasmus Felipe Vergara, Dr. Eng. (UFSM)

Aloísio Leoni Schmid, Dr. Ing. (UFPR)

Santa Maria, 31 de setembro de 2012.

***Dedico esta etapa da minha vida a mim mesmo.
É a primeira vez na minha vida que tenho essa coragem:
“pensar em mim”.
Mas gostaria que meus filhos:
Mariana, Julia e Henrique,
entendessem ainda quando jovens, que as possibilidades de aprender são
infinitas e que o conhecimento é o único bem que ninguém pode nos roubar.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha orientadora Dinara Xavier da Paixão, pois em um dia qualquer, ao acaso, nos reencontramos na Engenharia (UFSM) e ela me mostrou o Laboratório de Acústica e me falou sobre as pesquisas nesta área. Então, como se estivesse pré-estabelecido pelo destino, voltei a minha vida acadêmica, voltei a me sentir viva, e voltei a fazer aquilo que gosto: estudar. Por isso, não tenho palavras para agradecer.

Agradeço ao Cristhian Moreira Brum, inicialmente meu colega de projeto ABRAMUS, momento acadêmico ao qual ele dedicou seu tempo e empenho de forma plena. Hoje, meu amigo, do qual me orgulho muito em acompanhar sua ascensão intelectual. Agradeço por toda a ajuda, pela confiança e dedicação incondicional nessa trajetória e por nossa amizade.

A minha mãe por ter me dado sempre incentivo e a quem mais tenha acreditado em mim.

A Luciana Manzoni Pereira, por ter sido minha amiga e me dado apoio em todos os momentos.

Ao amigo Paulo César da Rosa Righi, pela dedicação e companheirismo.

A toda equipe ABRAMUS, pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos. Especialmente agradeço pela atenção e acolhida na ocasião de nossa apresentação do projeto ABRAMUS no Paraná (UFPR).

Ao Professor Aloísio Leoni Schmid, também pela dedicação durante o encontro do grupo do projeto ABRAMUS no Paraná, mas principalmente pelas contribuições detalhadas feitas ao meu estudo.

Ao Professor Felipe Vergara, pelas orientações de aula e pela dedicação nos relatórios da ABRAMUS.

Ao PPGEC, especialmente a Marília, pela dedicação, aos colegas e professores que convivi todos os dias e que muito aprendemos uns com os outros.

A CAPES, pelo apoio financeiro.

Muito obrigada!

*Espero que a educação musical chegue às escolas brasileiras
Como um presente mágico a todas as crianças e jovens
Vestida para festa
Repleta de beleza e arte
Com respeito e simplicidade
Que sua melodia invada os corações inocentes
E alfabetize suas almas de doçura e harmonia.*

*Espero que nossas crianças e jovens
Sejam tratados como joias
Que em cada nota musical aprendida
Cantem a felicidade
Construam um futuro melhor.*

*Espero que a música invada as escolas
Com ares de privilégio
Por ser um momento único
Mas que dure pra sempre no coração de quem a tenha escutado.*

*Eu quero que a música chegue às escolas de todos
Sem diferenças
Com seriedade
Que as crianças e jovens aprendam
A sentir e a ouvir a música e entender o valor do silêncio...*

Claudia Gaida.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Universidade Federal de Santa Maria

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES ACÚSTICAS DE SALAS DE AULA DESTINADAS AO ENSINO DA MÚSICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

AUTORA: CLAUDIA ROGERIA GAIDA

ORIENTADORA: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 31 de agosto de 2012.

A inadequação acústica em um ambiente destinado ao ensino e estudo da música pode desencadear problemas no processo de aprendizagem, pois os conteúdos musicais ou a própria fala, podem ser modificados, criando possibilidades de adaptações errôneas às condições existentes. Por isso a preocupação com a implementação da Lei nº. 11.769/ 2008, que altera a Lei nº. 9.394/1996 - Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), que insere o ensino de música na educação básica de forma obrigatória, mas não exclusiva nos currículos escolares. Este estudo pretende contribuir para que a inserção da música nas escolas seja feita de forma correta, propiciando ao público escolar a oportunidade de vivenciar esse aprendizado. Para isto, objetiva propor recomendações para a adaptação das salas já existentes e utilizadas para eventos, palestras e atividades musicais nas escolas da rede estadual. Foram utilizadas como amostra, as cinco diferentes tipologias de salas já existentes na rede estadual de educação básica de Santa Maria – RS que se caracterizam por formas arquitetônicas e construtivas definidas nas décadas de 70, 80 e 90. Foram coletadas informações sobre dimensões, geometria e materiais, objetivando avaliar as condições acústicas das salas. Avaliaram-se as características acústicas das salas, com e sem mobília, utilizando-se medidas da resposta impulso para determinação de parâmetros acústicos (ISO 3382/2009), para verificar a qualidade acústica (clareza dos sons musicais) e a inteligibilidade da fala. Esses parâmetros acústicos são o Tempo de Reverberação, Tempo de Decaimento Inicial, Clareza, Definição e Índice de Transmissão da Fala. Os resultados da avaliação mostraram tempos de reverberação e parâmetros acústicos das salas inadequados para a música. Houve a determinação, através de ensaios em câmara reverberante (ISO 354/ 2003), da absorção sonora de classes, cadeiras, mochilas e outros objetos comuns em salas de aula. Também mostraram que o mobiliário tem grande influência no comportamento da absorção da sala, alterando os resultados experimentais quando realizados com a sala mobiliada. Porém não significa ser uma solução para as condições acústicas das salas estudadas, mas sim uma orientação para possíveis modificações das salas, seus materiais e mobília. Sendo assim, foram propostas recomendações para a adaptação das salas já utilizadas para eventos, palestras e atividades musicais nas escolas da rede estadual, cumprindo com o objetivo proposto.

Palavras-chave: Acústica de Salas. Parâmetros Acústicos. Ensino da Música.

ABSTRACT

Masters Degree Dissertation
Graduate Program in Civil Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

CHARACTERIZATION OF ACOUSTIC CONDITIONS OF CLASSROOMS FOR THE TEACHING OF MUSIC IN BASIC EDUCATION

AUTHOR: CLAUDIA ROGERIA GAIDA
ADVISOR: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Date and Location of Defense: Santa Maria, 31 de agosto de 2012.

The acoustic inadequacy in an environment for teaching and study of music can trigger problems in the process of learning music, because the music content or the speech itself, can be modified, creating possibilities of erroneous adaptations to inadequate conditions. Because of this, there is concern with the implementation of Law nº. 11 769/2008 that amends Law no. 9.394/1996 - Law of Guidelines and Bases of Education (LDB), which inserts the teaching of music in primary education on a mandatory way, but not exclusive in the school curriculum. This study aims to contribute to the integration of music in schools so that it can be done correctly, providing to the public school the opportunity to experience this learning. Therefore, it aims to propose recommendations for the adaptation of the existing rooms events, lectures and musical activities in the schools of the state. It was used as a sample, five different types of rooms existing in the state of basic education in Santa Maria - RS which are characterized by architectural forms and construction set in the '70s, '80s and '90s. We collected information on dimensions, geometry and materials, having as goal, to evaluate the acoustics of the rooms. We evaluated the acoustic characteristics of the room, with and without furniture, using measures to determine the impulse response of the acoustic parameters (ISO 3382/2009), of verify the acoustic quality (clarity of musical sounds) and the speech intelligibility. These acoustic parameters are the Reverberation Time, Decay Time Initial, Clarity, Definition and Speech Transmission Index. The evaluation results showed the reverberation times and acoustic parameters of the rooms to be unsuitable for music. There was a determination, through trials in reverberation room (ISO 354/2003), of the sound absorption of classes, chairs, backpacks and other common objects in classrooms. This a showed that the furniture has great influence on the behavior of absorption of the room, changing the experimental results when performed with the furnished room. But does not mean to be a solution to the acoustics conditions of the rooms studied, but rather a guide to possible modifications of the rooms, materials and furnishings. Thus, recommendations were proposed to the adaptation of the rooms now used for events, lectures and musical activities in the schools of the state, fulfilling the proposed objective.

Key-words: Acoustic room. Acoustic Parameters. Teaching of Music.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa e problema abordado	14
1.2 Objetivo geral	15
1.3 Objetivos específicos.....	15
1.4 Estrutura da pesquisa.....	16
2 O ENSINO DA MÚSICA NO BRASIL	18
2.1 A Lei nº. 11.769 de agosto de 2008.....	20
2.2 Sala de aula.....	21
3 ACÚSTICA DE SALAS	24
3.1 Propagação dos sons em recintos fechados	24
3.2 Condicionamento acústico	29
3.3 Reverberação	32
3.4 Avaliação da qualidade acústica de salas de aula para fala e música	34
3.4.1 ÍNDICES OBJETIVOS DE QUALIDADE SONORA	37
3.4.2 ATRIBUTOS SUBJETIVOS DE QUALIDADE SONORA.....	40
3.5 Parâmetros acústicos estudados na análise das salas.....	41
3.5.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO	41
3.5.2 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL.....	47
3.5.3 CLAREZA	48
3.5.4 DEFINIÇÃO	49
3.5.5 ÍNDICE DE INTELIGIBILIDADE DA FALA	50
4 MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 Amostra/população	52
4.2 Conhecimento das condições acústicas de salas	56
4.2.1 LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DAS SALAS	57
4.2.2 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS EM SALAS.....	57
4.3 Absorção sonora dos objetos comuns nas salas de aula.....	59
4.3.1 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA.....	59
4.3.1.1 Descrição do ambiente de ensaio	61
4.3.1.2 Descrição da amostra.....	62
4.3.1.3 Valores de referência para análise.....	64
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	66
5.1 Levantamento das condições físicas das salas	66
5.1.1 SALA DE EVENTOS (S1)	67
5.1.2 SALA DE EVENTOS (S2)	68
5.1.3 SALA DE VÍDEO (S3)	69
5.1.4 SALA DE VÍDEO (S4)	70
5.1.5 SALA DE VÍDEO (S5)	71
5.2 Verificação dos parâmetros acústicos em salas.....	72
5.2.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO	74
5.2.2 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL	76

5.2.3 CLAREZA.....	77
5.2.4 DEFINIÇÃO.....	79
5.2.5 INDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA	80
5.3 Verificação dos TR considerando os objetos comuns em sala	81
5.4 Considerações acústico e arquitetônica das salas.....	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6.1 Recomendações para as salas destinadas ao ensino da música	89
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICES.....	95
Apêndice A – Planta Baixa das cinco salas estudadas de tipologia Polivalente (S1), Industrial (S2), Projeto Próprio (S3), Nova Escola(S4) e CIEP (S5)	96
Apêndice B – Resultados das medições em câmara reverberante dos tempos de reverberação de objetos comuns em salas de aula e os respectivos valores calculados da absorção sonora de cada um destes objetos, verificados em banda de 1/3 de oitava	101

1 INTRODUÇÃO

A história da educação no Brasil conta com um registro histórico de grande relevância no ano de 2012: o final do prazo para a implementação da Lei nº. 11.769 de 18 de agosto de 2008, que altera a Lei nº. 9.394 de 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) inserindo o ensino de música na educação básica, passando esta a fazer parte dos currículos escolares de forma obrigatória, mas não exclusiva.

A busca pelo conhecimento é inerente ao indivíduo, considerando-se qualquer período ou estrutura social na linha de tempo das civilizações. E neste contexto, não se pode negar, a música sempre atuou como meio de expressar sentimentos e pensamentos, contribuindo para a preservação da cultura da humanidade.

O Brasil, em toda sua trajetória na área da educação, viveu várias experiências de implantação de modelos de educação musical sempre à disposição das mais diversas mudanças no sistema político educacional, submetido a situação política do país. Atualmente, o que ficou desse processo, são lacunas, que em seu entorno são preenchidas com propostas de inserção da educação musical dos jovens como parte de um processo social em escolas, muitas vezes dificultado por divergências de concepções. E mais, considerando a vanguarda das novas tecnologias, surge o fator adaptação às inovações tecnológicas, o que *à priori* poderia ser considerado como um percalço no processo de inserção da educação musical na população escolar, pois estaria ligada a inevitável capacitação específica dos educadores, gerando despesas para o setor público e extrapolando prazos previstos para a implantação da lei em questão.

A inserção do ensino da música nas escolas vai depender do empenho dos dirigentes e educadores e também da elaboração de propostas para a organização dos espaços para este aprendizado. Essa organização dos espaços deverá contemplar duas situações diferenciadas, os recintos fechados (salas de aula) e ao ar livre (pátios das escolas ou outros).

A primeira situação, a das salas de aula, contempla a construção de novos espaços ou a adequação dos já construídos, devendo considerar para tal, valores e procedimentos sugeridos em normas e empregar conhecimentos sobre condicionamento físico de ambientes, objetivando observar o conforto acústico e a

qualidade das aulas de música neles ministradas. Relevante também é a segunda situação, as aulas ao ar livre, onde a preocupação está voltada para o ruído da própria população escolar e também no ruído gerado pela comunidade vizinha à escola, compreendendo tráfego, fábricas, comércio, ruído social, ou seja, todo o produto da urbanização.

A tarefa de adequar as instituições de ensino à nova realidade de inserção do ensino da música nas escolas, infelizmente de forma coercitiva, tem seu lado positivo, que é o real exercício da interdisciplinaridade, envolvendo, educadores, gestores, engenheiros, arquitetos e outros. E o mais importante, criando um vínculo entre comunidade escolar e pesquisadores, oportunizando a materialização do pensar científico, usando a tecnologia como meio de melhorar a qualidade das mais diversas atividades dos indivíduos, quer físicas ou intelectuais. É neste contexto de busca de soluções práticas que se destaca o empenho de pesquisadores em minimizar problemas acústicos em ambientes fechados, como salas de aula ou de música, bem como atenuar os efeitos do ruído em ambientes abertos.

O projeto acústico de espaços destinados ao ensino e aprendizagem de música está vinculado ao uso do espaço, para música ou fala, ou os dois simultaneamente, por isso é preciso definir qual a prioridade: se a qualidade da música ou a compreensão da palavra. Cada vez mais se especificam os estudos na área da acústica, com o objetivo de controlar os efeitos causados pelos problemas acústicos em salas fechadas e controlar os efeitos sobre o meio ambiente.

A inadequação acústica em um ambiente destinado ao ensino e estudo da música pode desencadear problemas no processo de aprendizagem musical, pois os conteúdos musicais ou a própria fala, podem ser modificados, criando possibilidades de adaptações errôneas às condições inadequadas.

Os critérios de avaliação da qualidade acústica dos espaços escolares para o ensino da música deverão considerar as especificidades da arquitetura e as diversidades culturais no que se refere à música nas diferentes regiões do Brasil.

Este estudo pretende contribuir para que a inserção do ensino da música nas escolas seja feita de forma correta, propiciando ao público escolar a oportunidade de vivenciar o aprendizado da música. Ele está inserido no Programa Pró – Cultura, promovido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pesquisadores de Ensino Superior e pelo Ministério da Cultura (CAPES/MINC) (edital nº. 07/2008), sob a denominação de ABRAMUS Arquiteturas para um Brasil musical - Rede de estudos

em adequação dos espaços escolares para ensino e aprendizagem da música, com destaque às escolas de nível fundamental, sendo esta rede formada por: uma instituição líder, a Universidade Federal do Paraná (UFPA) e três participantes, a Escola de Música e Belas Artes do Paraná (EMBAP), a Universidade Federal do Paraná (UFPA) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Os objetivos estabelecidos pelo programa Pró – Cultura pretendem reunir pesquisadores do norte e do sul do Brasil, com a finalidade de apoiar tecnicamente atividades culturais, a partir da articulação entre a engenharia, a arquitetura, a educação e a música; identificar padrões, na literatura e na prática de ensino de música no Brasil, de arquitetura para ensino e estudo da música, preenchendo as lacunas existentes entre a acústica de salas de concerto e a acústica de salas de aulas, ambos os assuntos frequentemente estudados e desenvolver diretrizes para construções de novos edifícios e adaptação dos existentes quanto a espaços de ensino e estudo da música, popular e erudita, vocal e instrumental, considerando as especificidades da música e da arquitetura brasileira.

Sabe-se que a qualidade acústica de um ambiente, como por exemplo, uma sala de aula, é definida por distintos parâmetros acústicos, segundo o tipo de mensagem sonora. Além disso, as exigências na percepção de uma mensagem oral (palavra falada) ou musical variam de acordo com a diversidade das fontes sonoras. Outras considerações fundamentais para o controle e a otimização das condições acústicas de salas de aula são: a intensidade da fonte, o ruído de fundo e a reverberação (BERANEK; VÉR, 2006). Do ponto de vista da audição musical, a qualidade acústica de uma sala tem como parâmetros fundamentais a clareza, a reverberação e a sua impressão espacial. (LLINARES; LLOPIS; SANCHO, 1996).

Este estudo apresenta uma descrição das características arquitetônicas de cinco salas de aula destinadas ao ensino da música em escolas de educação básica da rede estadual de Santa Maria/RS e avalia os parâmetros acústicos derivados da medição da resposta impulso de acordo com recomendações da norma ISO 3382 (2009), tais como: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

Descreve também a sequência das medições em câmara reverberante, dos tempos de reverberação de objetos comuns em salas de aulas, com o objetivo de determinar os coeficientes de absorção sonora de cada um dos objetos que fazem parte do ambiente das salas de aula das escolas de educação básica, contribuindo

para a identificação das condições acústicas dos espaços destinados ao ensino e aprendizagem de música nas escolas. Essas medições feitas em câmara reverberante seguiram os procedimentos especificados na norma ISO 354 (2003).

Na sequência, trata de compilar os resultados e analisá-los propiciando que a partir dessa análise se conheça as reais condições acústicas da amostra de salas pertencentes às tipologias de escolas estaduais de Santa Maria e assim ter o maior número de informações possíveis para propor recomendações relacionadas às questões acústicas para adaptação das salas estudadas.

No que se refere à educação, é importante destacar que projetos isolados têm grandes dificuldades em consagrar seus objetivos, faz-se necessário priorizar ações conjuntas, como o que está acontecendo no Pró – Cultura, pois assim, várias áreas do saber estão interligadas buscando maximizar a qualidade do produto final oferecido aos indivíduos, que neste caso é o ensino e aprendizagem da música nas escolas de educação básica.

1.1 Justificativa e problema abordado

A aprendizagem da música contribui para a formação integral dos indivíduos, tema este presente em toda a história da educação do Brasil, apesar dos percalços que marcaram sua trajetória. Neste momento, com a implementação da Lei nº. 11.769 de 18 de agosto de 2008 que insere a música nos currículos escolares, a educação brasileira vive um momento único que vai modificar mais que a estrutura curricular da educação básica, inserirá a rotina do estudante um novo modelo de comportamento, pois a música qualifica o indivíduo como ser social. Desta forma, é preciso que os pesquisadores busquem aprimorar o contexto referente a essa nova realidade, destacando, como é o tema deste projeto, a qualidade do ambiente acústico das salas para o ensino e aprendizagem da música.

A obrigatoriedade do ensino da música nas escolas implica em várias adequações que incluem a aquisição de recursos materiais, a contratação de professores qualificados ou capacitação para esta atividade e também a adequação dos espaços físicos e arquitetônicos, sendo esta uma condição indispensável para a qualidade da educação musical dos estudantes.

Os espaços destinados ao ensino e aprendizagem da música nas escolas de educação básica geralmente são espaços não exclusivamente destinados a este fim. São salas de aula que em sua grande maioria, atendem minimamente as condições necessárias para um ambiente adequado de aprendizagem. Outra questão de relevância é a influência ruidosa do ambiente externo às salas de aula, tanto salas adjacentes, corredores, pátios e entorno das escolas.

O ensino e a aprendizagem da música formam um complexo sistema que integra *ambiente* e *indivíduo*. O ambiente configura o plano de fundo, participando como um conjunto de espaço físico e arquitetura, composto por formas e materiais, que em sua diversidade de características pode contribuir ou não para a qualidade acústica desses espaços. O indivíduo participa como agente emissor – transmissor - receptor, usando para isso sua capacidade perceptiva e a sensibilidade de seu corpo, através da voz ou dos sons dos instrumentos.

Com a inserção da música nas escolas de ensino básico, como consequência da aprovação da Lei nº. 11.769/08 faz-se necessário adaptar de forma correta o ambiente acústico das salas existentes para o ensino e aprendizagem da música, antes que educadores e alunos o façam de forma inadequada. Sendo assim este estudo buscou responder ao seguinte questionamento: *Como organizar os espaços existentes nas escolas de ensino básico destinados ao ensino da música, buscando o melhor em qualidade acústica, priorizando o uso que será dado aos mesmos?*

1.2 Objetivo geral

Caracterizar as condições acústicas de salas de aula destinadas ao ensino da música na educação básica.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Conhecer as condições acústicas de salas para o ensino da música em escolas de educação básica da rede pública estadual do Rio Grande do Sul;
- Organizar um Banco de Dados, com valores experimentais, da absorção sonora de objetos comuns em salas para o ensino da música;
- Analisar nas salas de aula existentes para o ensino da música, as condições acústicas encontradas, considerando revestimentos e composição dos elementos comumente encontrados em salas de aula.

1.4 Estrutura da pesquisa

Para cumprir com os objetivos propostos, este estudo se desenvolveu de acordo com a estrutura apresentada na figura 1.1.

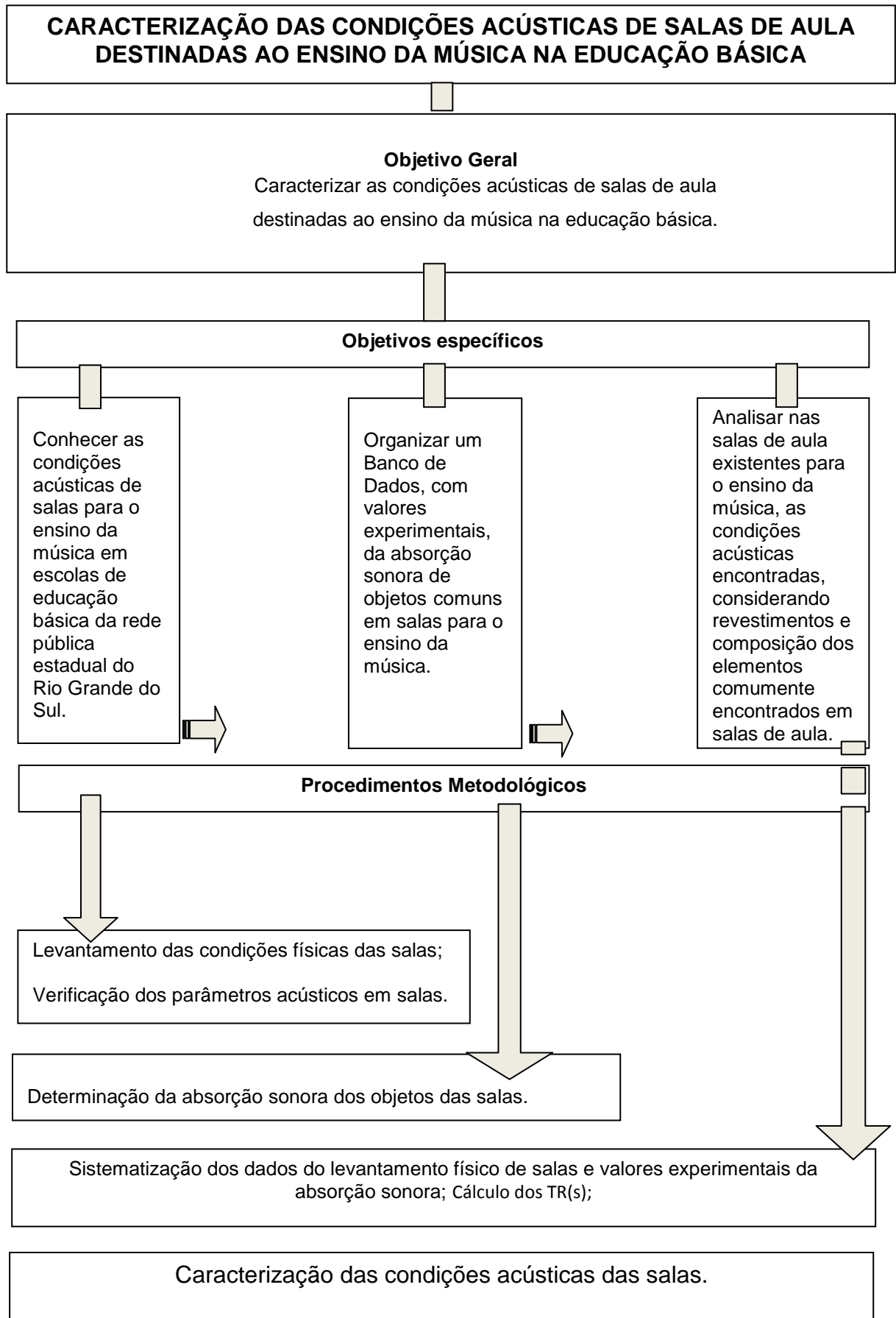


Figura 1.1– Estrutura da pesquisa.
Fonte: Autora.

2 O ENSINO DA MÚSICA NO BRASIL

No início do século XIX o ensino da música no Brasil estava longe de ser considerado como uma “educação musical” era bem melhor caracterizada como um processo de iniciação musical e seguia o rígido modelo do conservatório de Paris. Ainda nos primeiros dez anos do século XIX, surgem as primeiras ideias da Escola Nova, onde o ambiente escolar permitia que experiências reais do cotidiano fossem vivenciadas, contando com Anísio Teixeira para firmar essas ideias através de suas publicações. Anísio Teixeira, enquanto diretor de instrução pública do Distrito Federal de 1931 a 1935, que na época tinha sede no Rio de Janeiro, defendeu uma proposta arquitetônica que na verdade manifestava uma nova concepção das práticas escolares (MARTINS, 1992).

O Brasil chega até o final dos anos 20 em meio a um cenário de discussões e desentendimentos sobre o real significado de educação musical. Mas é neste período que ideias relacionadas à percepção começam a se inserir nas instituições de música desvinculadas do ensino oficial. Pode-se dizer que assim inicia-se uma longa trajetória em busca do verdadeiro conceito de aprendizagem da música.

Na década de 30, o compositor Villa-Lobos conduzido por uma política educacional nacionalista e autoritária da ditadura de Vargas, importa um novo modelo francês denominado “O Orfeão”, que por uma década passa a vigorar nas escolas brasileiras com a finalidade de incutir o sentimento cívico de disciplina, o senso de solidariedade e de responsabilidade no ambiente escolar. Modelo que segundo Raimundo Martins (1992) causou graves implicações político – históricas que aproximadamente meio século depois, ainda demonstrava suas repercussões.

O canto Orfeônico que contemplava o ensino público, não alcançou o sucesso que objetivava, mas Villa-Lobos no decorrer das décadas de 30 e 40 empenhou-se ao máximo para socializar o ensino da música através da prática do canto coral nas escolas, fundamentado nos trabalhos realizados por grandes educadores musicais da Europa do início do século.

As propostas de novos modelos para a prática pedagógica musical nas escolas eram diversas e o país se insere em um período de transformação que permanece até 1945, período em que o Brasil inicia uma fase de redemocratização.

O período compreendido entre 1964 e 1971, embora sem um modelo satisfatoriamente definido para o ensino da música, permitiu que o Brasil vivenciasse em suas escolas a chamada “Educação Musical”, destinando de alguma forma um espaço para a música em seus currículos, inserida nos conteúdos programáticos da arte, sem garantias oficiais de obrigatoriedade em todo o país.

Já o ano de 1971 marca de forma bastante negativa a educação musical, pois ocorre a reforma do ensino e fica definido na Lei nº. 5.692, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN ou LDB) que a música, assim como outras disciplinas relacionadas às artes e desenho ficariam dentro da disciplina de Educação Artística, passando a ser considerada uma atividade e não uma disciplina.

Como consequência o ensino da música se enfraquece e deixa a escola pública, permanecendo até a década de 90 quase exclusivamente em escolas especializadas. Foi necessário quase uma década de debates para a elaboração do texto que continha as novas regras para a conduta do ensino de música da educação básica do Brasil, culminando com a aprovação da Lei nº. 9.394, LDB de 1996, que insere novamente as artes nos currículos escolares com prazo de adaptação até 2006.

A elaboração da Lei nº. 9.394 de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) se estendeu de dezembro de 1988 até dezembro de 1996 para ser concluída, deixando ainda obscura a questão do ensino da música, quando estabelece o ensino da arte como componente curricular obrigatório.

Embora novamente inserida nos currículos, o longo tempo de ausência da música nas práticas escolares deixou as marcas registradas nos bancos escolares, porém em espaços alternativos. A música migrou da educação para a cultura, os projetos culturais de cunho social ganharam espaço, organizados pelos mais diversos setores públicos ou privados, permitindo que a música mantivesse sua presença no cenário nacional (FONTERRADA, 2007).

Continuaram as discussões relacionadas à obrigatoriedade da educação musical na escola básica, sendo que em 2007 foi aprovado o projeto de Lei do Senado, alterando o Artigo 26 da Lei nº. 9.394 de 1996 acrescentando alguns parágrafos que estabelecem a música como conteúdo obrigatório mas não exclusivo do componente curricular em questão, finalizando assim em agosto de 2008 o processo de aprovação da Lei nº. 11.769.

Na opinião de Penna (2008), todo o processo de reivindicação para inclusão da música na LDB de forma obrigatória nos conteúdos que culminou com a aprovação da Lei nº. 11.769 de 2008, desconsidera tanto o processo de construção dessa lei quanto às condições reais diferenciadas das escolas.

2.1 A Lei nº. 11.769 de 18 de agosto de 2008

A Lei nº 11.789 de agosto de 2008 dispõe sobre a inserção do ensino de música na educação básica, tornando-o obrigatório, mas não exclusivo nos currículos escolares, não com o objetivo de formar músicos, mas sim desenvolver a integração dos alunos. Quando o texto se refere à não exclusividade da música, significa que ela deverá se inserir no ensino de arte, logicamente que este fato remete ao fato de que o grupo de trabalho deverá ser multidisciplinar, sendo necessário um professor de música.

Ainda não está definido em quais séries da educação básica serão ministradas as aulas de música. Tampouco fica estabelecida a carga horária, ou os conteúdos que serão exigidos. Sabe-se que a LDB privilegia a flexibilidade do ensino e que ainda deverão ser consideradas as diferenças culturais das regiões, contribuindo para que o ensino de música permita que sua adaptação seja feita com muita criatividade e liberdade de escolha.

O Ministério de Educação e Cultura (MEC) recomenda que sejam partes do conteúdo ministrado, as noções básicas de música, dos cantos cívicos nacionais e dos sons dos instrumentos de orquestra, e contemplando as diversidades culturais, devem ser ensinados os cantos, os ritmos e os sons dos instrumentos folclóricos.

Para a preservação das culturas regionais do país e para garantia de sucesso e continuidade do processo de inserção do ensino de música nas escolas, a diversificação de modalidades nos conteúdos é um aspecto positivo e indispensável, porém torna complexa qualquer proposta de adaptação das estruturas físicas e ambientais dos espaços escolares em busca da qualidade do ambiente acústico para o ensino e estudo da música.

No caso do presente estudo, que pretende contribuir para a qualificação acústica dos ambientes de ensino e aprendizagem, faz-se necessário destacar que

o ensino da música vai atender as especificidades da música e da arquitetura brasileira e com relação aos currículos, é clara a diversidade de conteúdos programáticos e metodologias, devido ao fato que a LDB privilegia a flexibilidade do ensino, deixando as arestas livres para estudos que beneficiem *ambientes fechados* (salas de aula) e *ao ar livre* (pátios das escolas ou outros). Neste estudo específico, foi dada ênfase aos ambientes fechados, ou seja, as salas de aula existentes, considerando ainda que estas não tenham uso exclusivo para as aulas de música, mas sim de uso comum a todas as atividades escolares cotidianas.

2.2 Sala de aula

A configuração da sala de aula é muito antiga e traz ao longo dos tempos traços hierárquicos e dominantes de épocas em que o ambiente escolar representava unilateralmente a hegemonia do saber de poucos que ali estavam para impor o conhecimento.

Atualmente, após um longo processo de socialização do saber, construído através das trocas de experiências e liberdade de expressão, ainda a sala de aula permanece intacta, como cerne do processo educacional, com pouca ou quase nenhuma evolução em suas características arquitetônicas, considerando ainda, o processo omissivo de escolha e caracterização dos espaços para construção das escolas e a definição de suas infra-estruturas, tanto econômicas como tecnológicas ou até mesmo de engenharia.

Devem-se considerar também, as grandes diversidades existentes no país, como as relativas aos recursos socioeconômicos, contexto cultural, condições geográficas e climáticas que exigem uma abordagem de projeto que identifique os parâmetros fundamentais para a qualidade do ambiente (Brasil, 2006).

Segundo Paixão (1997), a sala de aula segue com suas ações centradas na relação professor - aluno, enfatizadas pela comunicação verbal, mesmo com os mais modernos meios de comunicação. A palavra continua como um dos mais significativos instrumentos para a transmissão de conhecimentos e troca de experiências.

A sala de aula é o espaço onde educador e estudantes permanecem a maior parte do tempo durante o período letivo. Preparar este espaço para que tenha a melhor qualidade para o fim ao qual está definido - ambiente ensino e aprendizagem - vai além de priorizar o projeto arquitetônico, as características ambientais, as especificações de materiais e outros. Faz-se necessário relacionar estes aspectos a conceitos elaborados de uso e usuário, ao projeto pedagógico e ter a consciência de tomar a melhor decisão para proteger o meio ambiente.

É imprescindível que professor, aluno e sala de aula, independente do uso, componham um ambiente equilibrado, favorecendo as ações pedagógicas e o pleno desempenho da aprendizagem. Esse equilíbrio está diretamente relacionado à qualidade ambiental e esta depende das condições térmicas, acústicas e de iluminação.

Falar e ouvir perfeitamente não garante a compreensão correta de uma mensagem, pois existem as influências externas que podem prejudicar ou facilitar a comunicação. Para Paixão (1997), o trabalho pedagógico fica enriquecido quando educadores e dirigentes educacionais possuem o conhecimento de conceitos, técnicas e possibilidade de qualificação do ambiente. Também quando o educador busca conhecer o local correto em que deve ficar em sala de aula para transmitir sua mensagem.

Deve-se considerar que a realidade da escola está cada vez mais difícil e barulhenta. Além dos ruídos gerados pela sua própria população escolar e todas as atividades provenientes destas, existe todo um contexto que permeia os ambientes construídos da escola, prejudicando o processo ensino-aprendizagem. A escola é uma instituição comunitária e nem por isto é privada de incômodos relacionados ao ruído no seu entorno, como as fábricas, o comércio e outros. Mas deve-se considerar que o ruído é uma consequência do progresso da era da máquina e é natural que, à medida que cresçam nossas cidades, a sua ação aumente proporcionalmente (SILVA, 2005).

São numerosas as providências que dizem regular os níveis de ruído urbano, a exemplo a Resolução nº1 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dando especificamente atenção aos incômodos comunitários e também diversas leis locais, estaduais e municipais que têm como fundamento normas nacionais e também a *International Standard Organization* (ISO).

Seria necessário adequar soluções que priorizassem benefícios à comunidade em geral, tentando cumprir com o estabelecido nas regulamentações. Para isso, seria necessário definir durante o projeto de implantação o melhor local para a construção das escolas e também o correto projeto e uso dos diversos ambientes escolares, preservando suas características de acordo com o uso para o qual se destinam.

Na prática, o progresso vai permeando barreiras e se instala, tentando encontrar soluções para os problemas emergentes, muitas vezes com propostas de adaptação do ambiente construído e seu entorno. Porém estas adaptações podem ser inadequadas às reais necessidades.

É de extrema relevância essa temática, pois em breve, com ou sem ruído, as escolas estarão vivendo a inserção da educação musical em suas salas de aula e também nos pátios escolares.

Considerando a Lei nº 11.769 de 18 de agosto de 2008, a qualidade das estruturas físicas e ambientais para a inserção do ensino da música depende, entre outras da qualidade acústica dos ambientes destinados a este ensino, conforme anteriormente mencionado. Deverá além de contemplar as diversidades culturais de cada região, considerar as diferentes modalidades em que as aulas serão ministradas, podendo simultaneamente contemplar música e canto.

De forma positiva, surge o constante interesse dos especialistas nesta área de acústica em obter soluções que controlem os efeitos sobre o meio ambiente e sobre os problemas acústicos nas edificações, buscando estabelecer métodos de avaliação das condições necessárias para um ambiente acusticamente adequado às atividades e ocupação indivíduo (TORO, 2005).

3 ACÚSTICA DE SALAS

A fundamentação teórica apresentada nesta seção traz a descrição de conceitos da acústica que auxiliaram na compreensão dos fenômenos característicos em sala de aula. Também esclareceu sobre os procedimentos experimentais realizados e as referidas recomendações apresentadas nas normas.

A acústica de salas trata especificamente do campo sonoro complexo gerado em ambientes fechados, buscando entender o comportamento do som nestes ambientes denominados de salas, priorizando para tal a definição do uso da mesma, considerando-se que as exigências acústicas das salas para a palavra são diferentes das exigências acústicas das salas para a música.

As salas poderão ser utilizadas para textos, exigindo a inteligibilidade da palavra. Quando o uso se der para a música, possivelmente com vários estilos musicais e instrumentos utilizados, a reverberação do ambiente é parâmetro acústico fundamental.

Outros parâmetros acústicos podem contribuir para a definição das condições acústicas da sala, também devem ser consideradas a forma e o tamanho da mesma e ainda, o número de pessoas dentro do ambiente e os elementos que fazem parte deste, considerados como objetos da sala, em quantidade e qualidade.

O caso desta pesquisa refere-se ao uso das salas tanto para a palavra quanto para a música, portanto deve-se a esta, um estudo mais detalhado a fim de alcançar a qualidade acústica para os dois casos.

3.1 Propagação dos sons em recintos fechados

As flutuações de pressão em um meio compressível caracterizam o som, sendo necessário que a amplitude e a frequência destas flutuações pertençam a determinado intervalo de valores, para que ocorra a sensação de audição no ouvido humano. Para Carvalho (2010, p.25), “som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante, passível de ser detectada pelo ouvido humano”. A

onda sonora é o resultado das oscilações de moléculas do meio de propagação em torno de suas posições de equilíbrio.

A onda sonora possui qualidades que servem para caracterizá-la, logo podemos distinguir em um som a altura, a intensidade e o timbre. A altura está relacionada à sequência das vibrações sonoras, permitindo identificar se um som é agudo ou grave. A intensidade sonora diz respeito à amplitude da onda sonora, caracterizando a variação de pressão no meio onde se propaga e é medida pela potência sonora propagada por unidade de superfície (intensidade energética). Já o timbre está diretamente relacionado à composição harmônica da onda sonora, isto é, a sua forma, permitindo a identificação da procedência do som, se emitido por pessoa ou por instrumento musical (COSTA, 2003).

A pressão em um meio elástico gera oscilações cíclicas de pressão-depressão, em intervalos de tempo maiores ou menores, que são os períodos. A razão entre o número de oscilações e a unidade de tempo (segundos), é a frequência expressa em Hertz (HZ), possibilitando a classificação das ondas sonoras (quadro 3.1).

Onda sonora	Frequência	Percepção
Infrassons	Abaixo de 20 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas frequências	20 a 200 Hz	Sons graves
Médias frequências	200 a 2.000 Hz	Sons médios
Altas frequências	2.000 a 20.000 Hz	Sons agudos
Ultrassons	Acima de 20.000 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Quadro 3.1 – Classificação das ondas sonoras quanto à frequência.

Fonte: Régio P. Carvalho, 2010.

Devemos considerar que, para que exista a sensação da audição, além do som estar em um intervalo de 20 a 20.000 oscilações por segundo, é preciso que ele tenha intensidade sonora, ou seja, quantidade de energia transmitida pela onda sonora (W) por unidade de superfície normal à direção dessa onda (S) em Watt/cm^2 . A pressão que resulta da emissão de energia acústica na maioria das fontes sonoras pode ser considerada pequena. Os instrumentos musicais geralmente têm potência

sonora maior que a voz humana. O quadro 3.2 relaciona a potência da voz humana com a de alguns instrumentos musicais e com o automóvel (SILVA, 2005).

Potência Sonora Média (W)	Valor (WATT)
Voz de mulher	0,002
Voz de homem	0,004
Clarineta	0,05
Piano	0,27
Trombone	6,00
Tambor (surdo)	25,00
Orquestra	70,00
Automóvel a 70 Km/h	100,00

Quadro 3.2 – Relação potência da voz humana e alguns instrumentos musicais.
Fonte: Pérides Silva, 2005.

É importante considerar a relação existente entre as ondas sonoras e as sensações que elas causam nos ouvintes. Segundo Silva (2005), existem dois conceitos significativos para a palavra som. O primeiro o conceitua como uma perturbação física (vibração) que percorre um meio qualquer de propagação, podendo ser percebida pelo tato ou pela visão. No segundo conceito, o som é uma sensação sonora, psicofisiológica, captada pelo ouvido humano normalmente propagado através do ar.

Silva (2005) conceitua de onda primária (som direto) aquela que parte diretamente da fonte e caminha dentro do ambiente, e onda secundária (primeiras reflexões) aquela que atinge paredes, teto e piso a sua volta (Figura 3.2). Durante a propagação, a energia da onda sonora sofre uma atenuação, que é devida ao próprio meio onde ela incidiu (Figura 3.3).

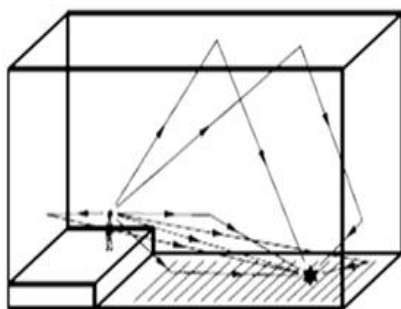


Figura 3.2 – Onda sonora primária e secundária em ambiente fechado.
Fonte: Barron, 2010.

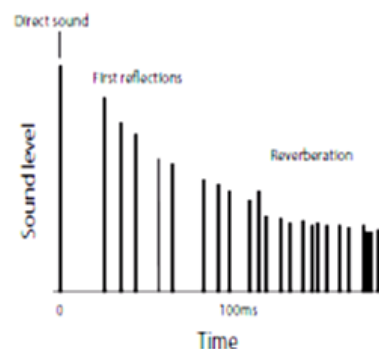


Figura 3.3 – Som direto, primeiras reflexões e som reverberante.
Fonte: Barron, 2010.

As primeiras reflexões, claras e distintas, oriundas de várias direções, são aquelas que chegam ao ouvinte imediatamente após a emissão do som direto pela fonte sonora. Consideram-se os 80 ms iniciais de um som, contados desde a chegada do som direto ao ouvinte e logo após iniciam-se as reflexões provenientes do local (BERANEK, 1996). Ainda para este autor, as primeiras reflexões laterais aumentam a largura aparente da fonte e melhoram a qualidade sonora da sala.

Mannis (2008) acrescenta que as reflexões laterais contribuem para que a imagem sonora formada no ouvinte melhore a qualidade de percepção espacial, que é importante característica utilizada nos critérios de avaliação da estereofonia. Já as reflexões posteriores, estão em campo difuso e são menos claras ao ouvinte, ou seja, mais embrulhadas e homogêneas, caracterizando a reverberação.

Quando uma frente de onda atinge a parede de uma sala ou um obstáculo qualquer nela existente, uma parte da energia incidente é refletida, outra parte é dissipada por este obstáculo sob a forma de energia mecânica ou calorífica e a parcela restante dessa energia é transmitida através do meio adjacente, ou seja, passa para o outro lado do obstáculo (Figura 3.4).

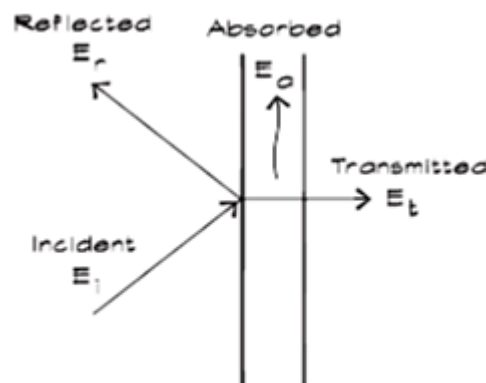
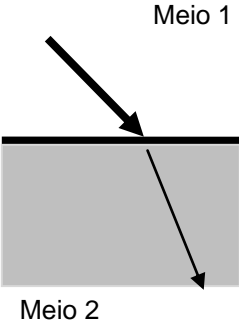
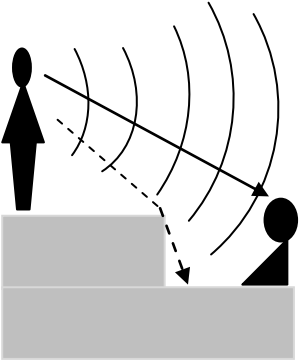
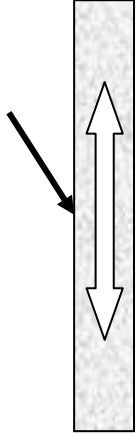
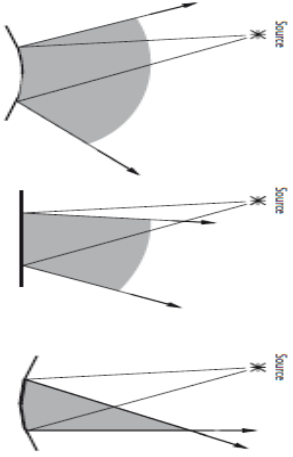


Figura 3.4 - Comportamento da frente de onda ao atingir uma parede ou obstáculo de uma sala.

Fonte: Long (2006)

O som precisa de um meio material para se propagar e quando este fenômeno ocorre, as ondas sonoras originadas de uma fonte sonora dentro de um recinto podem ser **refratadas, difratadas, absorvidas ou refletidas** quando encontram um meio diferente (quadro 3.3).

Refração	Difração	Absorção	Reflexão
			 <p data-bbox="1002 842 1449 900">Superfície convexa, plana e côncava. Fonte: Barron (2010).</p>

Quadro 3.3 - Ondas sonoras **refratadas, difratadas, absorvidas ou refletidas**.

Fonte: compilado pela autora.

No caso da energia ser transmitida através do meio adjacente, o fenômeno é chamado de refração. Este fenômeno significa a mudança de direção que a onda sonora sofre quando passa de um meio de propagação para outro e ocorre devido a diferença de velocidade de propagação dos meios. A intensidade da refração depende de haver uma pequena ou grande diferença de temperatura nas camadas da atmosfera (CARVALHO, 2010).

A difração do som, segundo Carvalho (2010), é a propriedade que a onda sonora possui de transpor obstáculos posicionados entre a fonte sonora e o receptor, mudando sua direção e reduzindo sua intensidade.

A energia sonora é dissipada no meio sob a forma de calor e assim se comporta devido à absorção deste meio (ar ou materiais diversos), podendo ser medida através do coeficiente de absorção (α) (HENRIQUE, 2002; SILVA, 2005; BARRON, 2010).

Silva (2005) acrescenta ainda que para uma determinada temperatura, a capacidade do ar de absorver os sons, é função da sua umidade relativa. Então para uma determinada frequência, quanto menor a umidade relativa, maior será a perda para uma distância prefixada. Influem também na atenuação do som, a viscosidade

do ar, os coeficientes de transmissão de calor ou de radiação e a capacidade de absorção molecular.

No que diz respeito à absorção dos materiais, esta depende da frequência do som. Portanto a quantidade de som reverberante e o tempo de reverberação dependem também da frequência.

Uma onda sonora isenta de reflexões secundárias, atinge uma superfície uniforme e relativamente grande em relação ao seu comprimento de onda, ocorre então o fenômeno de reflexão, ou seja, parte dessa onda volta para o ambiente e este se assemelha à reflexão da luz ao encontrar um obstáculo plano ou rígido (HENRIQUE, 2002; SILVA, 2005). Carvalho (2010) complementa que na reflexão o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

Silva (2010) diz que as superfícies côncavas tenderão a convergir os raios, assim como as convexas o difundirão. Como as superfícies convexas são difusoras, podem ser usadas nos ambientes onde se exige boa audibilidade.

Os sons refletidos como consequência do ambiente fechado, dão origem ao fenômeno da reverberação que influencia na distribuição do som neste ambiente mesmo quando cessada a emissão do som. De Marco (1940) já fazia na época três considerações a este respeito, a primeira é que o espectro do som reverberante não coincide com o do som direto, pois a absorção dos materiais é seletiva com relação à frequência. A segunda diz que a distribuição espacial do som não é homogênea, uma vez que os materiais absorventes não são distribuídos homogeneamente no ambiente. E a terceira, é que o som reverberante persiste certo tempo no local, depois da fonte deixar de emitir som.

Essa consideração é relevante, pois se a reverberação persistir muito tempo depois da extinção do som direto, a clara percepção do som será perturbada, bem como a inteligibilidade do discurso. Já se o som desaparecer imediatamente, quando extinto o som direto, a audição será dificultada em pontos afastados da fonte.

3.2 Condicionamento acústico

Todo o lugar destinado para a emissão e audição de mensagens sonoras, tem implícita a existência de uma cadeia de comunicação, composta por três

elementos básicos, emissor (fonte sonora), canal de transmissão (sala com suas características geométricas, físicas e as diversas vias de propagação do som) e receptor (ouvinte) (figura 3.5). Esta cadeia de comunicação deve cumprir com sua função como um sistema harmônico, buscando adequações relacionadas às condições físicas onde está inserida e preservando as características do receptor.

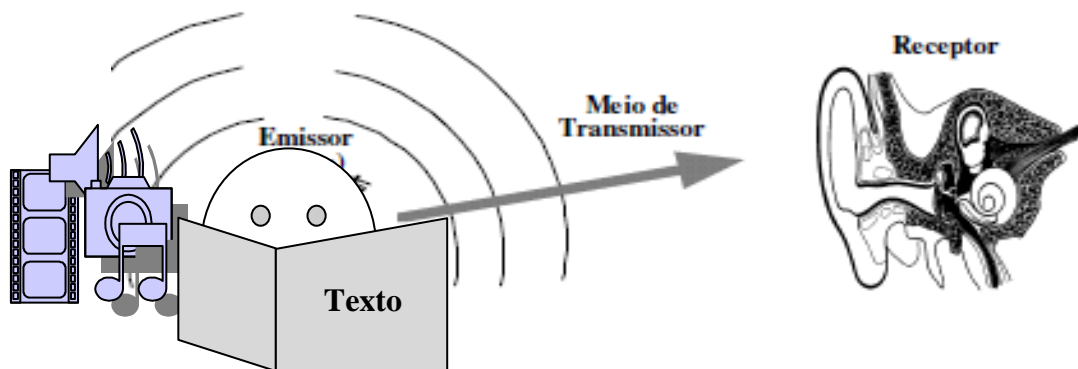


Figura 3.5 – Cadeia de comunicação: Emissor-Transmissor-Receptor.

Fonte: Compilado pela autora.

Condicionar acusticamente um recinto é tentar adaptá-lo para que ele tenha as melhores condições possíveis de audibilidade interna. Para Carvalho (2010) as providências fundamentais para o condicionamento de um recinto dizem respeito, primeiro à correção do tempo de reverberação do mesmo com base nos coeficientes de absorção acústica interna e em segundo, à promoção de uma boa distribuição dos sons gerados internamente pelas superfícies refletoras (e/ou absorventes) de sons, conforme geometria apropriada para o recinto.

Condicionamento acústico é o processo pelo qual se procura garantir em um recinto um tempo ótimo de reverberação, e se for o caso, também a boa distribuição do som (NBR 12.179, 1992). Este condicionamento tem embasamento em três teorias distintas para tentar solucionar problemas acústicos em recintos, a Acústica Geométrica, a Acústica Estatística e a Acústica Ondulatória (LLINARES; LLOPIS; SANCHO, 1996), conforme quadro 3.4.

Acústica Geométrica
<ul style="list-style-type: none"> • Analisa a distribuição do campo acústico em um recinto, para o som direto e as primeiras reflexões, mediante o traçado de raios; • Estuda a possibilidade da existência de ecos ou focalizações provocadas por determinadas superfícies da sala e define sua geometria adequada; • Este método se limita ao estudo da propagação retilínea e a reflexão especular, com limitações para sua utilização: <ul style="list-style-type: none"> 1ª O comprimento da onda sonora deve ser pequeno em relação às dimensões da sala e dos objetos nela presentes, caso contrário, pode ocorrer a difração; 2ª As dimensões do relevo e das superfícies devem ser inferiores ao comprimento de onda, caso contrário o som se reflete de forma difusa, 3ª A diferença de impedância entre o ar e o recinto deve ser grande para predominar o fenômeno da reflexão.
Acústica Estatística
<ul style="list-style-type: none"> • Avalia estatisticamente a energia acústica em seu conjunto; • Adequada depois de sucessivas reflexões, quando a energia acústica vai se atenuando, alcançando o estado estacionário de energia na sala, devido à absorção de energia acústica pelo meio, pelas superfícies do recinto; • Utilizada no estudo da reverberação.
Acústica Ondulatória
<ul style="list-style-type: none"> • Existem propriedades do campo acústico associadas ao seu caráter ondulatório, que não podem ser detectadas nem quantificadas através da acústica geométrica e que podem ser responsáveis por defeitos na acústica de uma sala; • Nas salas, que atuam como canal de transmissão do campo acústico, os modos naturais de vibração têm associadas às frequências próprias de vibração, que dependem da natureza, forma e tamanho do objeto suscetível de entrar em vibração, assim como suas condições de entorno; • Baseia-se na resolução da equação diferencial da onda acústica na sala, introduzindo suas condições acústicas de contorno. Esta resolução demonstra que cada região do espaço de uma sala representa um sistema vibrante em três dimensões

Quadro 3.4 – Teorias utilizadas no condicionamento acústico de recintos.

Fonte: Compilado pela autora, baseado em LLINARES; LLOPIS; SANCHO (1996).

Segundo a NBR 12.179 (1992), o desenvolvimento do tratamento acústico de recintos, considerando o condicionamento acústico desta, é feito pelo estudo geométrico-acústico do recinto e o cálculo do tempo de reverberação.

O estudo geométrico-acústico de teatros, cinemas, etc., examina plantas e cortes do recinto e leva em conta os materiais utilizados, considerando uma ou mais fontes sonoras previamente localizadas. Isso permite conhecer a distribuição dos sons diretos ou refletidos, buscando adequar as melhores condições de audibilidade. Também pode utilizar para isto, a superfície do teto ou paredes, propiciando um reforço sonoro, através de defletores (no caso de reflexão do som orientada) ou difusores (no caso de simples distribuição do som em todos os sentidos) (NBR 12.179, 1992).

A qualidade acústica é definida por distintos parâmetros, segundo o tipo de mensagem sonora, considerando que não são as mesmas exigências na percepção de uma mensagem oral (palavra falada), que na percepção de uma música, considerando ainda, as diversidades dos tipos musicais.

3.3 Reverberação

Deve-se ter cuidado para não usar o termo “reverberação” como um sinônimo de “tempo de reverberação”. Henrique (2002) explica que reverberação existe sempre que uma sala responde a uma excitação sonora, ou seja, é a maneira como a sala amplifica mais ou menos o som. Já o tempo de reverberação (TR), necessita ser medido e isso se dá através da medição do decaimento do som em 60 decibéis (dB), sem a interferência de outros sons quaisquer, ou seja, a partir do momento que a fonte sonora cessa sua emissão.

Considerando-se a qualificação acústica das salas, deve-se relevar o fato de que o conjunto de ondas reverberantes não coincide com o som direto e que materiais absorventes não têm distribuição uniforme nem homogênea dentro do recinto. Logo TR é um parâmetro fundamental, pois se após a extinção do som direto a reverberação persistir por muito tempo, isso poderá comprometer a inteligibilidade da fala e também a clareza na percepção dos sons.

A reverberação ocorre pelo prolongamento da emissão de uma fonte sonora em campo difuso, ou seja, em campo sonoro onde o som se propaga em todas as direções. O ambiente fechado deve possuir algumas características que favoreçam a ocorrência do fenômeno, como superfícies reflexivas e dimensões suficientes.

O ambiente fechado poderá ser considerado seco ou reverberante. Para Mannis (2008), um ambiente é considerado seco quando suas partições praticamente não produzem o retorno das ondas incidentes, como é o caso de uma câmara anecóica, onde paredes, teto e piso são totalmente absorventes, criando assim em seu espaço interno um campo livre. Já o ambiente é considerado reverberante quando nele ocorrem reflexões múltiplas, de forma difusa, das ondas emitidas pelas fontes sonoras, como é o caso de uma câmara reverberante ou uma grande catedral (figura 3.6).

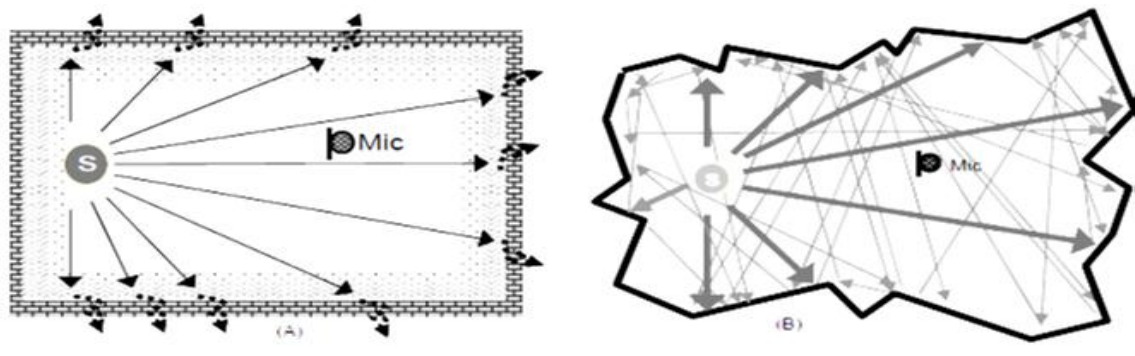


Figura 3.6 – Comportamento das ondas sonoras: (A) câmara anecóica, campo livre ou direto e (B) Câmara reverberante, campo difuso.
Fonte: Mannis (2008).

Um ponto no campo difuso possui a mesma probabilidade de receber uma frente de onda provinda de qualquer direção. O campo difuso é aquele que apresenta uma densidade de energia constante em qualquer ponto do seu interior. Para analisar o comportamento acústico de uma sala é necessário saber em qual faixa de frequência tem-se interesse de realizar a análise, pois tanto em baixa, média ou em alta frequência o comportamento difere entre ser difuso ou de modos normais.

A transição entre o comportamento de modos normais e o difuso dá-se quando dentro da banda de meia potência de um modo se possui dois outros

modos. Essa exata frequência de transição é chamada de Frequência de Schröder (f_s), relacionado ao tempo de reverberação e ao volume da sala.

A frequência de Schröder nos permite definir o tipo de comportamento acústico de uma sala em função da frequência (figura 3.7).

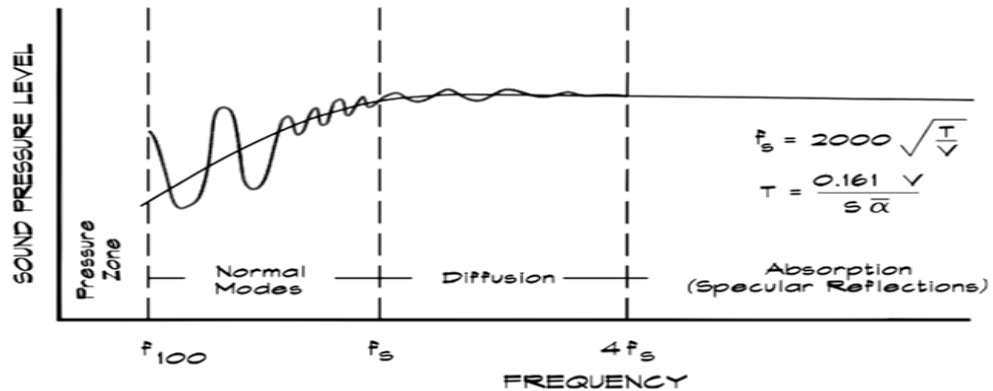


Figura 3.7 – Frequência de Schröder. V é o volume em m^3 e T é o TR, em s.
 Fonte: (Davis; Davis, 1987) Long (2006).

É importante não confundir reverberação com qualquer tipo de eco. Este, contrariamente a uma mescla difusa das reflexões, é a repetição discreta de um som emitido e pode ser distintamente perceptível.

3.4 Avaliação da qualidade acústica de salas de aula, para fala e música

A avaliação da qualidade acústica de salas de aula é um processo complexo, que envolve professor e aluno como um sistema fonte-receptor, invertendo papéis durante o processo de ensino aprendizagem, onde a palavra falada é o objetivo principal para estas práticas. Porém quando se trata do ensino e aprendizagem da música no mesmo ambiente onde são ministradas aulas de texto, a forma de avaliar fica muito mais complexa, visto que os instrumentos musicais vão estar inseridos no sistema da seguinte maneira: fonte (professor, aluno e instrumentos musicais)-receptor (professor, aluno).

Estes ambientes deverão manter a qualidade para a palavra falada e ainda buscar as melhores condições para as práticas de música, onde a variedade de instrumentos musicais e de métodos de ensino será parte integrante deste processo.

Vários são os estudos que têm como tema a acústica de salas de aula, ou seja, experimentos que buscam qualificar acusticamente salas destinadas ao discurso. Também são inúmeros os estudos que tratam da qualificação acústica de ambientes destinados à música, quer sejam grandes espaços abertos, ou salas fechadas de pequenas ou de grandes dimensões.

De fato, o mais importante antes de qualquer possibilidade de intervenção na acústica de ambientes é a definição do uso do mesmo. É importante destacar, o elevado grau de complexidade encontrado ao buscar a qualificação acústica de uma sala quando esta é utilizada tanto para o uso da fala como para o ensino e aprendizagem da música, principalmente quando se trata de um ambiente escolar de educação básica, onde a faixa etária e a infra-estrutura básica são condicionantes para a qualidade do aprendizado.

Vários são os parâmetros que podem avaliar a qualidade acústica das salas de aula e as salas de música, os quais serão abordados no decorrer deste estudo.

A qualidade acústica de salas vai além de adaptar ambientes para evitar ruídos ambientais ou a presença de ecos. E esta qualidade está diretamente ligada à satisfação do usuário no que se refere à correta comunicação oral no ambiente e a perfeita sonoridade quando o uso da sala é para a música. Portanto, é preciso saber o ponto de equilíbrio para a adequação das salas de aula quando o uso não é exclusivo para a palavra, nem para música. Um exemplo é a reverberação, se estiver presente no ambiente, prejudica a inteligibilidade da fala, mas se retirado seu efeito por completo, não permite a boa qualidade do ambiente para a música.

O controle e a otimização das condições acústicas em sala de aula ou em salas destinadas ao discurso envolvem três considerações fundamentais: a promoção do nível da altura do discurso, o controle do ruído de fundo e a otimização da reverberação (BERANEK; VÉR, 2006).

Para Beranek e Vér (2006), a previsão da qualidade acústica de uma sala de aula envolve a previsão do tempo de reverberação desta sala e do nível de pressão sonora gerado pelo discurso e por fontes de ruído, inclusive a de estudantes em atividade. Essa previsão deve levar em conta a contribuição da absorção da sala ocupada e do mobiliário. Isto envolve um modelo de previsão apropriado e precisão

nos dados de entrada. No caso de pequenas salas de aula não tratadas, é provável que o campo difuso seja razoavelmente preciso. Já para salas de aula maiores e tratadas podem ser usadas técnicas com a do traçado de raios. Também são disponíveis modelos empíricos que incorporam dados reais para sua execução.

A qualidade sonora de ambientes diversos é condição indispensável para o desenvolvimento de atividades humanas, tanto em ambientes de trabalho, de estudo, de descanso e de lazer. Pode ser descrita como um conjunto de atributos subjetivos que representem as expectativas da experiência acústica do ouvinte.

Para Bistafa (2005), conscientemente ou não, a expectativa de um usuário de uma sala de conferência é diferente da expectativa para uma sala destinada à música. Os atributos destas duas salas são diferentes e conflitantes no que tange à reverberação (quadro 3.5). Esses atributos envolvem muitas vezes, várias dimensões subjetivas, e estas necessitam de diferentes formas de quantificação, ou seja, índices que quantifiquem objetivamente esta impressão subjetiva.

Sala de conferência	Sala destinada à música
Inteligibilidade da fala:	Som agradável:
Baixos níveis de ruído	Boa experiência acústica ao escutar a música
Ausência de ecos	
Reverberação reduzida	Reverberação presente

Quadro 3.5 – Diferenças entre a sala de conferência e a sala destinada à música.
Fonte: Bistafa (2005).

O projeto acústico de uma sala, objetiva propiciar boas condições acústicas para esse ambiente considerando-se as diferenças, dependendo do uso da sala.

As características construtivas da sala, como seu tamanho e forma, os materiais de revestimento do teto, das paredes e dos pisos, os arranjos dos assentos, etc., influenciam os sinais gerados por uma fonte sonora. Quando o objetivo é criar condições acústicas particulares em um ambiente faz-se necessário atuar nessas características construtivas.

Losso (2003) realizou uma avaliação da situação das escolas públicas estaduais de ensino fundamental em Santa Catarina, com o objetivo de elaborar

diretrizes de projeto que priorizam a acústica de novas construções escolares, considerando para isso salas de aula de 6,0m x 8,0m, com pé-direito entre 3,0m e 4,0m. Essa avaliação mostrou escolas em precária situação, com problemas acústicos devidos à tipologia e à falta de adequação de materiais.

Para Bistafa (2005), existe um bom número de índices objetivos que atuam como mediadores entre os dados construtivos de uma sala e a experiência acústica do ouvinte. Pressupõe-se que esse índice objetivo possa correlacionar-se com um atributo subjetivo, que possa ser mensurável para possível validação, que possa ser calculável a partir dos dados construtivos da sala, e que permita a indicação de características construtivas possibilitando a criação de impressão subjetiva.

3.4.1 ÍNDICES OBJETIVOS DE QUALIDADE SONORA

Com o auxílio da acústica geométrica pode-se analisar não só a distribuição espacial da energia sonora estacionária dentro de uma sala, mas também a sucessão temporal na qual os sons refletidos chegam a determinado ponto da mesma (KUTTRUFF, 2007). A resposta impulsiva fornece informações sobre a qualidade da transmissão do som em uma sala que vai muito além da avaliação da reverberação. Para Kuttruff (2007), a resposta impulsiva pode ser considerada como a impressão digital acústica de uma sala. A figura 3.8 mostra a resposta impulsiva de forma esquemática e em escala de medição.

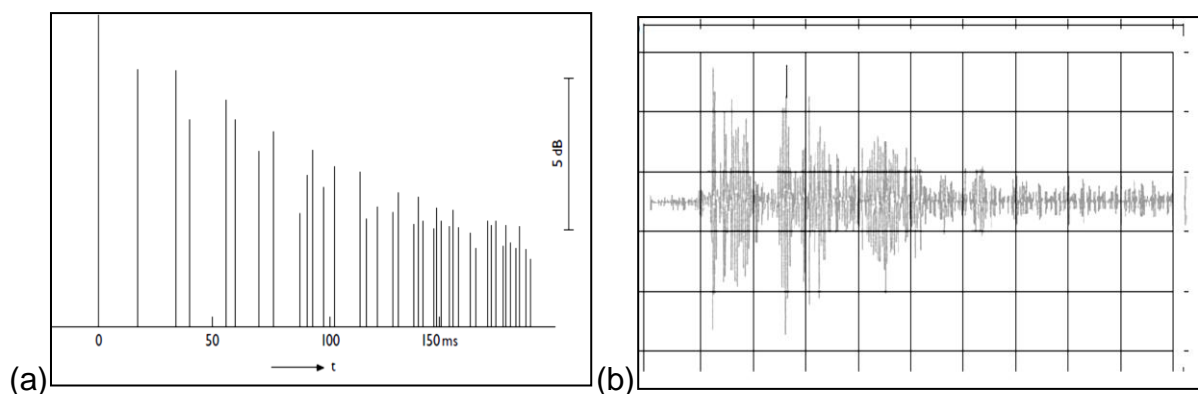


Figura 3.8 – Resposta impulsiva: (a) esquema e (b) medida em escala linear.
Fonte: Heinrich Kuttruff (2007).

O cálculo da maioria dos índices objetivos é feito a partir da resposta impulsiva, que é um registro de pressão sonora em determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a sala é sonorizada com um som impulsivo (impulso de Dirac).

A figura 3.9 mostra a resposta impulsiva típica em um ponto em da sala.

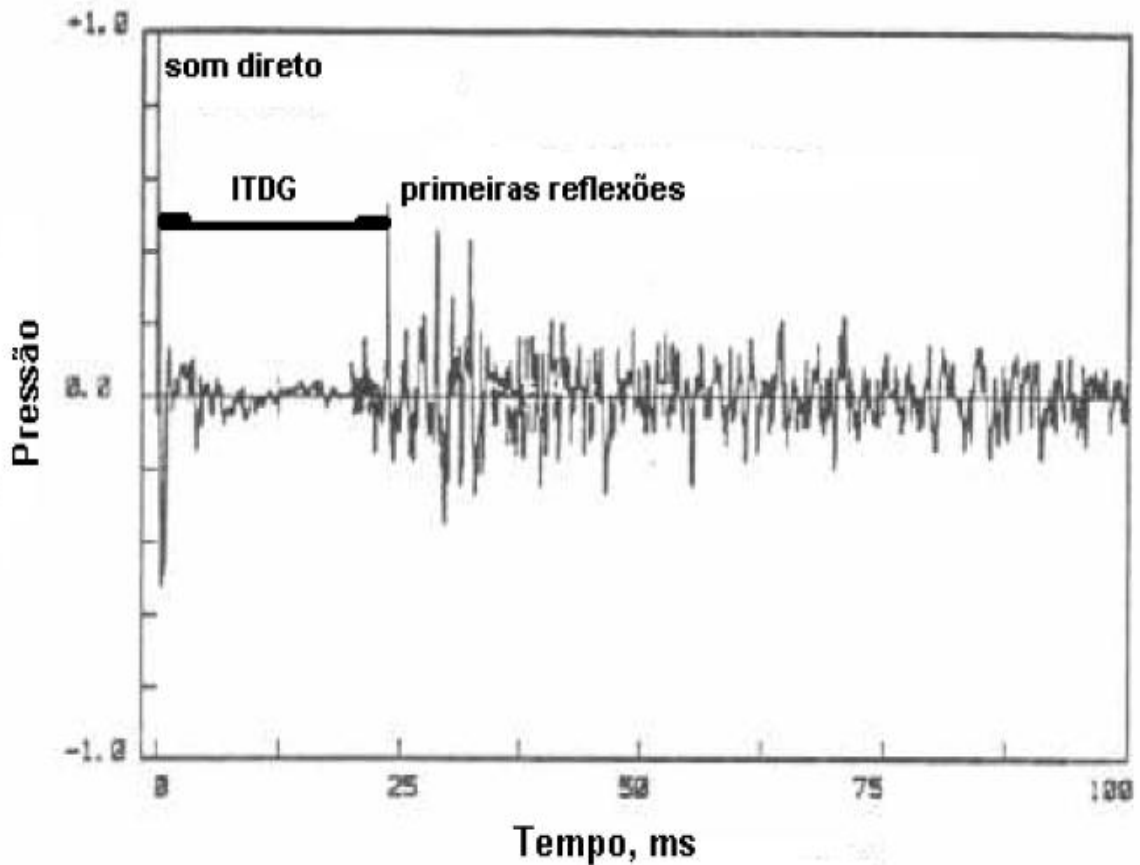


Figura 3.9 – Resposta impulsiva, indicando o som direto, as primeiras reflexões e as reflexões subsequentes do decaimento reverberante.

Fonte: Bistafa (2005).

O quadro 3.6 apresenta os índices objetivos de qualidade sonora.

Índices objetivos de qualidade sonora	Descrição
Retardo Inicial ITGD <i>Initial Time Delay Gap</i>	Tempo decorrido entre o som direto e a primeira reflexão. Correlação com atributo Subjetivo: “intimidade”.
Tempo de Reverberação	Índice objetivo mais antigo e importante. Como não depende da posição do ouvinte, tende a ser uniforme. É o tempo necessário para que a curva de intensidade energética apresente decaimento de 60 dB.
Tempo de Decaimento Inicial EDT <i>Early Decay Time</i>	Caracteriza a parte inicial da curva de decaimento energético. É o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia os primeiros 10 dB, multiplicado por seis. Correlação com atributo Subjetivo: o sinal transmitido parece ser modificado pela reverberação da sala.
Definition D <i>Defnition</i>	Baseia-se na característica da audição na qual reflexões que atinjam o ouvinte até 50 ms após a chegada do som direto, são “reflexões úteis”, dando suporte ao som direto. Contribuem com a audibilidade do som sem efeitos colaterais negativos. Porém as reflexões mais tardias são percebidas subjetivamente como efeitos detrimentais introduzidos pela sala, manifestando-se como reverberação e no caso de serem reflexões isoladas, como ecos. Compara a energia contida no som direto mais a energia das reflexões úteis, com a energia total da resposta impulsiva. Correlação com atributo Subjetivo: Inteligibilidade da fala.
Clareza C	Similar à Definição, porém se consideram “reflexões úteis”, aquelas que atingem o ouvinte até 80 ms após o som direto. Caracteriza a “transparência” da música em salas de concerto: C = 0 dB, valor suficiente mesmo para passagens rápidas, C = - 3 dB, valor mínimo admissível.
Tempo central t_s	Centro de gravidade temporal da resposta impulsiva ao quadrado. Caracteriza a duração da resposta impulsiva, portanto trata-se de uma medida do grau de interferência da sala no sinal.
Suporte G	Nível sonoro total em determinado ponto da sala, produzido por fonte sonora omnidirecional, com relação ao nível sonoro que esta mesma fonte produz em um ponto a 10 m em campo livre. O nome de Suporte é porque fornece a capacidade da sala em “reforçar” o sinal originado da fonte. Correlação com atributo Subjetivo: “audibilidade” do som.
Fração Lateral L_f	Compara a energia sonora que atinge a cabeça do ouvinte lateralmente com a energia sonora total. Como a sensação subjetiva de espacialidade é atribuída às reflexões sonoras que atingem o ouvinte lateralmente, trata-se, portanto de uma medida objetiva do “envolvimento” que a sala proporciona. A energia lateral é medida com um microfone insensível aos sons frontais e aos sons que atingem o ouvinte pela retaguarda. Correlação com atributo Subjetivo: “envolvimento” percebido pelo ouvinte.
Correlação cruzada inter-aural IACC	Medem a similaridade do sinal em ambas as orelhas. IACC = 1: sinais em ambas as orelhas são idênticos, IACC = 0, sinais em ambas as orelhas totalmente dissimilares. Correlaciona-se com a distribuição direcional do som recebido pelo ouvinte. Dado pela correlação cruzada dos sinais captados por microfones na entrada dos condutos auditivos do ouvinte (ou de uma cabeça/torso artificial), normalizada pela média geométrica da energia das duas respostas impulsivas. Correlação com atributo Subjetivo: “envolvimento” percebido pelo ouvinte.

Quadro 3.6 - Índices objetivos de qualidade sonora.

Fonte: Organizado pela autora, baseado em Bistafa (2005).

3.4.2 ATRIBUTOS SUBJETIVOS DE QUALIDADE SONORA

Para a correta adequação acústica de salas para música (salas de concerto), faz-se necessário que os profissionais envolvidos, arquitetos e acústicos entendam o significado dos termos utilizados por músicos e críticos musicais na avaliação dos atributos subjetivos de qualidade sonora de salas.

Dentre os diversos termos utilizados, serão apresentados os mais importantes, e para os quais existem correlações razoavelmente definidas com os índices objetivos de qualidade sonora apresentados no item anterior. O quadro 3.7 apresenta os atributos subjetivos de qualidade sonora (BISTAFA, 2005).

Atributos subjetivos da qualidade sonora	Descrição
Audibilidade <i>Strength</i> ou <i>"Loudness"</i>	É o "volume de sonoro" (nível sonoro) que a sala proporciona, aumenta com a reverberação. Correlação com o índice objetivo: diretamente proporcional ao Suporte, G.
Vivacidade <i>Reverberance</i> ou <i>Liveness</i>	Reverberação da sala em médias e altas frequências (tipicamente acima de 350 Hz). Sala reverberante: "viva", Sala pouco reverberante: "morta" ou "seca". A sala seca é preferível à sala viva no que se refere à inteligibilidade da fala; porém na sala seca, a audibilidade tende a ser menor que na sala viva para a mesma fonte sonora. Em salas para a palavra falada, deve haver um compromisso entre vivacidade e audibilidade. Correlação com o índice objetivo: EDT.
Calor <i>Warmth</i>	Audibilidade ou vivacidade em baixas frequências (tipicamente entre 75 e 350 Hz), comparada com as médias frequências (tipicamente entre 350 e 1400 Hz) e as altas frequências (tipicamente acima de 1400 Hz). Correlação com o índice objetivo: Suporte, G, e Tempo de Decaimento Inicial, EDT, nas frequências correspondentes.
Clareza <i>Clarity</i>	Grau com que diferentes notas musicais são percebidas distintas e isoladas no início das passagens musicais. Correlação com o índice objetivo: índice Clareza, C, e com o Tempo Central, ts.
Intimidade <i>Intimacy</i>	Impressão de ouvirem-se sons musicais como se estivesse numa sala pequena, independentemente do tamanho da sala real. Correlação com o índice objetivo: ITGD e Suporte, G.
Envolvimento <i>Envelopment</i> ou <i>Spatial Impression</i>	Impressão subjetiva de estar "imerso" no campo acústico, essencialmente atribuída aos sons que atingem o observador lateralmente, e pela dissimilaridade dos sons que atingem as orelhas. Correlação com o índice objetivo: Fração Lateral, LF, e com a Correlação Cruzada Inter-Aural, IACC.
Timbre	Uma mesma nota musical tocada em diferentes instrumentos possui timbres distintos. O timbre de um instrumento é caracterizado pelo número e intensidade dos harmônicos, ele não deve ser alterado pela sala. Então, diz-se que a sala introduz "colorido" ao som.

Quadro 3.7 – Atributos subjetivos de qualidade sonora.

Fonte: Organizado pela autora, baseado em Bistafa (2005).

Observa-se que atualmente se podem adotar índices objetivos que vão além do tradicional tempo de reverberação para uma avaliação mais completa da acústica de salas. O quadro 3.8 apresenta os índices objetivos que fazem parte da norma internacional ISO 3382 (2009) para avaliação da qualidade sonora de salas, correlacionados aos cinco mais importantes atributos subjetivos de salas de concerto (BISTAFA, 2005).

Atributo subjetivo	Índice objetivo
Audibilidade	Suporte, G
Vivacidade	Tempo de decaimento inicial, EDT
Clareza	Clareza, C ou Definição D
Envolvimento	Fração lateral, LF ou Correlação cruzada inter-aural, IACC
Timbre	Variação do tempo de decaimento inicial com a frequência, EDT (f)

Quadro 3.8 – Cinco dos mais importantes atributos subjetivos de salas de concerto e respectivos índices objetivos correlacionados.

Fonte: Bistafa (2005).

3.5 Parâmetros acústicos estudados na análise das salas

No caso específico deste estudo, os parâmetros utilizados para análise das condições acústicas das salas estudadas foram o Tempo de Reverberação (TR), Tempo de decaimento inicial (EDT), já detalhados anteriormente, Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Inteligibilidade da Fala (STI).

3.5.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O Tempo de Reverberação (do inglês “*reverberation time*”, TR) é um dos conceitos fundamentais relativos à caracterização da acústica das salas, pode ser considerado qualitativamente como o tempo de permanência de um som em uma sala após a fonte sonora ter sido extinta. Este parâmetro foi definido por Sabine

como o tempo em segundos, para que após a extinção da fonte sonora, o nível de pressão sonora decaia 60 dB (figura 3.10).

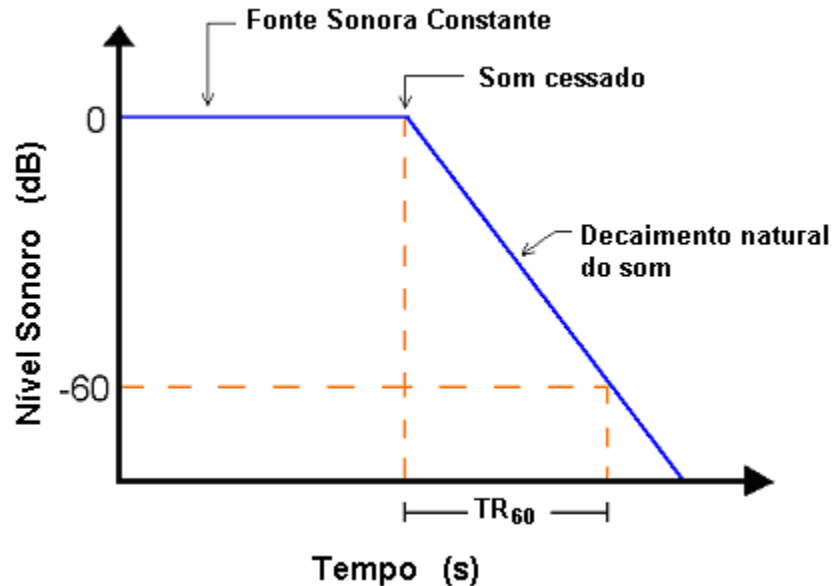


Figura 3.10 – Representação gráfica do Tempo de Reverberação.
Fonte: Amorin, 2007. Adaptado de (MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999, p.212).

No ensaio de pequenas salas destinadas à performance e audição musical, a extinção da fonte sonora, segundo Mannis (2008) deve ser abrupta e não suave e progressiva, conforme mostra a figura 3.11.

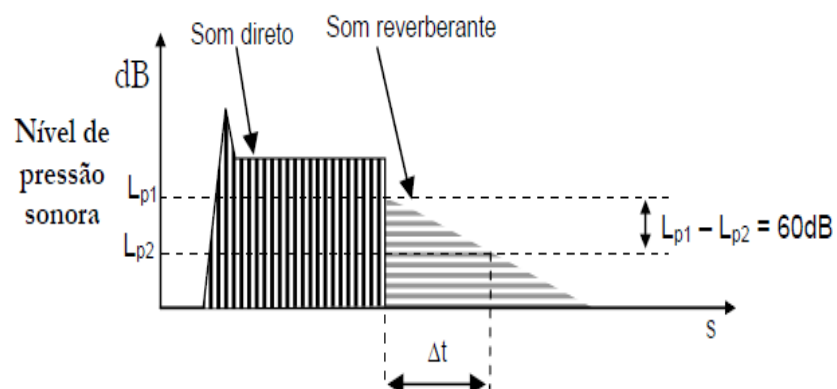


Figura 3.11 – Representação do som direto e do resíduo do som reverberante.
Tempo de reverberação: intervalo de tempo para que o som decaia de 60 dB.
Fonte: Mannis (2008).

Inicialmente os tempos ótimos de reverberação foram obtidos experimentalmente em função do volume do local e de seu uso. Através de estudos analíticos, este tempo foi relacionado com as características do ambiente, como volume do recinto e a absorção. O físico e professor americano Wallace Sabine no final do século 19 e início do século 20 estabeleceu a relação empírica entre volume e área de absorção de um ambiente fechado, chamada Equação de Sabine.

Mannis (2008) explica que a unidade de absorção do som, em metros quadrados, refere-se à área equivalente de uma janela aberta, isto porque a energia do som incidente numa janela aberta não retorna à sala e passa totalmente para o meio exterior. Seria o mesmo efeito que o de um material com absorção de 100% nas mesmas dimensões que a referida janela. Portanto, em homenagem a Sabine, denomina-se um metro quadrado de material absorvendo 100% da energia sonora incidente, como *um Sabine Métrico*.

Para corrigir a fórmula de Sabine para superfícies altamente absorventes, Eyring apresentou a fórmula de Eyring, agregando o valor dos coeficientes de absorção das superfícies internas (SILVA, 2005) (quadro 3.9). Existe a Fórmula de Millington – Sette e a Fórmula de Fitzroy para cálculo do tempo de reverberação.

Fórmula de SABINE	Fórmula de EYRING
$TR = 0,161 \frac{V}{A} = 0,161 \frac{V}{\sum S_n \alpha_n}$	$TR = \frac{0,16 V}{-S l_n (1 - \alpha_m) + x \cdot V}$
TR: tempo de reverberação (s) V: volume da sala (m ³) A: absorção total da sala S _n : superfície dos materiais (m ²) α _n : coeficiente de absorção materiais 0,161: constante experimental (s/m)	TR, V e S: mesmos de, Sabine l _n : logaritmo neperiano α _m : coeficiente médio de absorção, $\alpha_m = \frac{\sum S \alpha}{S}$ x: coeficiente de absorção do ar
Aplicada para salas grandes e auditórios. Ambientes vivos (superfícies pouco absorventes) Formas não muito irregulares. Resulta em valores mais elevados. Usada quando α _n inferior a 0,5.	Aplicada para salas pequenas e salas secas (superfícies altamente absorventes) Qualquer tipo de sala com distribuição regular e uniforme dos materiais (não havendo muita diferença entre a absorção do teto, piso e parede). No caso de materiais com absorção contrastante, devem estar bem misturados e distribuídos de forma regular. Usada quando α _m superior a 0,5.

Quadro 3.9 – Obtenção analítica do TR.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Gerges (1992), Henrique (2002), Silva (2005), Mannis (2008).

O tempo de reverberação marca o início da acústica arquitetônica moderna, sendo para Bistafa (2005), o único índice objetivo de qualidade sonora que atende a todas as seguintes propriedades: correlacionar-se com um dado atributo subjetivo, ser mensurável para possível validação, ser calculável a partir dos dados construtivos da sala, e permitir a indicação de características construtivas possibilitando a criação de uma impressão subjetiva.

O tempo de reverberação varia em função do volume do recinto. Por este motivo é que alguns recintos fechados são bons para conferência e não se adaptam para a música e outros são ótimos para sons musicais e ruins para a palavra falada. Para Silva (2002) de modo geral, à medida que se aumentam os volumes dos recintos, também se incrementam os tempos de reverberação dos mesmos.

A norma ANSI 1 S1260/2010 recomenda que os valores de TR para salas de aula devam permanecer entre 0,4 e 0,6 segundos.

Gerges (1992) considera que geralmente uma sala de música deva ser mais reverberante que uma sala de aula e acrescenta que a escolha de um tempo ótimo de reverberação de uma sala depende do seu uso, se para sala de aula, para concerto, teatro, etc. Lembrando ainda que os fatores que determinam o TR são volume, área, forma da sala e tipo e distribuição dos materiais de absorção.

A absorção geral de uma sala é determinada pelo somatório do produto de cada superfície de revestimento pelo respectivo coeficiente de absorção de cada material, mais o produto da quantidade de cada tipo de objeto pelo coeficiente de absorção do mesmo e também pelo volume de ar confinado, o que atinge as altas frequências, ou seja, os agudos (MANNIS, 2008).

O coeficiente de absorção médio é atribuído a cada metro quadrado da sala, respeitando as proporções dos materiais e é obtido pela média ponderada dos materiais em função de suas superfícies relativas. Para Sabine (1948 apud MANNIS, 2008), tanto os coeficientes de absorção como os coeficientes de absorção médios são dados para cada banda de frequência, geralmente de oitava, com frequências centrais de 125, 250, 500, 1K, 2K e 4K Hz. Como cada material pode absorver de forma diferente, de uma banda para a outra, os cálculos devem ser independentes.

Mannis (2008) comenta dados apresentados por Beranek (1993) para salas de concerto que indicam que um coeficiente de absorção médio de 0,05 corresponde a uma sala viva, um coeficiente de absorção médio de 0,10, uma sala

medianamente viva, um coeficiente de absorção médio de 0,15, uma sala média, e um coeficiente de absorção médio 0,25, medianamente surda e 0,40, sala surda.

A medição do tempo de reverberação pode ser feita em bandas de oitava ou em bandas de 1/3 de oitava. O quadro 3.10 mostra as frequências comumente adotadas para a medição do tempo de reverberação por diversos autores.

Autor	Frequência medição	TR
KNUDSEN (1978)	512 Hz (500 Hz)	Sem especificação
DE MARCO (1982)	500 Hz	
BISTAFA (2006)		
KUTRUFF (2000)	500 Hz e 1000 K Hz	Salas de concerto
BERANEK (1962)	500 Hz e 1000 K Hz	Sala de concerto sem qualificação (completamente ocupada). Média aritmética dos TR nas bandas.
	Outras frequências	Outra situação de ocupação.

Quadro 3.10 – Frequências comumente adotadas para medição do TR.

Fonte: Compilado pela autora, baseado em Mannis (2008).

Barron (2010) apresenta um gráfico com a frequência de reverberação recomendada para a palavra e para a música orquestrada (figura 3.12).

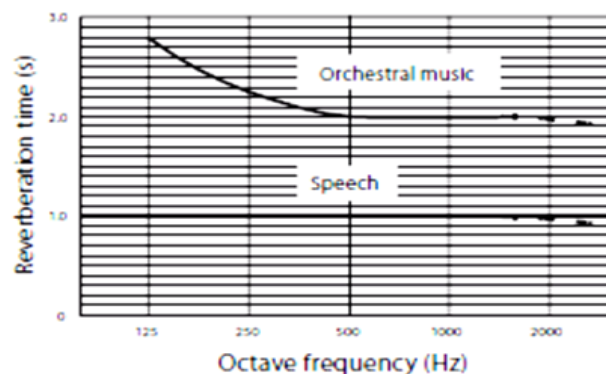


Figura 3.12 – Frequência de reverberação geralmente recomendada para discurso e para a música orquestrada (esta última com um aumento máximo de 40% a 125 Hz).
Fonte: Barron (2010).

As salas utilizadas para prática e ensaio de instrumento e canto têm valores para TR, volume e frequência, recomendados por vários autores (quadro 3.11).

PESQUISADOR	SALA	VOLUME (m ³)	FREQUÊNCIA (Hz)	RT (s)
Yang e Gales (1956)	Sala ensaio de banda orquestra	707	500	1,0
Yang e Gales (1956)	Sala de coral	566	500	0,4 a 2,3
Karsai (1974)	Prática coro	182	500	0,9
Karsai (1974)	Prática coro	182	125	0,5
Karsai (1974)	Prática	105	500	0,4
Karsai (1974)	Prática	105	125	0,8
Creighton e Lamberty (1978)	Prática de percussão			0,75
Cohen (1992)	Prática individual	30 a 40		0,3 a 0,4
Cohen (1992)	Piano de cauda	1000		0,4 a 0,5
Cohen (1992)	Piano	400 a 600 ⁽¹⁾		0,8 a 0,9
Tennhardt e Winkler (1994)	Prática de orquestra	25 a 30 por músico 2000 m ³		0,5 a 0,7 ⁽¹⁾
Tennhardt e Winkler (1994)	Prática de orquestra	25 a 30 por músico 2000 m ³		0,8 e 1,1 ⁽²⁾
Völker (1988)	Prática de orquestra	1200	500	0,5 a 0,7

Quadro 3.11 - Comparativo de salas de prática e ensaio de instrumento e canto, RT, frequência e volume, indicados por diversos pesquisadores.

Fonte: Compilado por Sá (2010) baseado em Meyer (2009).

(1) Para salas ocupadas; (2) Para outras salas de prática.

Os valores do TR específicos para salas de aula foram compilados por Losso (2003) na tabela 3.1 com valores padronizados para alguns países.

Tabela 3.1 – Valores de TR₆₀ recomendados para salas de aula em diferentes países.

País	Norma	Tempo de Reverberação	Observação
Portugal	Lei 251/87	0.6 – 0.8	500 – 4kHz
França	–	0.4 – 0.8	Salas até 250 m ² . 500 – 2kHz
Reino Unido	BB 87	0.5 – 0.8	–
Estados Unidos	ANSI	0.6 – 0.7	S R ≥ 15 dB(A)
Estados Unidos	ASHA	0.4	S R ≥ 15 dB(A)
Finlândia	–	0.6 – 0.9	–
Itália	–	0.5 – 2	Depende da freq. e vol.
OMS	–	0.6	–

Fonte: Losso (2003), baseado em Vallet (2000) e Fernandes (2002).

A Norma NBR 12179 (1992) para tratamento acústico em recintos fechados traz os tempos de reverberação ótimos expressos em segundos na frequência de 500 Hz, estabelecidos por Bolt, Beranek e Newman (figura 3.13).

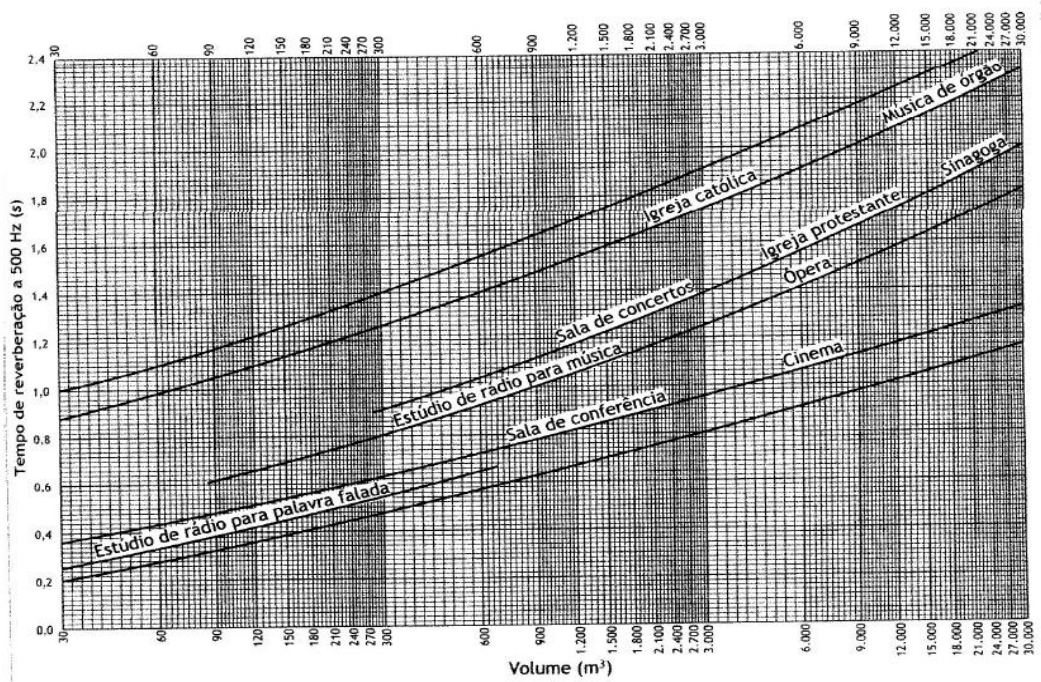


Figura 3.13 - Valores de TR para a frequência de 500 Hz para diversos recintos. Fonte: NBR 12174 (ABNT, 1992, p.9).

3.5.2 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL

O Tempo de decaimento inicial (do inglês “*early decay time*”, EDT), mede a taxa de decaimento da mesma forma que o TR, porém relativo apenas aos primeiros 10 dB, medido entre 0 e -10 dB, ou seja, é o tempo decorrido até que a energia sonora decaia 10 dB a partir da interrupção da fonte sonora. Ele considera a energia sonora contida no início da propagação do som, fator importante para a melhor inteligibilidade, devido aos fenômenos das reflexões e suas consequências.

O EDT é um parâmetro acústico que se destaca na avaliação das condições acústicas de um ambiente, é expresso em milissegundos (ms) e é um parâmetro subjetivo, pois descreve a reverberação percebida pelo ouvinte.

Para Amorim (2007), o EDT é composto das poucas reflexões adiantadas e isoladas, e mais, dependente da geometria da sala, desde que as reflexões iniciais tenham origem em superfícies bem definidas. É importante que o TR e o EDT tenham o mesmo comportamento, pois assim, a sensação sonora e o comportamento real de reverberação da sala são coincidentes.

Não existem normas específicas que recomendem valores adequados para a avaliação do EDT, Bradley (1986b) recomenda para este parâmetro na frequência de 1000 Hz, o mesmo valor que recomenda para TR, 0,5s.

Mannis (2008) em pesquisas para adequação acústica de pequenas salas à performance e audição musical refere-se a valores adequados de EDT, conforme quadro 3.12.

Autor	Valores de referência de EDT (s)	Observação
BERANEK (2004)	Entre 2,25 e 2,75 Entre 1,4 e 2,0	Sala desocupada Sala menos favorecida
PISANI (2001)	Entre 1,8 e 2,6	

Quadro 3.12 – Valores de referência de EDT.
Fonte: Compilado pela autora, baseado em Mannis (2008).

3.5.3 CLAREZA

A Clareza (do inglês “*clarity*”, C_{50} ou C_{80}) determina a clareza objetiva de uma sala, é um parâmetro utilizado para definir a clareza musical de salas dedicadas à música. Define a inteligibilidade das articulações sonoras. Segundo Bistafa (2005) a clareza considera as “reflexões úteis”, aquelas que atingem o ouvinte até 80 ms após o som direto.

Para poder comparar resultados de forma mais evidente, Beranek (1996; 2004) considera o valor médio de C_{80} , nas bandas de 500, 1000 e 2000 Hz e o designa por $C_{80}(3)$. A análise de dados colhidos por Beranek (1996) sobre aproximadamente 60 das principais salas de concerto em todo o mundo, mostra que a média de $C_{80}(3)$ é de -0,7 dB. Beranek (2004) afirma que os valores de C_{80} oscilam entre -4 e +4 dB.

Ainda Beranek (1996; 2004) apresenta valores para $C_{80}(3)$ para diferentes situações de apreciação musical, conforme mostra o quadro 3.13.

Situação ouvinte	Local de escuta	Valores $C_{(80)}(3)$ (dB)	Situação do ambiente	Tipo de escuta
Regente BERANEK (1996; 2004)	Ensaio	Entre +1 e +5	Sala vazia (mais seca)	Escuta técnica eficiente
	Plateia	Entre -1 e -4	Mais preenchimento do som	Escuta mais estética
Entrevistados BERANEK (2004)		Entre -1 e -5		

Quadro 3.13 – Valores de referência de $C_{80}(3)$.
Fonte: Compilado pela autora, baseado em Mannis (2008).

A figura 3.14 representa C_{80} , segundo Galindo (1999) apud Mannis (2008).

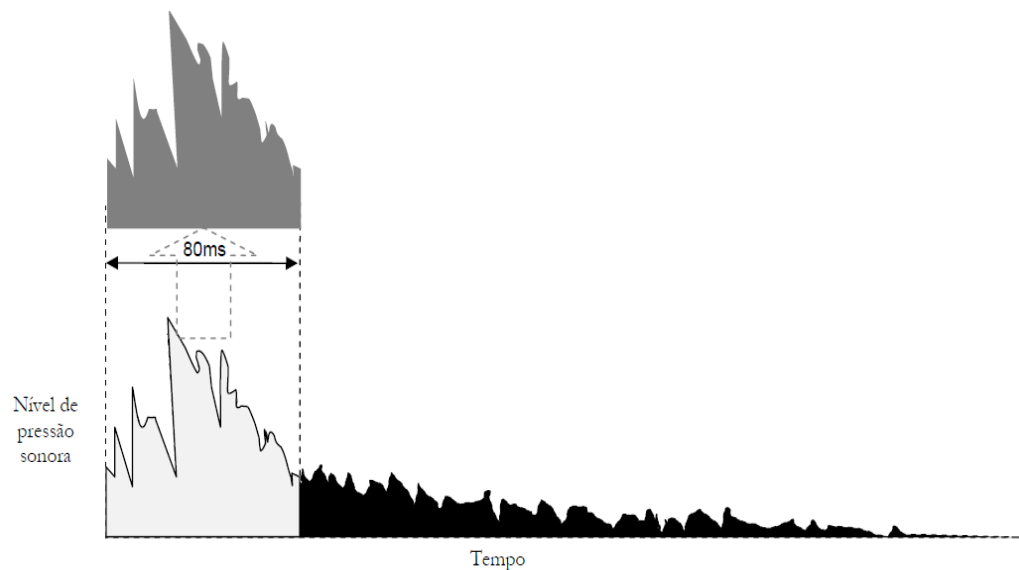


Figura 3.14 - C_{80} : razão entre a energia nos primeiros 80ms do som e a energia total do som (em %).

Fonte: Galindo (1999) apud Mannis (2008).

3.5.4 DEFINIÇÃO

A definição (do inglês “*definition*”, D_{50}) está diretamente relacionada à clareza. É a razão entre a energia total e a energia inicial que chega num ponto da sala durante os primeiros 50ms, após o som direto, variando de 0 a 1. Quanto mais

próximo o valor de D50 for de 1 (um), melhor a Definição e portanto melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 2009).

Para Bistafa (2005), a Definição baseia-se na característica da audição na qual reflexões que atinjam o ouvinte até 50 ms após a chegada do som direto, são consideradas “reflexões úteis”, dando suporte ao som direto e contribuindo com a audibilidade do som sem efeitos colaterais negativos. Para o mesmo autor, a D50 compara a energia contida no som direto mais a energia das reflexões úteis, com a energia total da resposta impulsiva. Tem sido correlacionada com a inteligibilidade da fala, que representa a relação entre o número de palavras ou sílabas entendidas e o número de palavras sentenças ou sílabas faladas.

D50 é representada na figura 3.15, segundo Galindo (1999) apud Mannis (2008).

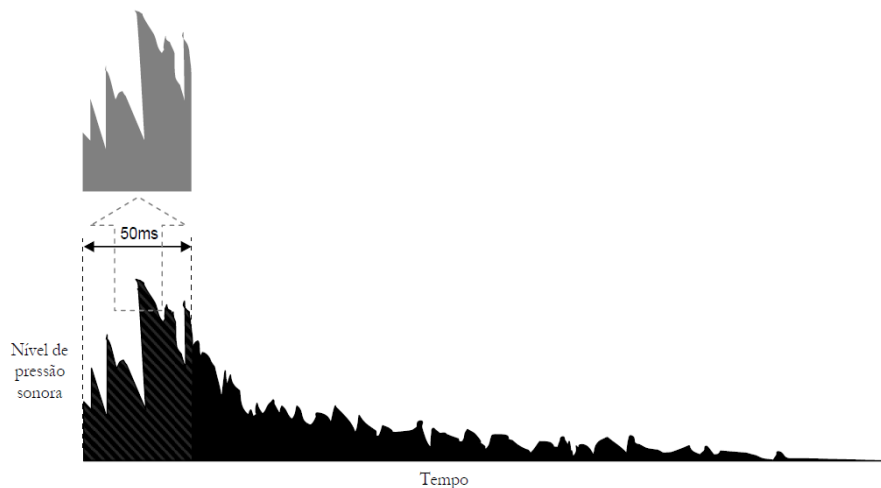


Figura 3.15 - D50: razão entre a energia nos primeiros 50ms do som e a energia total do som (em %).

Fonte: Galindo (1999) apud Mannis (2008).

3.5.5 ÍNDICE DE TRANSMISSÃO DA FALA

O Índice de transmissão da fala (do inglês “*speech transmission index*”, STI) caracteriza a inteligibilidade de uma sala. A palavra é composta de vogais e consoantes distribuídas ao longo do espectro audível, compreendida entre 500 e 5000 Hertz (Hz).

Portanto, quanto à inteligibilidade da fala, pode-se dizer que um som é inteligível quando se compreende seu significado na comunicação, podendo ser comprometida pela distância e pelo ruído de fundo.

Se nenhum ruído ou reverberação interferir na fala, valor STI é 1 e a inteligibilidade é excelente, se ruídos de fundo e/ou reverberação adicionam energia nessa faixa e o STI e a inteligibilidade. Quando o valor STI cai para zero, a fala torna-se totalmente ininteligível. Na versão completa do teste de STI, a profundidade de modulação é medida em 98 testes sobre 14 frequências de modulação (de 0,63Hz a 12,5Hz em oitavas de 1/3) em sete faixas de oitavas (de 125Hz a 8.000Hz) de onda.

STI possui valores recomendados pela IEC 60268-16 (2003) apresentados no quadro 3.14.

Valores de STI	IEC 60268-16
0,75 – 1,00	Excelente
0,60 – 0,75	Bom
0,45 - 0,60	Adequado
0,30 – 0,45	Fraco
0,00 – 0,30	Péssimo

Quadro 3.14 – Valores de STI de acordo com a norma IEC 60268-16 (2003).

Fonte: IEC 60268-16 (2003).

Um som é inteligível quando é possível compreender o seu significado na comunicação. A inteligibilidade da palavra falada segundo Salazar (1990 apud PAIXÃO, 1997), depende das características acústicas do ambiente e das características da mensagem. As características acústicas do ambiente são a absorção, a reflexão, a isolação e o ruído de fundo. Para as mesmas autoras, as características da mensagem se referem à gesticulação e ajudas visuais, conhecimento do idioma e do tema, potência, articulação, clareza e inflexões da voz, suficiência mental, posição relativa entre o orador e o receptor e sensibilidade auditiva do receptor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os procedimentos adotados para a obtenção dos dados e dos procedimentos analíticos utilizados para representar cientificamente este processo de pesquisa. Realizou-se por meio de uma pesquisa descritiva e exploratória, com a proposta de além de identificar a existência de relações entre as variáveis envolvidas no problema, conhecer a natureza dessa relação, com base em estudos na área da acústica, relacionados à adequação das salas de aula e música simultaneamente.

No que se refere aos procedimentos técnicos utilizados para o estudo das variáveis, a pesquisa foi experimental, desenvolvida *in loco* e em laboratório.

Compreendeu atividades de revisão bibliográfica, levantamentos, medições, análises quantitativas e elaboração de contribuições. O ponto de partida para a definição da amostra de escolas utilizada no estudo foi o levantamento dos dados básicos da população de escolas em Santa Maria, que compreendeu a localização, os dados demográficos e a tipologia construtiva.

A pesquisa envolveu levantamento bibliográfico, entrevistas informais com pessoas ligadas ao problema e análise de exemplos que estimularam a compreensão, proporcionando a familiaridade com o problema para melhor explicitá-lo e, segundo Gil (2002), o planejamento dessa pesquisa exploratória é flexível.

A pesquisa quantitativa se realizou em função da forma como os dados foram tratados e da forma de apreensão da realidade, caracterizando-se pela quantificação nas modalidades de coleta de informações, bem como no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas. Esta foi a fase dos ensaios *in loco* e em laboratório.

4.1 Amostra / população

Esse estudo realizou-se no universo das escolas de educação básica, conforme estabelecido na Lei 11.769/08.

As escolas estaduais de ensino básico de Santa Maria-RS, segundo dados da Coordenadoria Estadual de Educação (CRE 08) em 2011, são em número de 39,

incluindo neste universo, escolas de educação básica, de ensino fundamental, de ensino médio, institutos estaduais, núcleos de educação de jovens e adultos (EJA) e centros profissionalizantes (CP) e colégio agregado. Conforme observado, o universo de escolas é bastante numeroso e diversificado e a pesquisa não tem interesse censitário, por isso se justifica a seleção arbitrária de parte da população.

Portanto a amostra de escolas foi escolhida de forma não probabilística, com base na diversidade de tipologias arquitetônicas das escolas públicas encontradas no Rio Grande do Sul, caracterizadas em cinco tipos, segundo levantamento já realizado em estudo anterior: Polivalente, Industrial, Projeto Próprio, Projeto Nova Escola e Centro Integrado de Educação Profissionalizante (PAIXÃO, 1997). Como o critério principal de seleção da amostra foi a tipologia arquitetônica, estudaram-se cinco escolas, sendo que estas também pertenceram à amostra do estudo anteriormente mencionado e por possuírem atualmente alguma ligação com a música, quer em atividades curriculares ou projetos comunitários de extensão.

Sendo assim a amostra estudada constituiu-se das seguintes escolas: Escola Estadual de Ensino Médio Dr. Walter Jobim (Polivalente), Colégio Estadual Padre Rômulo Zanchi (Industrial), Escola Estadual de Educação Básica Professora Margarida Lopes (Projeto Próprio), Colégio Estadual Professora Edna May Cardoso (Projeto Nova Escola) e Escola Básica Estadual Dr. Paulo Devanier Lauda (Projeto CIEP).

As tipologias arquitetônicas definidas como Polivalentes e como Industriais apresentam escolas criadas entre as décadas 70 e 80, com ênfase no ensino profissionalizante, caracterizadas por grandes áreas em alvenaria e de pavimento único, com espaços destinados para as oficinas. Oferece Ensino Fundamental, Ensino Médio, EJA (Fundamental) e EJA (Ensino Médio).

A Escola Estadual de Ensino Médio Dr. Walter Jobim, conforme mostram as figuras 4.1 e 4.2, pertence à tipologia **Polivalente**. Localiza-se no Bairro Itararé, próximo ao sítio férreo da cidade de Santa Maria, região histórica pela atuação dos ferroviários.



Figuras 4.1 e 4.2 – Fachada e vista lateral da Escola Walter Jobim
Fonte: Autora.

O Colégio Estadual Padre Rômulo Zanchi pertence à tipologia **Industrial** conforme mostram as figuras 4.3 e 4.4.



Figuras 4.3 e 4.4 – Vista lateral e pátio interno da Escola Rômulo Zanchi.
Fonte: Autora.

A tipologia arquitetônica definida como **Projeto Próprio**, caracteriza as escolas não construídas em série conforme padrões estabelecidos. São projetadas segundo as necessidades específicas de cada escola e região. Sua arquitetura não pode ser identificada com modelos existentes. É representada pela Escola

Margarida Oferece Ensino Fundamental, Médio e EJA (Fundamental). Lopes (figura 4.5 e 4.6).



Figuras 4.5 e 4.6 – Detalhes dos acessos as Salas de Vídeo e Aula da Escola Estadual de Educação Básica Professora Margarida Lopes.

Fonte: Autora.

O Projeto **Nova Escola**, representado pelo Colégio Estadual Professora Edna May Cardoso, apresenta exemplares construídos na década de 80 em todo o Rio Grande do Sul, com alas construídas com pé direito duplo e tijolos sem revestimento, caracterizada por possuir grandes áreas envidraçadas, conforme as figuras 4.7 e 4.8. Oferecem Ensino Fundamental, Ensino Médio e EJA.



Figuras 4.7 e 4.8 – Vista lateral e Hall do Colégio Professora Edna May Cardoso.

Fonte: Autora.

Os **Centros Integrados de Educação Pública (CIEP)**, representado pela Escola Básica Estadual Dr. Paulo Devanier Lauda foram definidos para atender a proposta de ensino de qualidade em período integral nos anos 90. Existem vários

exemplares no estado caracterizados por possuir peças pré-moldadas de concreto. Oferece Ensino Fundamental, Médio e EJA (Fundamental) (figura 4.9 e 4.10).



Figuras 4.9 e 4.10 – Vista superior e fachada da Escola Básica Estadual Dr. Paulo Devanier Lauda.

Fonte: maps.google.com.br.

Cada escola selecionada, através de seu dirigente ou professor, indicou o espaço que deverá receber as aulas decorrentes do atendimento a Lei nº 11769/08. As cinco salas indicadas têm atualmente seus usos destinados para palestras, salas de vídeos, eventos ou ensaios musicais, sendo elas: Sala de Eventos (S1) de tipologia Polivalente da Escola Estadual Ensino Médio Dr Walter Jobim, Sala de Eventos (S2) de tipologia Industrial do Colégio Estadual Padre Rômulo Zanchi, Sala de Vídeo (S3) de tipologia Projeto Próprio da Escola Estadual de Educação Básica Professora Margarida Lopes, Sala de Vídeo (S4) de tipologia Nova Escola do Colégio Estadual Professora Edna May Cardoso e Sala de Vídeo (S5) de tipologia CIEP da Escola Básica Estadual Dr. Paulo Devanier Lauda.

4.2 Conhecimento das condições acústicas de salas

O conhecimento das condições acústicas de salas de aula existentes em escolas de educação básica da rede pública estadual do Rio Grande do Sul

utilizadas para ensino da música constitui-se das seguintes etapas: levantamento das condições físicas das salas e verificação dos parâmetros acústicos em salas.

4.2.1 LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DAS SALAS

Esta etapa permitiu conhecer as condições físicas das salas destinadas ao ensino de música. Esse levantamento físico se deu através da observação, compreendendo a descrição e o dimensionamento dos espaços e mobiliário, através de fotografias, plantas e quadros demonstrativos, também a identificação e quantificação dos materiais presentes nas salas e dos objetos comuns nas mesmas.

Cada uma delas foi geometricamente descrita através da dimensão, da área e do volume de ar em seu interior e também apresentadas em ilustrações complementadas por dados referentes à descrição de materiais, tipo de superfície associada, os respectivos coeficientes de absorção sonora para a frequência de 500 Hz (NBR12179, 1992) e o TR analítico a partir da Fórmula de Sabine.

4.2.2 VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS EM SALAS

A verificação dos parâmetros acústicos em salas destinadas ao ensino e aprendizagem de música deu-se através de medições, segundo os procedimentos especificados na norma ISO 3382 (2009) (Acoustics – Measurement of room acoustics parameters). Essa norma, em sua *parte 1 (Performance spaces)*, trata das condições de ocupação das salas, as condições ambientais de temperatura e umidade do ar, bem como a orientação da posição das fontes, determinada a partir do posicionamento usual de professores e alunos nas salas. Os detalhes relacionados às posições dos microfones durante as medições seguirão o que sugere a *parte 2 (Reverberation time in ordinary rooms)*, enquanto as frequências consideradas para efeitos de análise dos valores medidos serão 125 até 4000 Hz.

Os parâmetros acústicos utilizados para a análise das condições das salas foram: Tempo de reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

TR é o tempo necessário para que a energia de uma fonte sonora decaia em 60 dB depois da interrupção da fonte sonora. E está diretamente relacionado ao volume da sala; EDT é o tempo decorrido até que a energia sonora decaia 10 dB a partir da interrupção da fonte sonora, é um parâmetro subjetivo, pois descreve a reverberação percebida pelo ouvinte; C80 é um parâmetro utilizado para definir a clareza musical de salas dedicadas à música e define a inteligibilidade das articulações sonoras; D50 está diretamente relacionada à clareza, é a razão logarítmica entre a energia do intervalo inicial do som e a energia total contida no sinal; STI caracteriza a inteligibilidade de uma sala, este parâmetro é calculado (com a utilização do software Dirac).

As medições acústicas foram realizadas com a utilização do método da resposta impulsiva, com a utilização do Software Dirac, responsável pela aquisição e análise dos dados medidos, seguindo as especificações da ISO 3382 (2009) e IEC 60268-16 (2003).

Os equipamentos usados nessas medições acústicas foram uma fonte sonora dodecaédrica omnidirecional tipo 4292, amplificador de potência tipo 2716, medidor de nível de pressão sonora tipo 2270, microfone de precisão para incidência aleatória tipo 4189, calibrador acústico (94 dB, ref. 20 μ Pa, para 1.000 Hz), todos da Bruel & Kjaer, placa de som Presonus e programa computacional Dirac para aquisição e análise de dados, conforme mostra a figura 4.11. Esses equipamentos foram dispostos em arranjo conforme esquema apresentado na figura 4.12.



Figura 4.11 – Conforme a sequência apresentada: fonte sonora dodecaédrica omnidirecional tipo 4292; amplificador de potência tipo 2716, medidor de nível de pressão sonora tipo 2270; microfone de precisão para incidência aleatória tipo 4189, calibrador acústico (94 dB, ref. 20 μ Pa, para 1.000 Hz); placa de som Presonus; programa computacional Dirac para aquisição e análise de dados.

Fonte: Autora.

A figura 4.12 apresenta o arranjo dos equipamentos usados nas medições acústicas das salas com a utilização do método da resposta impulsiva, com a utilização do Software Dirac.

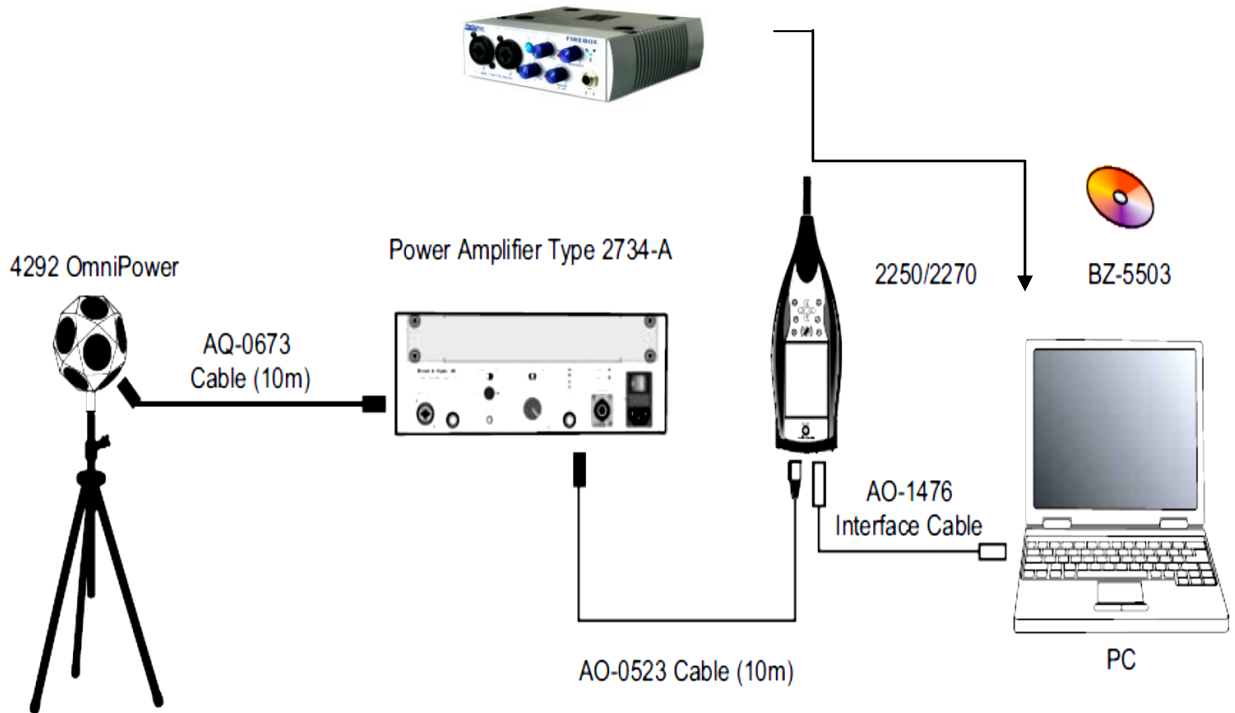


Figura 4.12 - Equipamentos usados nas medições acústicas das salas com a utilização do método da resposta impulsiva, com a utilização do Software Dirac.

Fonte: Esquema adaptado pela autora, baseado em DIRAC Acoustics Measurement Software, 2008 e PRESSONUS, 2005.

4.3 Absorção sonora de objetos comuns em salas de aula.

4.3.1 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO SONORA

As medições em câmara reverberante dos tempos de reverberação de objetos comuns em salas de aula têm o objetivo de conhecer a absorção de cada um dos objetos que fazem parte do ambiente das salas de aula das escolas de educação básica: mochilas, quadros, cortinas, cadeiras e classes.

Foram seguidos os procedimentos especificados na norma ISO 354 (2003) – (Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room),

considerando para sua correta execução a descrição da câmara reverberante (figura 4.13), a difusão do campo sonoro, as condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar, o detalhamento da amostra de ensaio (objetos comuns em sala de aula). Os tempos de reverberação foram medidos com e sem a amostra de ensaio e com esses valores, foram determinadas as áreas de absorção sonora equivalentes das amostras de ensaio.



Figura 4.13 – Câmara Reverberante da UFSM, com área total de 207 m³.

Fonte: http://w3.ufsm.br/eac/doku.php?id=estrutura_da_eac.

Os ensaios foram realizados empregando-se o método da resposta impulsiva, utilizando-se o mesmo equipamento descrito para a aquisição dos parâmetros acústicos nas medições feitas em sala de aula (*in loco*), figura 4.11.

Os resultados foram gerados no Utility Software for Hand-held Analyzers (BZ5503) e exportados para o software Microsoft Office Excel.

Foram consideradas algumas definições para a correta execução do procedimento apresentadas no quadro 4.1.

<p>Área de absorção sonora equivalente de uma câmara (em m²)</p>	<p>Área hipotética total de uma superfície de absorção sem efeitos de difração que, se fosse o único elemento absorvedor presente na câmara, apresentaria o mesmo tempo de reverberação da câmara em questão. Câmara reverberante vazia: A_1, Câmara reverberante com a amostra de ensaio: A_2, em metros quadrados.</p>
<p>Área de absorção sonora equivalente de uma amostra de ensaio (A, m²)</p>	<p>Diferença entre a área de absorção sonora equivalente de uma câmara reverberante com e sem a amostra de ensaio.</p>
<p>Coefficiente de absorção sonora (α_s)</p>	<p>Área de absorção sonora equivalente de uma amostra de ensaio dividida pela área da amostra. Definido apenas para amostras de ensaio planas.</p>
<p>Método da resposta impulsiva</p>	<p>Registro como função do tempo da pressão sonora gerada em uma câmara pela excitação dessa câmara com uma função delta de Dirac.</p>

Quadro 4.1– Definições para a correta execução do procedimento de ensaio em câmara reverberante para a determinação da absorção sonora dos objetos comuns em sala de aula.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado na norma ISO 354 (2003).

4.3.1.1 Descrição do ambiente de ensaio

A câmara reverberante atende as exigências estabelecidas pela ISO 354, no que se refere: ao volume (deve ter pelo menos 200 m³: **V = 207 m³**) e a forma retangular (não possui dimensões múltiplas).

O campo sonoro durante o decaimento na câmara tem difusão satisfatória, pois além da sala ter a sua forma definida de acordo com o estabelecido na ISO 354, possui difusores suspensos estáticos.

Durante a realização dos ensaios, a temperatura e a umidade do ar dentro da Câmara Reverberante atenderam as exigências da ISO 354, com pouca variação, e a umidade relativa do ar permaneceu maior do que 40% (quadro 4.2).

Objeto ensaiado	Temperatura (°C)	Umidade do ar (%)
Câmara vazia	17,7	71
Cadeira	18,4	84
Quadro negro	18,2	77
Classe	18,2	82
Câmara vazia	19,7	80
Cortina	19,0	81
Mochila	19,4	84

Quadro 4.2 - Temperatura e umidade do ar durante as medições acústicas.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado na norma ISO 354 (2003).

4.3.1.2 Descrição da amostra

Conforme normalizado na ISO 354 (2003) a amostra utilizada no ensaio foi composta por absorvedores isolados e cortinas (considerados absorvedores planos). Os absorvedores sonoros isolados consideraram três opções de amostra, o objeto individual, o arranjo de objetos e um único objeto no ambiente.

Primeiramente, foram experimentados os absorvedores sonoros isolados quando considerados como objeto individual disposto de maneira aleatória, apresentado na figura 4.14 agregando o quantitativo destes elementos ensaiados.

As classes de fórmica foram consideradas na experimentação, mesmo não sendo parte integrante do mobiliário das salas de vídeo e de eventos, pois este objeto é utilizado eventualmente para atividades didáticas diferenciadas.



Figura 4.14– Cadeira de pano (9), de fórmica (9), de plástico (9), classe fórmica (6).
Fonte: Autora.

Amostra considerada como um arranjo de objetos, dispostos na câmara reverberante como usados na prática, são apresentados na figura 4.15.



Figura 4.15 – Amostra composta de mochilas (12).

Fonte: Autora.

Amostra composta por apenas um objeto está representada na figura 4.16, medida em três posições diferenciadas.



Figura 4.16 – Quadro negro medido em três posições diferenciadas.

Fonte: Autora.

A cortina foi considerada como absorvedor plano, medida na situação fechada, distante das paredes da câmara reverberante mais de 1 m e pendurada na mesma disposição da sala de aula. Esta amostra de cortina de tecido retangular tinha $11,76\text{m}^2$ ($4,20 \times 2,80$), atendendo a exigência da norma de ser maior do que 10m^2 e menor que 12m^2 , conforme mostra a figura 4.17.



Figura 4.17– Cortina de pano usada como amostra nas medições.

Fonte: Autora.

4.3.1.3 Valores de referência para análise

Os valores utilizados como referência para as análises dos valores da absorção dos objetos comuns em sala de aula usaram dados apresentados na literatura e NBR 12179 (ABNT, 1992), conforme mostra a tabela 4.1:

A sequência apresentada permitiu uma análise de resultados mais organizada e de melhor compreensão, agrupando características arquitetônicas, resultados de ensaios *in situ* e em câmara reverberante.

Tabela 4.1 - Coeficientes de absorção sonora (em m^2 , Sabine) dos principais materiais e mobiliário encontrados em salas de aula (por $1m^2$ de material), em função da frequência.

Tipo de material	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alvenaria de blocos aparentes pintados ⁽¹⁾	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Alvenaria de tijolos rebocada ⁽¹⁾	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Assoalho de tábua corrida sobre contrapiso ⁽¹⁾	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Concreto ou cimentado liso e desempenado ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Concreto aparente, tratado e polido ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Placas de gesso (parede ou teto) ⁽²⁾	0,25	0,15	0,08	0,06	0,04	0,04
Cerâmica, mármore ou granito polido ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Plástico/ PVC (piso ou teto) ⁽²⁾	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
Fibra de vidro ⁽²⁾	0,70	0,85	0,75	0,85	0,90	0,90
Cortinas de tecido leve, esticada em contato com a parede ⁽¹⁾	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortinas de tecido médio, drapeada em 50% da área ⁽¹⁾	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Cortinas de tecido pesado, drapeada em 50% da área ⁽¹⁾	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Vidro comum montado em caixilho ⁽¹⁾	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Porta de madeira comum pintada ⁽¹⁾	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Quadro negro/lousa ⁽²⁾	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Carteira escolar, vazia ⁽¹⁾	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Cadeira de madeira, simples, vazia, ou pequena mesa ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05

Fontes: (1): Adaptado de BISTAFA (2006, p. 236-237).

(2): Adaptado de BRÜEL & KJAER (1978, p.37).

Fonte: Bistafa (2006); Brüel & Kjaer (1978), apud Amorim (2007).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta o levantamento das condições físicas das salas e os resultados das medições realizadas em câmara reverberante para a verificação dos parâmetros acústicos em salas destinadas ao ensino e aprendizagem de música. Também apresenta os resultados das medições em câmara reverberante dos tempos de reverberação de objetos comuns em salas de aula possibilitando o cálculo da absorção sonora dos mesmos.

5.1 Levantamento das condições físicas das salas

As cinco salas pertencentes à amostra, Sala de Eventos (S1), Sala de Eventos (S2), Sala de Vídeo (S3), Sala de Vídeo (S4) e Sala de Vídeo (S5), cada uma delas foi geometricamente descrita através da dimensão, da área e do volume de ar em seu interior, conforme mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Descrição geométrica das salas para o ensino da música.

Escola/Colégio	Dimensões L x C x A (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Superfície total (m ²)
S1 (Sala de Eventos)	7,40x11,15x3,60	82,51	297,04	266,80
S2 (Sala de Eventos)	8,80x10,65x2,80	93,72	264,62	293,50
S3 (Sala de Vídeo)	7,60x9,00x2,50	68,40	171,00	220,08
S4 (Sala de Vídeo)	4,45x6,65x2,75	29,59	81,37	120,53
S5 (Sala de Vídeo)	5,90x7,50x3,10	44,25	137,75	151,71

Fonte: Autora.

As salas são apresentadas em ilustrações e também em tabelas onde estão descritos materiais, tipo de superfície associada, os respectivos coeficientes de absorção sonora para a frequência de 500 Hz (NBR12179, 1992).

5.1.1 SALA DE EVENTOS (S1)

A sala estudada na Escola Estadual Ensino Médio Dr Walter Jobim foi a Sala de Eventos (figura 5.1) utilizada para eventos, palestras, apresentações culturais e outros fins. As verificações feitas na sala S1 apontaram inadequações relacionadas as condições acústicas para o ensino de música. S1 apresenta janelas em toda a extensão da parede ligada ao pátio externo e tem acesso direto ao pátio interno da escola, onde ocorrem as recreações.



Figura 5.1 – Detalhes da sala de eventos S1 (Polivalente).

Fonte: Autora.

Na Tabela 5.2 estão descritos materiais, tipo de superfície associada, coeficientes de absorção sonora e TR analítico da S1.

Tabela 5.2: Materiais, superfícies, coeficiente de absorção sonora e TR da sala S1.

Superfície	Material	Área S (m²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo Rebocado	66,41	0,017
Piso	Madeira Tipo Parquet	82,51	0,080
Teto	Laje rebocada pintada	82,51	0,014
Porta	Madeira compensada	1,89	0,030
Janelas	Vidro simples	30,12	0,027
Mesa	Chapas madeira leve	3,36	0,032
TR			4,849s

Fonte: Autora.

5.1.2 SALA DE EVENTOS (S2)

Esta sala (figura 5.2) é utilizada como sala de eventos, de apresentações culturais e outros fins. As verificações feitas na sala S2 apontaram inadequações relacionadas as condições acústicas para o ensino de música. A S2 está localizada nas construções em anexos, afastada da administração, das salas de aula e dos pátios, porém é nela que acontecem as atividades sociais e recreativas da comunidade. Possui uma parede divisória em madeira e vidro, próximas da sala de aula de educação física.



Figuras 5.2 – Sala de Eventos da Escola Rômulo Zanchi (Industrial).

Fonte: Autora.

Na Tabela 5.3 estão descritos materiais, tipo de superfície associada, coeficientes de absorção sonora e TR analítico da S2.

Tabela 5.3: Materiais, superfícies, coeficiente de absorção sonora e TR da sala S2.

Superfície	Material	Área S (m²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo	60,50	0,031
	Madeira	5,20	0,060
Piso	Madeira Tipo Parquet	91,25	0,080
Teto	Lambri de madeira	91,25	0,060
Porta	Madeira compensada	6,97	0,030
Janelas	Vidro simples	29,46	0,027
Mesa	Chapas de madeira	8,87	0,030
TR			2,621s

Fonte: Autora.

5.1.3 SALA DE VÍDEO (S3)

Esta Sala de Vídeo (figuras 5.3) é usada como sala de eventos e palestras. As verificações feitas em S3 apontaram inadequações relacionadas as condições acústicas para o ensino de música, pois duas paredes possuem em toda a extensão janelas com vidro simples, sendo que uma faz divisa com a rua e a outra com a quadra coberta, que abriga o intervalo das aulas e outras atividades culturais.



Figura 5.3 – Detalhes da sala de vídeo (Projeto Próprio).

Fonte: Autora.

Na Tabela 5.4 estão descritos materiais, tipo de superfície associada, coeficientes de absorção sonora e TR analítico da S3.

Tabela 5.4: Materiais, superfícies, coeficiente de absorção sonora e TR da sala S3.

Superfície	Material	Área S (m²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo Rebocado	54,87	0,017
Piso	Madeira Tipo Parquet	68,40	0,080
Teto	Laje rebocada pintada	68,40	0,014
Porta	Madeira compensada	1,89	0,030
Janelas	Vidro simples	25,24	0,027
Mesa	Chapas madeira leve	1,28	0,032
TR			3,382s

Fonte: Autora.

5.1.4 SALA DE VÍDEO (S4)

A Sala de Vídeo (S4) é sala de eventos e apresentações culturais (figura 5.4). As verificadas mostram que esta sala fica ao lado da secretaria e no hall de acesso as aulas, onde estão distribuídas as mesas para a merenda escolar. Também as janelas estão ligadas ao pátio interno, onde ocorrem os intervalos de aula.



Figura 5.4 – Detalhes da sala de vídeo (Nova Escola).
Fonte: Autora.

Na Tabela 5.5 estão descritos materiais, tipo de superfície associada, coeficientes de absorção sonora e TR analítico da S4.

Tabela 5.5 - Materiais, superfícies, coeficiente de absorção sonora e TR da sala S4.

Superfície	Material	Área S (m²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo Rebocado	49,00	0,017
Piso	Madeira Tipo Parquet	29,59	0,080
Teto	Laje rebocada pintada	29,59	0,014
Porta	Madeira compensada	1,89	0,030
Janelas	Vidro simples	9,18	0,027
Mesa	Chapas madeira leve	1,28	0,032
TR			3,308s

Fonte: Autora.

5.1.5 SALA DE VÍDEO (S5)

A sala definida para o estudo nesta escola foi a Sala de Vídeo (figura 5.5) utilizada atualmente como sala de eventos e apresentações.



Figuras 5.5 – Sala de Vídeo da Escola Básica Estadual Dr. Paulo Devanier Lauda.
Fonte: Autora.

Na Tabela 5.6 estão descritos materiais, tipo de superfície associada, coeficientes de absorção sonora e TR analítico da S5.

Tabela 5.6: Materiais, superfícies, coeficiente de absorção sonora e TR da sala S5.

Superfície	Material	Área S (m ²)	α (500 Hz)
Parede	Tijolo Rebocado	48,78	0,017
Piso	Passadeira leve	44,25	0,080
Teto	Laje rebocada pintada	44,25	0,014
Porta	Madeira compensada	1,89	0,030
Janelas	Vidro simples	12,00	0,027
Mesa	Chapas madeira leve	0,54	0,032
TR			4,117s

Fonte: Autora.

5.2 Verificação dos parâmetros acústicos em salas

Esta seção apresenta os valores médios dos parâmetros acústicos obtidos a partir da medição da resposta impulso em cada sala estudada das tipologias Polivalente, Industrial, Projeto Próprio, Nova Escola e CIEP.

Os valores dos parâmetros acústicos são apresentados em tabelas e são o Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C_{80}) e Definição (D_{50}), para as bandas de frequência de oitava entre 125 e 4.000 Hz. Também estão incluídos os correspondentes valores do Índice de Transmissão da Fala (STI).

Foram avaliadas duas situações distintas para cada sala, sendo a primeira a da sala sem mobiliário (SM) e num segundo momento a sala ocupada com mobiliário (CM) (representado em cinza). Para atender a condição de salas sem mobiliário, foram retirados todos os móveis e objetos que existiam no interior das salas. As salas analisadas são apresentadas na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Valores dos parâmetros acústicos experimentais das salas estudadas.

Sala	Parâmetro Acústico	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1.000	2.000	4.000
S1	TR [s]	2,43	2,56	2,27	2,22	2,38	2,22
		1,97	1,65	1,30	1,10	1,13	1,10
	EDT [s]	2,47	2,49	2,27	2,21	2,40	2,20
		2,03	1,76	1,28	1,13	1,14	1,06
	C ₈₀ [dB]	-2,18	-2,79	-2,83	-2,51	-2,56	-1,89
		-0,45	-0,32	0,54	1,65	2,05	2,15
	D ₅₀	0,24	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27
0,30		0,30	0,34	0,42	0,44	0,44	
STI	0,41			0,55			
S2	TR [s]	1,47	1,43	1,81	1,85	1,67	1,31
		1,11	1,40	1,76	1,79	1,64	1,29
	EDT [s]	0,92	1,21	1,77	1,84	1,64	1,31
		0,83	1,25	1,76	1,88	1,62	1,27
	C ₈₀ [dB]	4,97	1,61	-1,28	-1,93	-1,13	1,50
		5,30	1,76	-0,87	-1,10	0,15	1,56
	D ₅₀	0,60	0,42	0,32	0,31	0,37	0,35
0,65		0,44	0,31	0,31	0,37	0,43	
STI	0,47			0,47			
S3	TR [s]	2,61	1,97	1,98	2,01	1,96	1,65
		2,51	1,84	1,85	1,98	1,78	1,51
	EDT [s]	2,31	1,93	1,95	2,23	1,97	1,65
		2,30	1,81	1,80	1,93	1,76	1,50
	C ₈₀ [dB]	-3,37	-1,61	-1,28	-1,93	-1,13	-0,03
		-3,21	-1,32	-0,62	-1,37	-0,64	0,58
	D ₅₀	0,20	0,30	0,30	0,27	0,30	0,35
0,22		0,31	0,33	0,29	0,33	0,38	
STI	0,43			0,45			
S4	TR [s]	1,60	1,44	1,31	1,37	1,50	1,42
		1,27	1,06	0,84	0,82	0,91	0,91
	EDT [s]	1,30	1,32	1,27	1,40	1,53	1,39
		1,09	1,05	0,83	0,87	0,92	0,91
	C ₈₀ [dB]	1,91	0,79	1,60	0,80	0,49	1,09
		2,33	2,96	4,99	4,46	3,74	3,71
	D ₅₀	0,42	0,36	0,43	0,37	0,40	0,41
0,47		0,50	0,58	0,58	0,53	0,54	
STI	0,51			0,62			
S5	TR [s]	2,01	1,99	2,24	2,39	2,23	1,83
		1,77	1,53	1,34	1,46	1,52	1,45
	EDT [s]	1,52	1,89	2,28	2,40	2,24	1,80
		1,49	1,46	1,36	1,47	1,53	1,45
	C ₈₀ [dB]	-0,83	-1,12	-2,10	-2,64	-1,99	-0,81
		-0,61	-0,04	0,78	0,31	-0,27	0,04
	D ₅₀	0,29	0,26	0,25	0,24	0,26	0,31
0,30		0,35	0,37	0,35	0,33	0,34	
STI	0,42			0,50			

Fonte: Autora.

5.2.1 TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Os valores de TR experimentais nas salas estudadas, em geral apresentam valores acima dos sugeridos na literatura para salas dedicadas ao ensino da música. Embora os valores estejam acima das recomendações, estes não apresentam grandes variações para as bandas de frequência de oitava entre 125 e 4.000 Hz para cada sala, considerando a situação da sala vazia (SM) e também para a sala mobiliada (CM).

Para melhor avaliar o resultados do TR nas salas estudadas, os dados são apresentados no gráfico da figura 5.6, considerando a situação da sala sem mobiliário (SM) e a sala com mobiliário (CM).

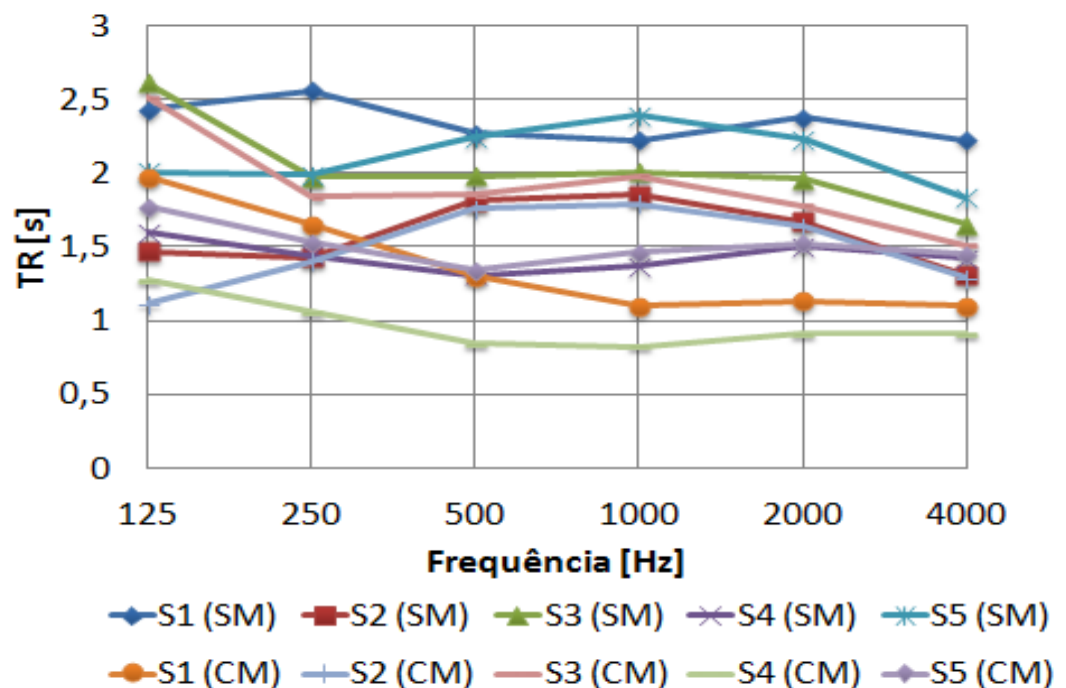


Figura 5.6 - TR nas salas na situação sem mobília (SM) e com mobília (CM).

A norma brasileira NBR 12179 (ABNT, 1992) mostra na frequência de 500 Hz, um tempo ótimo de reverberação de aproximadamente 0,9s para a sala de maior volume estudada (297 m³), considerando o caso de salas de concerto, pois este é o uso mais aproximado das salas dedicadas ao ensino de música aqui estudado. Para

a palavra falada, o valor fica próximo de 0,6s no caso desta sala de maior volume considerada para a análise.

As maiores diferenças nos valores de TR calculadas nas frequências 500 Hz e 1000 Hz, entre as salas sem e com mobília ocorreram em S1 (0,97s e 1,12s) e S5 (0,90s e 0,93s), podendo ser atribuída esta diferença ao tipo de objeto comum no mobiliário da sala. A S1 quando ocupada, é preenchida entre outros objetos, por 79 cadeiras estofadas em tecido, o que pode ter contribuído para aumentar a superfície de absorção da sala e conseqüentemente, diminuir o TR da mesma. A mesma situação acontece para a S5, que quando ocupada, entre outros objetos possui 36 cadeiras de couro sintético.

Pode-se destacar as menores diferenças nos valores de TR, em 500 Hz e 1000 Hz, as salas S2 (0,05s e 0,06s) e S3 (0,13s e 0,03s). Nestas salas os materiais e os objetos pertencentes à mobília, possuem coeficientes de absorção sonora menores, S2 com grande quantidade de vidros e S3 com pouco mobiliário e grande quantidade de cadeiras em plástico rígido para uso eventual.

A análise do comportamento do TR é feita em todas as frequências da banda de oitava, porém quando ocorrem valores divergentes em frequências diferentes a 500 Hz e 1000 Hz, estes não devem ser considerados preocupantes pois, segundo mostrou anteriormente na seção de revisão bibliográfica quadro 3.10, vários autores afirmam que as variações nas baixas frequências podem ser atribuídas à sensibilidade do equipamento de medição capaz de captar todos os sons ambientais cujas frequências são geralmente baixas.

Em comparativo com as salas de prática e ensaio de instrumentos com valores de vários pesquisadores, compilados por Sá (2010) no quadro 3.11 da revisão bibliográfica, para 500 Hz e um volume de 182 m³, o TR deve ficar em torno de 0,9s.

Esses valores podem ser comparados a S3 (171 m³), cujo TR em 500 Hz é de 1,98s sem mobília e 1,85s com mobília, mostrando que nas duas situações essa sala e as demais, tem valores de TR muito distante do recomendado para salas de educação musical.

A presença de mobiliário nas salas deveria contribuir, como elementos absorvedores, para reduzir os valores de TR. Na verdade, mesmo estando os valores de TR muito distantes dos recomendados como sendo favoráveis para uma boa condição acústica de salas para música, as salas estudadas contam com alguns elementos que auxiliam com uma pequena redução nos TR.

O TR das salas aumenta com o aumento de volume das mesmas, a sala S1, por exemplo, possui o volume mais elevado das salas e também para 500 Hz, o valor mais elevado de TR sem mobília. Com a presença do mobiliário o TR diminuiu consideravelmente, atribuindo essa redução de valor, ao material que compõe a superfície das cadeiras. Apesar das salas S2 e S3 terem volumes menores que S1 e assim seus TR também serem menores, outros fatores também são relevantes. O forro contribuiu com a absorção da sala S2, pois o material deste é madeira compensada. Na S3, a baixa redução no TR, considerando a sala mobiliada, é devido ao reduzido mobiliário na sala, o que ajudou a manter este valor com pouca diferença. Na sala S4 e S5, as cadeiras estofadas contribuem para aumentar a absorção dessas salas, considerando também que a presença de pessoas modificaria de forma relevante o TR.

5.2.2 TEMPO DE DECAIMENTO INICIAL

EDT descreve a reverberação percebida pelo ouvinte. Observando todas as salas esse parâmetro tem um comportamento muito similar ao do TR para uma mesma sala, sem e com a presença de mobília, mostrando coerência entre a reverberação e o efeito desta no ouvido do ouvinte. É importante que o TR e o EDT tenham o mesmo comportamento, assim a sensação sonora e o comportamento real de reverberação da sala são coincidentes. O fato é que EDT e TR são originários da mesma resposta de energia, por isso a semelhança nos seus comportamentos.

Para Bradley (1986), na frequência de 1000 Hz, EDT deveria ter o mesmo valor recomendado para TR de 0,5s, o que podemos verificar que não acontece nas atuais condições da sala.

A figura 5.7 mostra o comportamento do EDT em função da frequência.

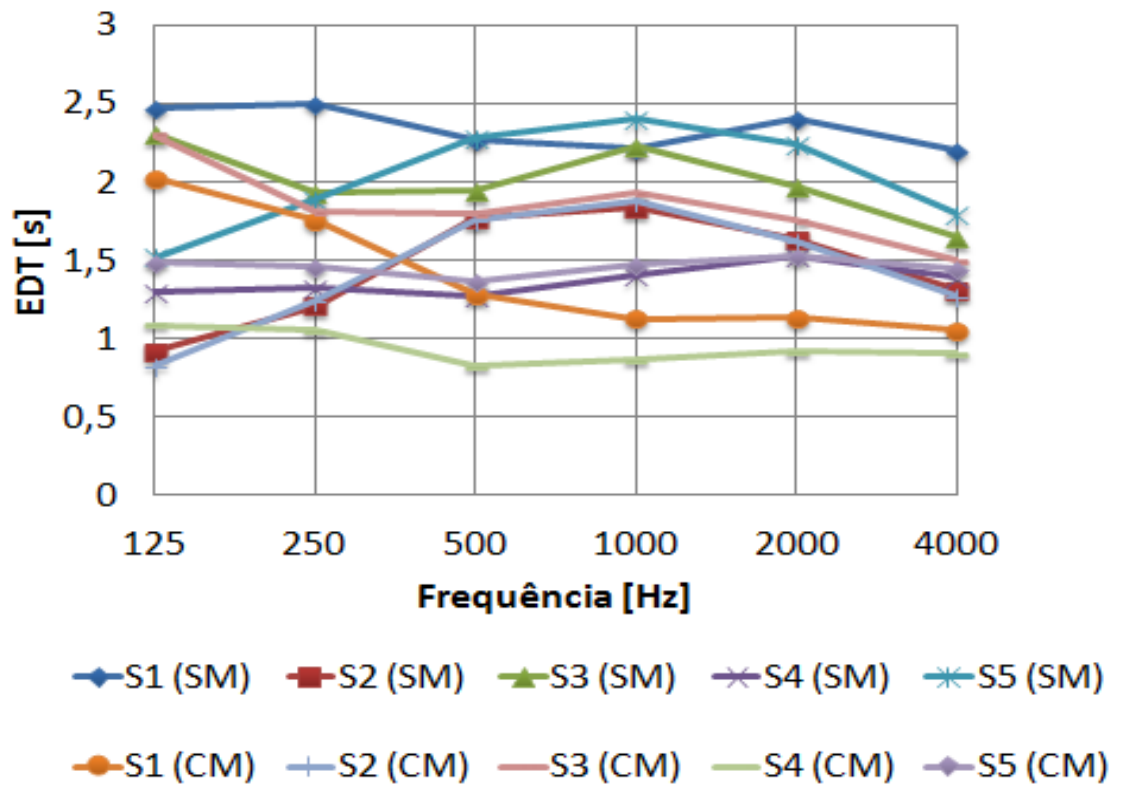


Figura 5.7 – Comportamento de EDT em função da frequência.

Beranek (2004), no entanto, considerando pequenas salas dedicadas à performance e audição musical desocupadas, sugere valores para EDT e diz que estes podem variar entre 2,25s e 2,75s. Nessas condições, a sala S1 na condição desocupada atenderia a essa sugestão e as salas S2 e S4 não estariam adequadas. A sala S3 em 125 Hz estaria adequada tanto desocupada como com mobília e S5 quando desocupada, atenderia para as frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

5.2.3 CLAREZA

Considerando que C_{80} é o parâmetro utilizado para definir a clareza musical de salas dedicadas à música, a figura 5.8 apresenta o comportamento de C_{80} em função da frequência.

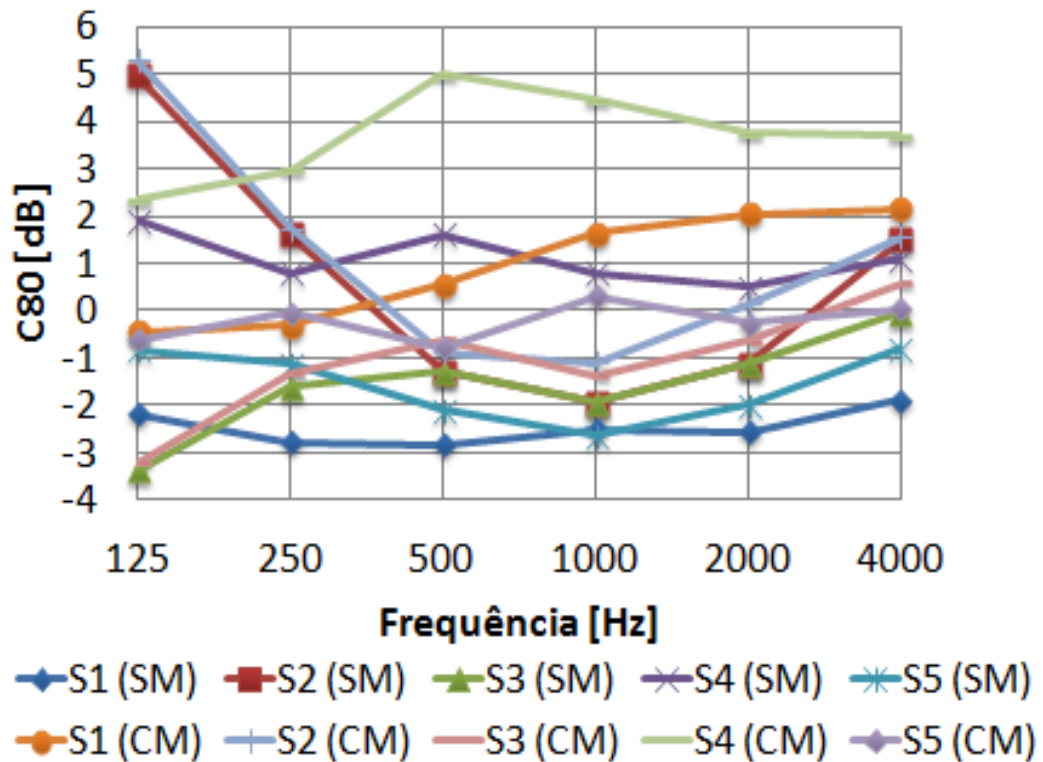


Figura 5.8 – Comportamento do C_{80} da frequência para as cinco salas estudadas.

Conforme mostra o gráfico, a presença do mobiliário aumenta consideravelmente os valores da Clareza, ou seja, é um parâmetro diretamente relacionado à absorção da sala. A percepção de uma sala clara significa que as articulações sonoras da música tocada nela ficam bem definidas. Quando os objetos ocupam a sala, os valores do C_{80} aumentam, de forma que a execução musical na sala se torna mais nítida e definida.

Em todas as medições verificou-se que os valores deste parâmetro estavam dentro das recomendações de Beranek (2004), que afirma que os valores de C_{80} oscilam entre -4 dB e +4 dB, mostrando somente na frequência 125 Hz da sala S2 sem mobília um valor fora do recomendado (4,97 dB) e com mobília (5,30 dB).

5.2.4 DEFINIÇÃO

A clareza da fala, tem sido correlacionada com a inteligibilidade da fala, que representa a relação entre o número de palavras ou sílabas entendidas e o número de palavras sentenças ou sílabas faladas e seu valor varia de 0 a 1 e quanto mais próximo de 1, melhor a D_{50} e portanto melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 2009).

A figura 5.9 apresenta o comportamento de D_{50} em função da frequência.

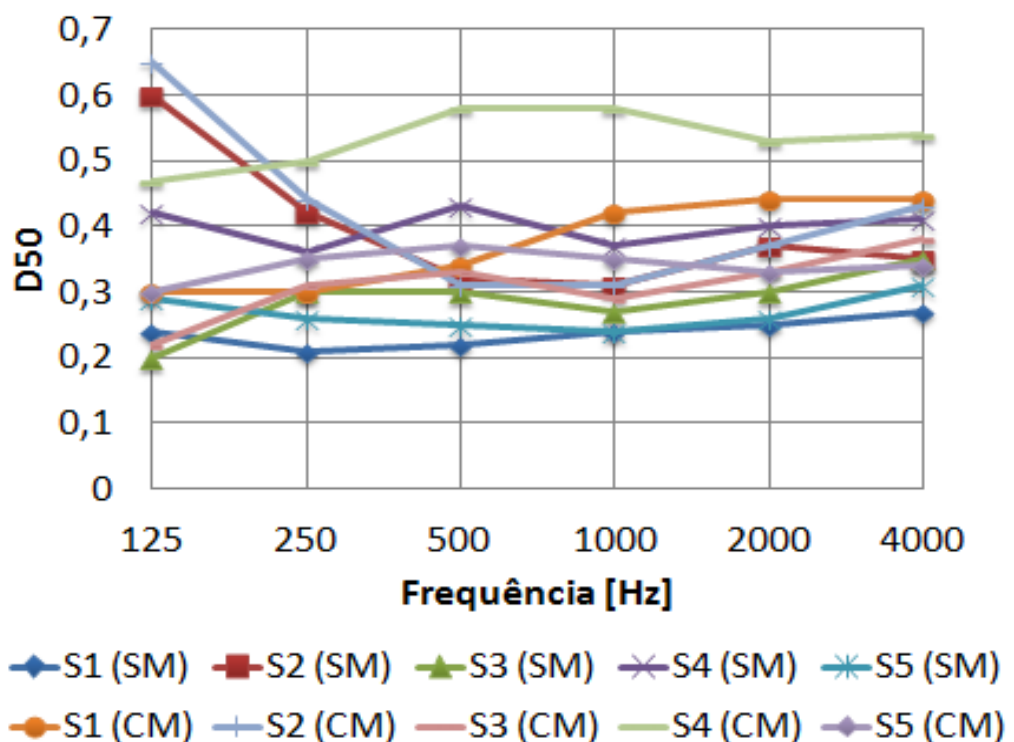


Figura 5.9 – Comportamento do D_{50} da frequência para as cinco salas estudadas.

D_{50} apresentou valores dentro do que é recomendado nas normas, isso para as duas situações de ocupação da sala, SM ou CM. O fato é que mesmo estando dentro dos valores sugeridos pela norma, a presença da mobília tem responsabilidade pela mudança de comportamento desse parâmetro.

Nas salas S2 e S3, justamente as duas salas cujos mobiliários são escassos e de uso eventual, a medição do D_{50} resultou em valores quase idênticos, sendo a mobília um elemento que não interferiu no comportamento do parâmetro. Nas

demais salas, a presença da mobília tratou de fazer uma correção deste parâmetro com o aumento da absorção no ambiente, melhorando a definição da palavra.

Pode-se observar que, para uma mesma sala, uma mesma condição de ocupação e para a mesma frequência, quando o valor de TR aumenta, a D_{50} diminui, pois esses parâmetros têm comportamento inverso.

5.2.5 INTELIGIBILIDADE DA FALA

Este parâmetro depende das características acústicas do ambiente como a absorção, a reflexão, a isolamento e o ruído de fundo (SALAZAR, 1990 apud PAIXÃO, 2007). Portanto toda análise feita para os outros parâmetros, que são relacionadas à absorção do ambiente estudado, dizem respeito também ao STI. Este parâmetro possui valores classificados pela IEC 60268-16 (2003) e analisando as cinco salas, pode-se verificar que S1 e S5 eram “fracas” quando desocupadas e que após a colocação do mobiliário passaram a ter uma inteligibilidade “adequada” para seu interior. S1 e S5 são salas cujas mobílias são compostas principalmente por cadeiras estofadas que possuem um coeficiente de absorção sonora maior que dos outros objetos.

S2 mostrou valores para STI classificado como “adequado” tanto quando desocupada como após a ocupação e com valores idênticos. S3, da mesma forma, desocupada ou ocupada apresenta valores para STI quase idênticos e classificados como “fraco”, ou seja, a audibilidade da fala é fraca. S4 é classificada como “adequada” quando desocupada e diante da presença das mobílias, passa a ter a STI classificada como “boa”. A tabela 5.8, mostra o comportamento de STI.

Tabela 5.8 – classificação STI das salas conforme a inteligibilidade de fala.

Sala	STI Sem mobília	STI Com mobília
S1	Fraca	Adequada
S2	Adequada	Adequada
S3	Fraca	Fraca
S4	Adequada	Boa
S5	Fraca	Adequada

Fonte: Elaborado pela Autora, de acordo co a norma IEC 60268-16 (2003).

5.3 Verificação dos TR considerando os objetos comuns em sala de aula

Os resultados das medições em câmara reverberante dos tempos de reverberação considerando os objetos comuns em salas de aula e os respectivos valores calculados da absorção sonora de cada um destes objetos, conforme estabelece a norma ISO 354 (2003), são apresentados na tabela 5.9 em bandas de oitava, nas frequências de 125 a 4000 Hz. Os valores detalhados das medições em bandas de 1/3 de oitava para cada objeto são apresentados no apêndice B.

Tabela 5.9 – Absorção sonora dos objetos comuns em salas de aula, obtidas experimentalmente em banda de oitava, nas frequência de 125 a 4000 Hz.

Absorção Sonora (A/nº objetos)	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Cadeira de Fórmica	0,027	0,014	0,031	0,024	0,028	0,004
Cadeira de Pano	0,078	0,109	0,252	0,295	0,332	0,342
Cadeira de Plástico	0,098	0,160	0,216	0,180	0,157	0,123
Classe de Fórmica	0,016	0,018	0,034	0,042	0,055	0,053
Mochila	0,110	0,202	0,203	0,239	0,211	0,173
Quadro Negro	0,075	0,058	0,064	0,100	0,149	0,160
Cortina	0,087	0,137	0,253	0,459	0,590	0,644

Fonte: Autora.

Conforme a Tabela 5.9, que apresenta os valores resultantes dos ensaios em câmara reverberante, em bandas de oitava de 125 Hz até 4000 Hz, a cadeira de fórmica e a classe de fórmica apresentam absorção sonora menor em relação a outros de mesma utilidade.

A cortina de pano usada como amostra de absorvedor nas medições mostrou valores do coeficiente de absorção sonora em bandas de oitava variando de forma acentuada, partindo do valor 0,087s em 125 Hz e chegando a 0,664s em 4000 Hz.

Considerando a qualidade acústica das salas, buscando uma diminuição do tempo de reverberação, os objetos ensaiados servem como referência para

simulações de substituições de materiais usados na rede pública de ensino, por outros de mesma função, porém com valores de absorção sonora mais elevada que poderiam contribuir com a condição acústica do ambiente. Um exemplo seria a substituição das cadeiras de fórmica da rede pública de ensino, por cadeiras de outro material mais absorvente, tornar-se-ia bastante onerosa para os cofres públicos e geraria outro problema relacionado ao desperdício de materiais. Porém, essa substituição feita em longo prazo, poderia ser viável.

Dos elementos ensaiados e analisados nesse estudo, que são a cadeira de fórmica, de pano e de plástico, a classe de fórmica, a mochila, o quadro negro e a cortina, alguns deles como a classe de fórmica, o quadro negro e a cortina de pano, já foram verificados em outros estudos.

A tabela 5.10 mostra os valores experimentais neste estudo e os valores estudados por Bistafa (2006) e por Brüel & Kjaer (B&K) (1978).

Tabela 5.10 – valores experimentais e bibliográficos de absorção sonora de objetos

Absorção Sonora	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Cadeira de Pano	0,078	0,109	0,252	0,295	0,332	0,342
Cadeira de Plástico	0,098	0,160	0,216	0,180	0,157	0,123
Classe de Fórmica	0,016	0,018	0,034	0,042	0,055	0,053
Bistafa (2006)	0,020	0,020	0,030	0,040	0,060	0,080
Mochila	0,110	0,202	0,203	0,239	0,211	0,173
Quadro Negro	0,075	0,058	0,064	0,100	0,149	0,160
(B&K) (1978)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020
Cadeira de Fórmica	0,027	0,014	0,031	0,024	0,028	0,004
Cortina	0,087	0,137	0,253	0,459	0,590	0,644
Bistafa (2006)	0,030	0,040	0,110	0,170	0,240	0,350

Fonte: Autora.

Os valores da absorção sonora dos objetos comuns em salas de aula resultantes do estudo experimental realizado nesta pesquisa, principalmente os já estudados por outros pesquisadores como o quadro negro (B&K, 1978) e a classe de fórmica e a cortina (BISTAFA, 2006), quando comparados mostram que os valores do quadro negro apresentados por B&K (1978) são muito maior que os valores obtidos neste estudo. Podendo-se atribuir essa diferença à tecnologia dos equipamentos da época ou talvez ao material componente do quadro.

Para o valor das cortinas, a cortina usada por Bistafa (2006) foi de tecido leve, esticada em contato com a parede e a cortina usada neste estudo das salas de aula foi cortina de tecido leve também esticada e distando da parede o necessário, conforme a descrição anterior do ensaio.

Os valores comparados da classe de fórmica são quase idênticos de 125 Hz até 2000 Hz, diferenciando apenas em 4000 Hz, onde o valor de Bistafa é 0,027 maior que o valor ensaiado nas salas estudadas.

O restante dos objetos de sala de aula ensaiados neste estudo, cadeira de pano, cadeira de plástico, cadeira de fórmica e mochila tem valores ensaiados para o coeficiente de absorção sonora que podem contribuir para a análise das condições acústicas de salas de aula, considerando a situação de sala mobiliada.

5.4 Considerações acústicas e arquitetônicas das salas

Para a melhor compreensão das condições acústicas e arquitetônicas das cinco salas estudadas todos os dados referentes ao levantamento das condições físicas das salas, a verificação dos parâmetros acústicos em salas e a verificação dos TR em câmara reverberante dos objetos comuns em salas são resumidos na tabela 5.11 e também apresentadas aqui algumas considerações referentes aos dados apresentados.

No que se refere ao levantamento físico, a sala de eventos S1 (Polivalente), a sala de eventos S2 (Industrial), as salas de vídeo S3 (Projeto Próprio), S4 (Nova Escola) e S5 (CIEP) possuem características próprias definidas por suas tipologias.

As cinco salas possuem forma geométrica retangular, mantendo o critério de paralelismo entre paredes opostas e perpendicularismo entre paredes adjacentes.

As paredes são em tijolo rebocado, com exceção da S2 onde o tijolo não é rebocado e possui uma parede interna divisória em madeira.

As salas possuem teto em laje rebocada, também com exceção da S2, cujo forro é de madeira, do tipo placas de lambri e não possui laje ou pré-laje, o forro acompanha a inclinação do telhado. Nenhuma sala possui forro ou qualquer tratamento acústico.

Os pisos das salas são em madeira tipo parquet, menos a S5 (CIEP), cujo piso é de passadeira leve (piso vinílico).

As portas são em madeira não maciça. As janelas são em estrutura metálica e vidro comum, menos a sala de eventos S2, onde a janela tem estrutura em madeira.

Todas as salas possuem ventiladores de teto e a iluminação artificial é feita de igual forma em todas as salas por lâmpadas fluorescentes.

Com relação à verificação dos parâmetros acústicos em salas, foram avaliados cinco parâmetros: TR, EDT, C_{80} e D_{50} para as bandas de frequência de oitava entre 125 e 4.000 Hz e também os valores de STI. Foram consideradas duas situações para a realização das medições em sala de aula, sem mobília (SM) e com mobília (CM). Consta também da tabela, o TR analítico calculado pela fórmula de Sabine. Com isso pode-se comparar com maior clareza, principalmente o comportamento do TR nas diversas situações consideradas.

Também são apresentados os objetos comuns às salas estudadas e que comumente fazem parte das salas de aula da rede estadual de educação. Esses objetos foram submetidos a ensaios em câmara reverberante para o conhecimento de seus coeficientes de absorção sonora.

A tabela 5.11 apresenta então esse resumo para ampliar a discussão e a comparação dos resultados.

Tabela x – Condições acústico-arquitetônicas das salas das cinco tipologias estudadas.

Sala	Dimensões m	Área m ²	Parâmetro Arquitetônico			Sabine 0,5 KHz TR [s] SM	Parâmetro Acústico (Experimentais)						Objetos comuns em salas unidades
			Parede	Teto	Piso		Frequência (kHz)	TR [s] SM CM	EDT [s] SM CM	C80 [dB] SM CM	D50 SM CM	S77 SM CM	
S1	L: 7,40	82,51 297,04	Tijolo rebocado	Laje rebocada	Madeira Parquet	4,85	0,5	2,27	2,27	-2,83	0,22	0,41	Cadeira estofada tecido* (79) Mesas madeira (3) Quadro negro* (1) Lousa branca (1) Cortina de algodão*
	1,0						2,22	2,21	-2,51	0,34			
	2,0						1,10	1,13	1,65	0,24			
S2	L: 8,80	93,72 264,62	Tijolo & Madeira	Lambri de madeira	Madeira Parquet	2,62	0,5	1,81	1,77	-1,28	0,32	0,47	Cadeiras fôrmica* (24) Mesas madeira (2) Mesa fôrmica (1) Mesa aglomerado (1) Quadro negro* (1) Armário madeira e vidro (1)
	1,0						1,85	1,84	-1,93	0,31			
	2,0						1,79	1,88	-1,10	0,31			
S3	L: 7,60	68,40 171,00	Tijolo rebocado	Laje rebocada	Madeira Parquet	3,38	0,5	1,98	1,95	-1,28	0,30	0,43	Cadeira estofada tecido* (15) Cadeira estofada couro sintético* (17) Balcões de madeira (2) Lousa branca (1) Cortina plástica
	1,0						2,01	2,23	-1,93	0,27			
	2,0						1,98	1,93	-1,37	0,29			
S4	L: 4,45	29,59 81,37	Tijolo rebocado	Laje rebocada	Madeira Parquet	3,31	0,5	1,31	1,27	1,60	0,43	0,51	Cadeira estofada tecido* (15) Cadeira estofada couro sintético* (17) Balcões de madeira (2) Lousa branca (1) Cortina plástica
	1,0						0,84	0,83	4,99	0,58			
	2,0						1,37	1,40	0,80	0,37			
S5	L: 5,90	44,25 137,75	Tijolo rebocado	Laje rebocada	Passad eira leve	4,12	0,5	0,82	0,87	4,46	0,58	0,42	Cadeira fôrmica (7) Cadeira estofada couro sintético* (36) Mesa madeira (3) Quadro negro (1)* e Lousa branca (1) Armário madeira (1) Armário fôrmica (3) Cortina média
	1,0						1,50	1,53	0,49	0,40			
	2,0						0,91	0,92	3,74	0,53			

Legenda: *valor resultante de medição de TR em câmara reverberante executado pela autora.

Fonte: Elaborado pela autora.

O resultado da apresentação dos dados resumidos na tabela 5.11 é o que permite uma visão mais abrangente do comportamento acústico de cada sala estudada.

A sala que apresenta o maior volume é a sala de eventos S1(Polivalente) e é também a que apresenta o maior valor de TR analítico e também o segundo maior valor experimental. Mas a sala de vídeo S5 apresenta o maior TR experimental, porém seu volume é menor que a metade do volume da S1, o que só pode ser justificado pelos materiais que compõem as salas. S5 além de ter piso vinílico tem na parede de fundo de sala, balcões em fórmica e uma pia com bancada em inox.

A sala de eventos S2 tem o segundo maior volume das salas estudadas e seu TR analítico é o mais baixo das cinco salas. Também o TR ensaiado é o segundo menor das salas, isso pode ser justificado pelos materiais da sala referidos na tabela, ou seja, é a única sala com tijolo sem reboco e com divisória em madeira, única sem laje e com forro em madeira e as janelas são também em madeira.

Ainda observando a tabela, pode-se conhecer sobre a condição acústica das salas a partir dos parâmetros acústicos medidos. O EDT apresentou valores quase idênticos aos valores de TR, mostrando que a percepção do ouvinte é a real da acústica da sala. C_{80} apresenta valores sem mobília dentro dos valores sugeridos (-4 dB a +4 dB), porém na situação com mobília, duas salas apresentaram valores um pouco acima do sugerido, 4,99 dB em 500 Hz e 4,46 dB em 1000 Hz.

A definição da fala, D_{50} também apresenta os valores dentro das sugestões da literatura e quanto maior o TR, menor a definição, mais ela se afasta da unidade que é o valor ideal.

Uma das observações mais relevantes sobre as medições do TR nas salas é a contribuição do mobiliário no comportamento do som dentro das salas estudadas, mostrando a contribuição desses objetos para a diminuição dos TR das salas, melhorando as condições acústicas das mesmas. É possível visualizar também, a contribuição diferenciada de cada tipo de material, de acordo com seu coeficiente de absorção sonora.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tipologias de salas apresentadas neste estudo são espaços já existentes na rede estadual de educação e caracterizam-se por formas arquitetônicas e construtivas que atendiam as necessidades da época de suas implantações, o que justifica quando hoje novamente analisadas, as dificuldades de adaptação à nova realidade de inserção da música nos currículos escolares. As necessidades de conforto térmico ou de iluminação não significavam prioridade no desenvolvimento projetual e menos ainda, as questões acústicas ambientais ou da própria sala.

As salas estudadas pertencem a um grupo de ambientes já utilizados como sala de eventos e sala de vídeos, indicados pelos próprios gestores escolares como sendo os locais mais apropriados para receber a nova proposta de inserção da música.

A caracterização arquitetônica destes espaços, contribuiu para o conhecimento das condições dos mesmos. Porém a realidade construída e seu entorno não poderão ser reconstruídos mas sim adaptados.

A análise dessa caracterização deixou claro que as salas pertencentes a amostra em estudo, não foram projetadas para o uso em questão, que é a música, considerando as condições acústicas dos ambientes. A simples observação da distribuição dos espaços escolares, onde salas de aula compartilham acessos e janelas com pátios de lazer, quadras de esportes, refeitórios e secretarias.

Esta avaliação acústica através da verificação dos parâmetros acústicos das cinco salas, mostrou que as mesmas não são apropriadas para o desenvolvimento de atividades escolares que envolvam a música e a fala. Mesmo considerando que durante o período letivo, as salas serão ocupadas pelos alunos, por mochilas e objetos pessoais. Observa-se que estas salas precisam de tratamento acústico para adequá-las às condições favoráveis de uso para a execução musical (instrumento, audição de som com equipamentos sonoros) e para o caso do diálogo do professor/alunos.

As condições físicas das salas em geral, necessitam de cuidados para tentar melhorar a qualidade acústica dos ambientes. Por exemplo, as portas das salas

estudadas possuem significativos espaços livres entre o piso e as aberturas e são orientadas para a rua ou para a área de lazer e esportes das escolas.

No que se refere ao entorno das salas, esta pesquisa está vinculada a uma rede de universidades pertencentes ao projeto ABRAMUS e que realizaram estudos específicos direcionados para o isolamento sonoro de salas, portanto este tema não foi desenvolvido aqui.

As salas possuem laje rebocada, o que contribui com a adequação acústica, porém a S2 (projeto de tipologia Industrial) possui forro de placas de madeira compensada e em sua grande área está danificada pela umidade.

Pode ser percebido que o Tempo de Reverberação das salas foi consideravelmente modificado com a colocação dos objetos de mobília, considerando que o mobiliário possa ser um elemento que pode contribuir com a adaptação das salas, pois apesar de já fazer parte do espaço, pode ser substituído aos poucos, contribuindo com a qualidade acústica procurada, através de novos tecidos das cadeiras estofadas, cortinas, etc.

A inserção do mobiliário nas salas para buscar alterações nos valores experimentados para os parâmetros acústicos ensaiados, não significa ser a solução para as condições acústicas das salas estudadas, persistindo a orientação de que as adequações físicas desses ambientes serão necessárias.

A maioria das escolas ao implantar a nova legislação (Lei nº. 11769/08), encontrará dificuldades, pois deverão utilizar salas já usadas para palestras e eventos, porém não adaptadas e equipadas para o ensino/aprendizagem de música. Esse fato confirma a importância de estudos nesse tema, pois as salas avaliadas desempenham atualmente um papel necessário para atender as propostas escolares, mas de agora em diante, elas terão a responsabilidade de propiciar aos alunos uma educação musical de qualidade.

Sendo assim, são apresentadas na sequência, recomendações que podem contribuir com adaptações ou ajuste dos ambientes já construídos nas escolas.

Este estudo poderá contribuir para que as escolas, neste momento inicial de implantação da Legislação, possam realizar um levantamento das condições físicas desses espaços destinados à música, buscando sua manutenção e reforma, adequando materiais e mobiliários.

6.1 Recomendações para salas destinadas ao ensino da música

As recomendações apresentadas aqui são o produto de um estudo detalhado das condições acústicas das salas de aula de diferentes tipologias arquitetônicas.

Primeiramente é necessária uma vistoria nos detalhes construtivos, já que se trata de uma adaptação ao que já está sendo utilizado. Devem ser observadas portas e janelas, para que de forma alguma existam frestas, vãos ou vidros quebrados.

A segunda é uma vistoria direcionada a todo elemento ou equipamento presente em sala que produza ruídos objetivando a mitigação dos mesmos. Isso se consegue verificando as instalações e modelos do ventilador, do ar condicionado, dos equipamentos audiovisuais e outros. Também buscar soluções para a proteção de pés de classes e cadeiras com protetores de borracha, evitando ruídos durante a movimentação destes.

Sabe-se que este estudo não foi direcionado para o isolamento sonoro, porém como recomendação, deve ser observada na sala a presença ou ausência de laje ou do forro, o ideal seria a presença simultânea dos dois. Ainda relacionado ao isolamento, verificar o sistema de fechamento das aberturas, pois geralmente estas são ligadas diretamente aos corredores de acesso e aos pátios ou quadras de esportes, quanto melhor for o fechamento desses, menos interferência dos sons do entorno em sala de aula.

Com relação à adequação acústica do ambiente interno, se faz necessário um estudo técnico da sala destinada ao ensino da música para que os parâmetros acústicos sejam analisados, porém na realidade, nem sempre isso é possível e providências simples podem ser adaptadas para diminuir o TR das salas. Uma delas é a substituição de estantes metálicas usadas para guardar materiais, por estantes em madeira, abertas, tipo caixilhos. Também devem ser observadas as classes e as cadeiras, uma substituição desses objetos, quando em fórmica, por madeira e cadeiras estofadas respectivamente, seria ideal com vistas ao conforto acústico.

Mesmo sabendo-se que estas salas para o ensino de música já existem e devem apenas ser adaptadas, é importante ressaltar que podem ser elaborados projetos para adequação acústica das mesmas. O projetista, de posse do valor do TR adequado e dos valores dos coeficientes de absorção acústico dos materiais tem

condições de criar soluções para uma adequação acústica, garantindo a qualidade das salas para o ensino da música nas escolas estaduais.

Também podem ser usados artifícios de usar materiais que deixem as paredes irregulares, contribuindo com o espalhamento do som. O ideal quanto a geometria da sala, seria não haver paralelismo entre as paredes, mas sabe-se que se trata de adaptação e não de construção. Devem ser evitados vigamentos aparentes no teto da sala, podendo usar da proposta de forros em madeira.

Para contribuir com as adaptações desses espaços escolares para melhorar as condições acústicas das salas, sugere-se uma ferramenta de informação aos gestores escolares, através de uma ficha de levantamento, denominada de “Ficha Técnico Acústico – Arquitetônica” (figura 5.10), responsável pela investigação das condições acústicas das salas usadas para música. Essas fichas são de fácil compreensão e anexadas a estas uma ficha de recomendações para adequação das salas para o ensino da música.

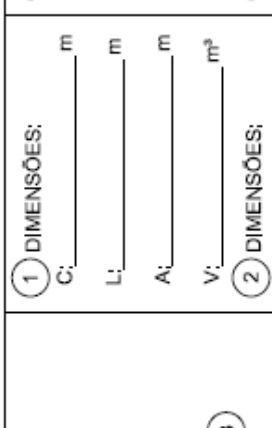
FICHA TÉCNICA ACÚSTICA				
DESCRIÇÃO DO AMBIENTE:				
<p style="text-align: center;">①</p> 	<p style="text-align: center;">②</p> <p style="text-align: center;">③</p>	<p style="text-align: center;">④</p>	<p style="text-align: center;">⑤</p>	<p>Equação de Sabine:</p> $TR = \frac{0,163 V}{A}$ <p>TR: Tempo de Reverberação V: Volume do ambiente [m³] A: Absorção sonora equivalente [m²]</p>
AMBIENTE				
<p>① DIMENSÕES:</p> C: _____ m L: _____ m A: _____ m V: _____ m³ <p>② DIMENSÕES:</p> C: _____ m L: _____ m A: _____ m V: _____ m³	<p>③ PAREDE:</p> Material: _____ Dimensão: _____ Área: _____ Elementos: Portas; Janelas: _____	<p>④ PAREDE:</p> Material: _____ Dimensão: _____ Área: _____ Elementos: Portas; Janelas: _____	<p>⑤ PAREDE:</p> Material: _____ Dimensão: _____ Área: _____ Elementos: Portas; Janelas: _____	<p>⑥ PAREDE:</p> Material: _____ Dimensão: _____ Área: _____ Elementos: Portas; Janelas: _____
ELEMENTOS				
<p>PORTA:</p> Quantidade: _____ unid. Material: _____ _____	<p>FORRO/TETO:</p> Material: _____ _____	<p>PISO:</p> Material: _____ _____	<p>CONSIDERAÇÕES PERTINENTES:</p> 	
<p>JANELA:</p> Quantidade: _____ unid. Material: _____ _____		<p>Área: _____ m²</p>	<p>RESPONSÁVEL: _____ DATA: / /</p>	

Figura 5.10 - “Ficha Técnico Acústico – Arquitetônica.”

Fonte: Autora.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI S12.60**: acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. Accredited Standards Committee S12, Noise. Standards Secretariat Acoustical Society of America, Melville, NY: American National Standards Institute. 2002.
- AMORIM, A. E. B. **Formas Geométricas e Qualidade Acústica de Salas de Aula: Estudo de Caso em Campinas-SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tratamento acústico em recintos fechados – procedimento**: NBR 12179. Rio de Janeiro. 1992.
- BARRON, M. **Auditorium acoustics and architectural design**. 2. ed. New York: Spon Press, 2010.
- BERANEK, L. **Acoustics and musical qualities**. Massachussettes, 1996.
- BERABEK, L. VER, I. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. Neew Jersey: JW & Sons , 2006.
- BISTAFA, S. R. **Acústica Arquitetônica**: Qualidade sonora em salas de audição crítica. Descrição detalhada. (2005) <Disponível em: [www.poli.usp.br /p/syvio.bistafa / ACUSARQ/ACUSARQ_CNPQ.pdf](http://www.poli.usp.br/~p/syvio.bistafa/ACUSARQ/ACUSARQ_CNPQ.pdf) > Acesso em: 20 Set. 2010.
- _____. **Acústica aplicada ao controle de ruído**, São Paulo: Blucher, 2006.
- BRASIL. Congresso Nacional. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional** Lei nº 9.394/96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e base da educação nacional. Brasília: DF, 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros básicos de infra-estrutura para instituições de educação infantil**. Brasília: MEC, SEB, 2006.
- BRÜEL & KJAER. **Architectural acoustics**. 2.ed. USA: Brüel &Kjaer, 1978. 170p.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 2.ed. – Brasília: Thesaurus, 2010.

COSTA, E.C. da. **Acústica Técnica**. São Paulo: Edgar Blücher, 2003.

DIRAC Acoustics Measurement Software, Versão 4.1, Brüel & Kæjer, Acoustics Engineering, Manual, 2008.

FONTEERRADA, M. T. de O. Diálogo interáreas: o papel da educação musical da atualidade. **Revista da ABEM**. Porto Alegre, n.18, 2007. Disponível em: <<http://geodados.pg.utfpr.edu.br/pag/index.php?gd=arq/revistas> >. Acesso em: 20 set. 2010.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

INTERNACIONAL ELETROTECHINICAL COMMISSION (IEC). **IEC 60268-16**: Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 3382 - 1: 2009 – **Acoustics - Measurement of room acoustic parameters** - Part 1: Performance spaces, 2009.

_____. ISO 3382 -2:2009 – **Acoustics – Measurement of room acoustic parameters** – Parte 2: Reverberation time in ordinary rooms.

_____. ISO 354 – **Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room**, 2003.

KUTTRUFF, H.; **Room Acoustics**. Elsevier Science Publishers LTD, London, 3ª edition, 2007.

LLINARES G.; LLOPIS R. A.; SANCHO J. V. **Acústica arquitectónica y urbanística**. Valência: Universidade Politécnica de Valência, 1996.

LONG, M. **Architectural acoustics**. Londres: Elsevier Academic Press, 2006.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: Avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

MANNIS, J. A. **Design de difusores sonoros a partir de processo serial:** adequação acústica de pequenas salas à performance e audição musical. 2008. 396 p. Tese (Doutorado em Música) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MARTINS, R. Educação musical: uma síntese histórica como preâmbulo para uma ideia de educação musical do século XX. **Revista da ABEM**. Porto Alegre, n.1, 1992. Disponível em: <<http://geodados.pg.utfpr.edu.br/pag/index.php?gd=arq/revistas> >. Acesso em: 20 set. 2010.

PAIXÃO, D.X. da. **Análise das condições acústicas em sala de aula**. 1996. 208 f. Dissertação (Mestrado em Educação)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.

PENNA, M. Caminhos para a conquista de espaços para a música na escola: uma discussão em aberto. **Revista da ABEM**. Porto Alegre, n.19, 2008. Disponível em: <<http://geodados.pg.utfpr.edu.br/pag/index.php?gd=arq/revistas> >. Acesso em: 20 set. 2010.

PRESSONUS Electronics, Version 1.0, FIREBOX, Manual del usuario, 2005.

SÁ, L. R. de. **Acústica e educação em música:** estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto, 2010. 153 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5.ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T., 2005.

TORO, M. G. U. **Avaliação acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém – PA:** uma proposição de projeto acústico. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

APÊNDICES

Apêndice A – Planta Baixa das cinco salas estudadas de tipologia Polivalente (S1), Industrial (S2), Projeto Próprio (S3), Nova Escola (S4) e CIEP (S5).

S1 será apresentada em plantas (figuras 1).

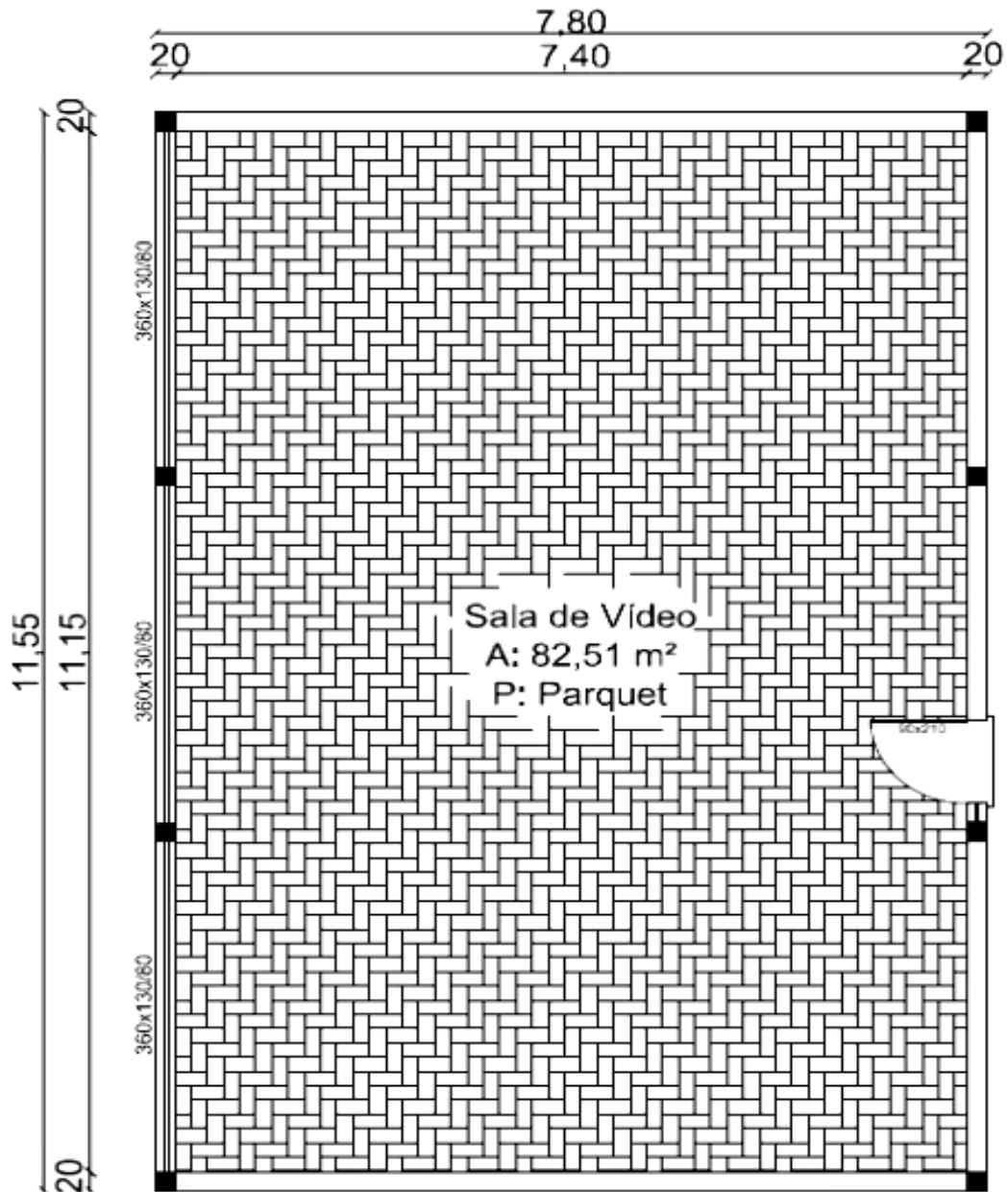


Figura 1 – Planta baixa da sala de eventos S1 (Polivalente)

Fonte: a autora.

S2 será apresentada em plantas (figuras 2).

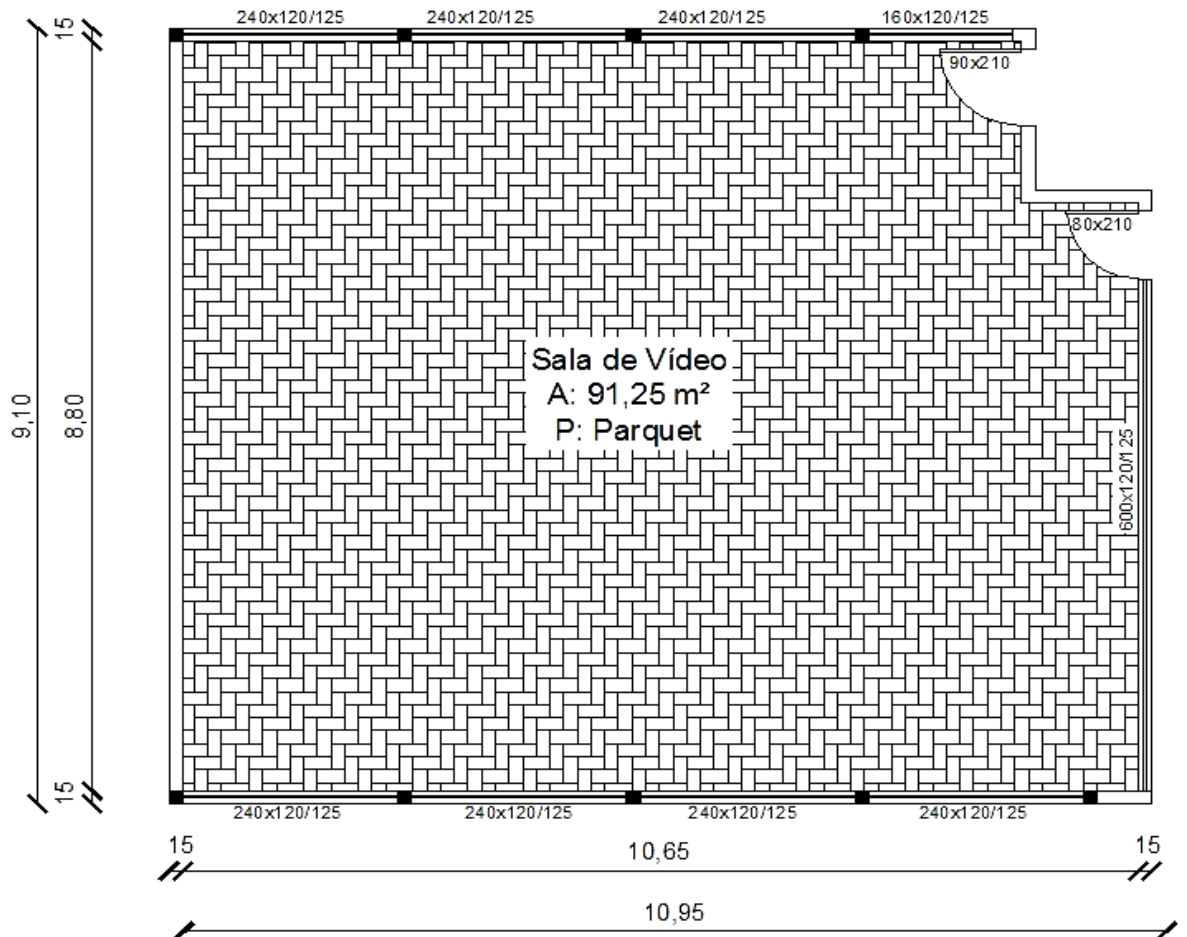


Figura 2 – Planta baixa da sala de eventos S2 (Industrial).

Fonte: a autora.

S3 será apresentada em plantas (figuras 3).

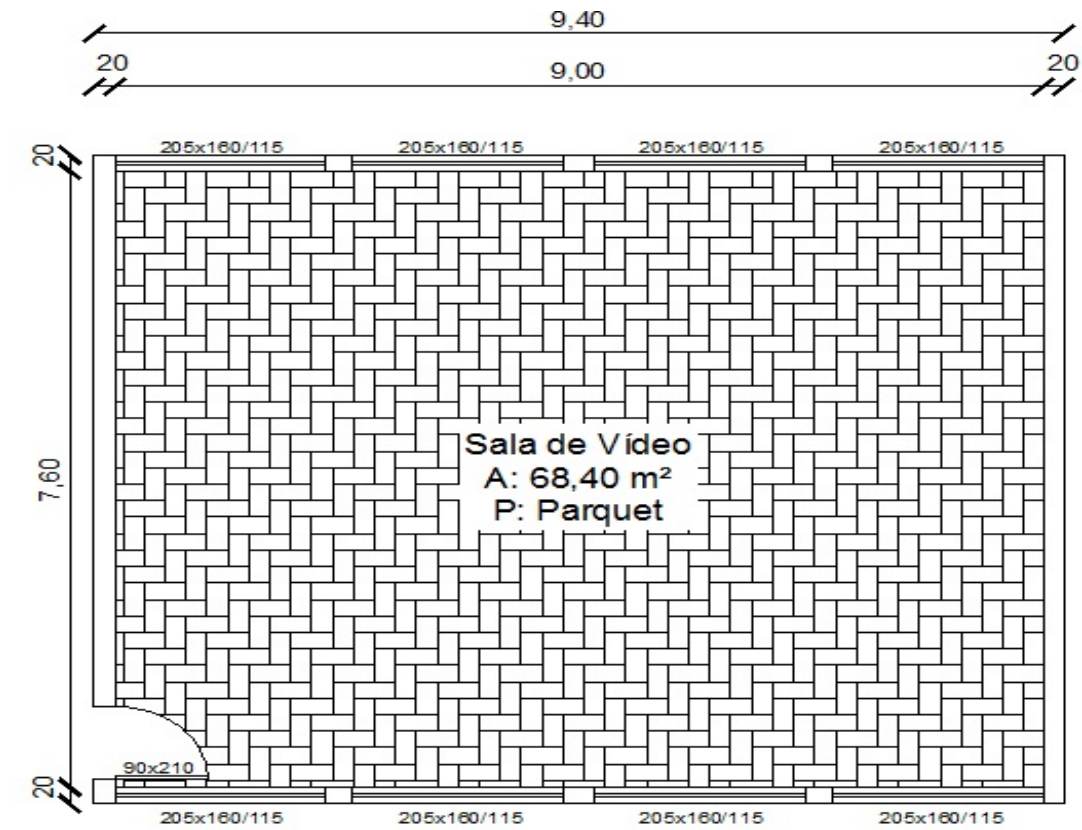


Figura 3 – Planta baixa da sala de vídeo S3 (Projeto Próprio).

Fonte: a autora.

S4 será apresentada em plantas (figuras 4).

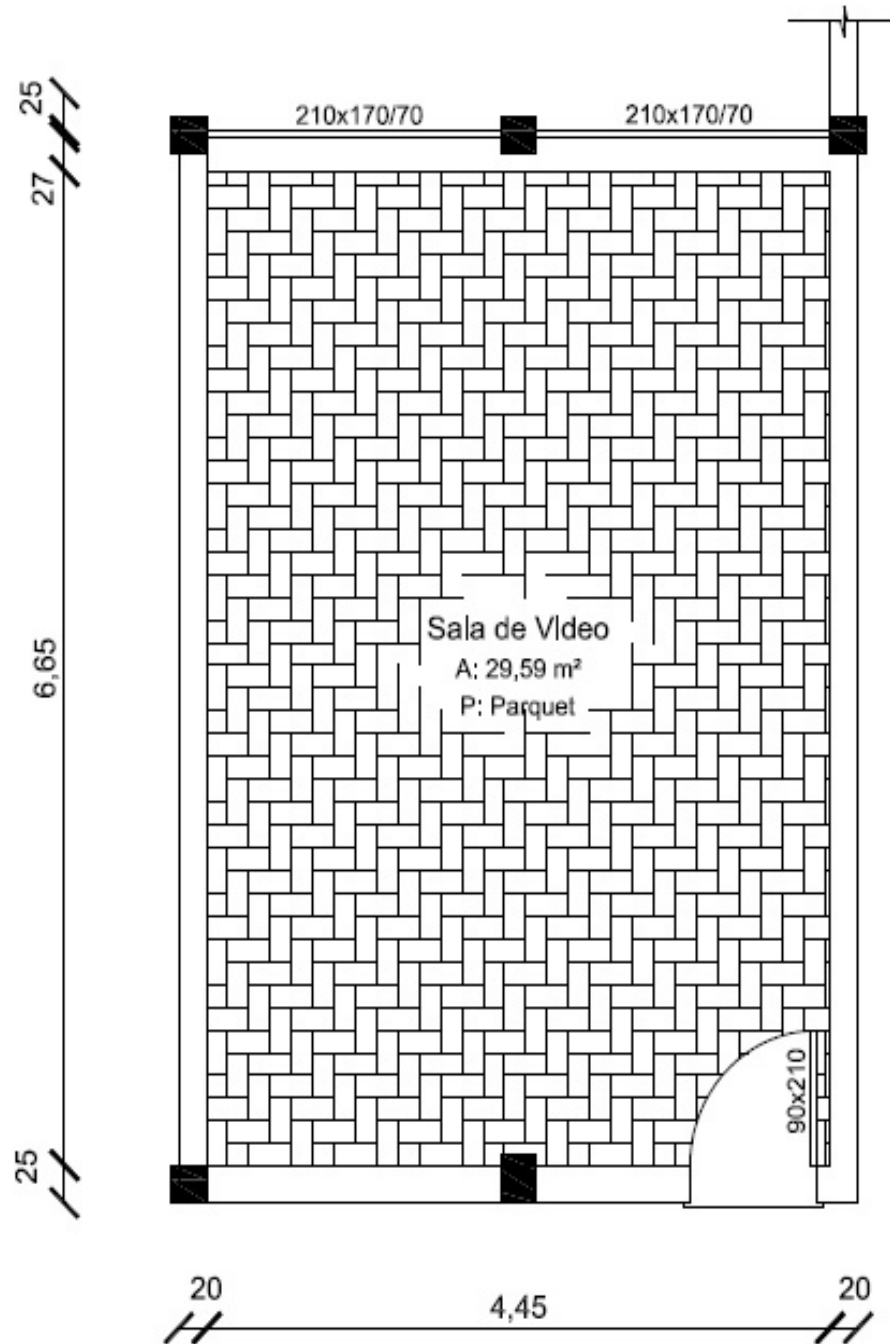


Figura 4 – Planta baixa da sala de vídeo S4 (Nova escola)

Fonte: a autora.

S5 será apresentada em plantas (figuras 5).



Figura 5 – Planta baixa da sala de vídeo S5 (CIEP).

Fonte: a autora.

Apêndice B - Resultados das medições em câmara reverberante dos tempos de reverberação de objetos comuns em salas de aula e os respectivos valores analíticos para obtenção dos coeficientes de absorção sonora de cada um destes objetos, verificados em banda de 1/3 de oitava (frequências de 100 a 5000 Hz).

Tabela 1 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para a cadeira de fórmica.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	17.1	14.4	15.4	15.6	15.1	15.9	14.0	12.5	12.0	10.9	9.8	8.6	8.0	7,1	6.2	5.2	4.3	3.6
DP	1.96	1.52	0.69	0.76	0.45	0.61	0.32	0.25	0.24	0.15	0.08	0.10	0.07	0.06	0.05	0.06	0.06	0.03
A2	1.96	2.33	2.18	2.15	2.22	2.10	2.39	2.67	2.79	3.08	3.41	3.90	4.19	4.69	5.43	6.40	7.71	9.32
A1	1.76	2.08	1.83	1.88	2.09	1.99	2.23	2.39	2.63	2.83	3.20	3,63	3.89	4.44	5.17	6.24	7.67	9.52
A	0.20	0.24	0.35	0.27	0.13	0.12	0.16	0.28	0.15	0.25	0.21	0.27	0.30	0.25	0.26	0.16	0.04	-0.20
α	0.02	0.03	0.04	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	-0.02

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 2 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para a cadeira de pano.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	15.40	11.64	13.32	13.62	10.91	10.12	8.95	7.18	6.55	6.25	5.72	5.29	5.0	4,50	4.05	3.61	3.11	2.69
DP	2.57	0.98	0.74	0.71	0.36	0.22	0.29	0.23	0.17	0.10	0.10	0.08	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
A2	2.17	2.88	2.51	2.56	3.07	3.31	3.74	4.66	5.11	5.35	5.86	6.32	6.76	7.43	8.26	9.28	10.75	12.43
A1	1.76	2.08	1.83	1.88	2.09	1.99	2.23	2.39	2.63	2.83	3.20	3,63	3.89	4.44	5.17	6.24	7.67	9.52
A	0.42	0.79	0.68	0.68	0.98	1.32	1.51	2.26	2.47	2.53	2.65	2.70	2.84	2.99	3.09	3.04	3.08	2.91
A	0.05	0.09	0.08	0.08	0.11	0.15	0.17	0.25	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.32

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 3 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para a cadeira de plástico.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	15.14	11.28	12.20	11.74	9.50	9.26	8.51	7.70	7.31	7.19	6.95	6.64	6.36	5,72	5.11	4.44	3.81	2.21
DP	3.96	0.89	0.69	0.54	0.32	0.23	0.17	0.17	0.16	0.07	0.11	0.10	0.09	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03
A2	2.21	2.97	2.74	2.85	3.52	3.62	3.93	4.34	4.58	4.65	4.82	5.04	5.26	5.85	6.55	7.53	8.78	10.45
A1	1.76	2.08	1.83	1.88	2.09	1.99	2.23	2.39	2.63	2.83	3.20	3,63	3.89	4.44	5.17	6.24	7.67	9.52
A	0.45	0.88	0.92	0.97	1.47	1.63	1.70	1.95	1.94	1.83	1.62	1.41	1.38	1.41	1.38	1.29	1.11	0.93
A	0.05	0.10	0.10	0.11	0.16	0.18	0.19	0.22	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 4 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para classe de fórmica.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	17.37	15.53	16.67	16.17	15.34	15.20	13.79	12.81	11.84	10.74	9.66	8.52	7.88	7.01	6.10	5.10	4.24	3.48
DP	2.25	1.41	0.85	0.39	0.47	0.20	0.36	0.24	0.16	0.16	0.16	0.08	0.09	0.08	0.04	0.06	0.04	0.04
A2	1.93	2.23	2.07	2.14	2.25	2.28	2.51	2.70	2.92	3.22	3.58	4.06	4.39	4.94	5.67	6.77	8.15	9.94
A1	1.76	2.08	1.83	1.88	2.09	1.99	2.23	2.39	2.63	2.83	3.20	3.63	3.89	4.44	5.17	6.24	7.67	9.52
A	0.17	0.14	0.24	0.26	0.17	0.29	0.27	0.30	0.29	0.39	0.38	0.43	0.50	0.49	0.50	0.53	0.48	0.42
A	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para a cortina.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	14.48	10.98	12.19	11.21	9.02	8.56	7.13	6.17	5.13	4.36	3.88	3.41	3.16	2.94	2.70	2.23	2.22	
DP	1.06	0.60	0.42	0.32	0.30	0.25	0.23	0.17	0.11	0.08	0.08	0.06	0.08	0.04	0.04	0.05	0.02	0.02
A2	2.31	3.04	2.74	2.98	3.71	3.90	4.69	5.42	6.52	7.67	8.62	9.80	10.58	11.39	12.38	13.74	15.08	17.10
A1	1.78	2.02	1.93	1.97	2.10	1.98	2.24	2.44	2.65	2.87	3.28	3.65	3.90	4.45	5.14	6.18	7.52	9.26
A	0.52	1.02	0.82	1.01	1.61	1.93	2.44	2.98	3.86	4.80	5.39	6.15	6.68	6.94	7.23	7.55	7.57	7.92
A	0.04	0.09	0.07	0.09	0.04	0.17	0.21	0.25	0.33	0.41	0.46	0.52	0.57	0.59	0.61	0.64	0.64	0.67

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 6 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para a mochila.

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	12.18	9.99	10.37	10.01	7.38	7.48	7.08	6.85	6.21	5.85	5.48	5.20	5.09	4.79	4.42	3.98	3.48	2.98
DP	0.72	0.37	0.47	0.67	0.19	0.23	0.17	0.14	0.11	0.08	0.07	0.06	0.10	0.06	0.05	0.06	0.04	0.03
A2	2.74	3.34	3.22	3.34	4.53	4.47	4.71	4.88	5.38	5.71	6.10	6.42	6.56	6.98	7.56	8.39	9.6	11.10
A1	1.78	2.02	1.93	1.97	2.10	1.98	2.24	2.44	2.65	2.87	3.28	3.65	3.90	4.45	5.14	6.18	7.52	9.26
A	0.96	1.32	1.29	1.36	2.43	2.49	2.47	2.44	2.73	2.84	2.87	2.77	2.66	2.53	2.42	2.21	2.08	1.91
A	0.08	0.11	0.11	0.11	0.20	0.21	0.21	0.20	0.23	0.24	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.18	0.17	0.10

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 7 – Valores de TR médios e coeficientes de absorção sonora para o quadro negro (três posições).

T30	Hz / KHz																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0
Média	18.03	14.66	17.03	17.04	14.95	15.74	13.94	13.05	11.81	10.86	9.67	8.50	7.85	6.92	5.96	4.96	4.14	3.41
DP	2.91	1.86	0.90	0.65	0.40	0.34	0.26	0.20	0.18	0.19	0.12	0.10	0.11	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04
A2	1.86	2.28	1.97	1.96	2.24	2.13	2.40	2.56	2.83	3.08	3.46	3.94	4.26	4.83	5.62	6.74	8.09	9.79
A1	1.76	2.08	1.83	1.88	2.09	1.98	2.23	2.40	2.64	2.82	3.20	3.63	3.89	4.44	5.17	6.24	7.66	9.52
A	0.10	1.20	0.13	0.08	0.15	0.14	0.17	0.70	0.20	0.26	0.26	0.31	0.38	0.39	0.45	0.50	0.42	0.27
A	0.04	0.08	0.05	0.03	0.06	0.05	0.06	0.06	0.08	0.10	0.10	0.12	0.14	0.15	0.17	0.19	0.16	0.10

Fonte: elaborado pela autora.