

LAYLA CHRISTINE ALVES TALIN

**INTER-RELAÇÕES ENTRE ASPECTOS ARQUITETÔNICO-CONSTRUTIVOS E A
ACÚSTICA EM ESPAÇOS ADAPTADOS PARA A PRÁTICA MUSICAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

T146i
2013 Talin, Layla Christine Alves, 1986-
Inter-relações entre aspectos arquitetônico-construtivos e a
acústica em espaços adaptados para a prática musical / Layla
Christine Alves Talin. – Viçosa, MG, 2013.
xiii, 117 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndice.

Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.107-112.

1. Acústica Arquitetônica. 2. Projeto arquitetônico -
Controle de qualidade. 3. Música - Treinamento. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Arquitetura e Urbanismo.
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
II. Título.

CDD 22 ed. 690.2

LAYLA CHRISTINE ALVES TALIN

**INTER-RELAÇÕES ENTRE ASPECTOS ARQUITETÔNICOS E A ACÚSTICA EM
ESPAÇOS ADAPTADOS PARA A PRÁTICA MUSICAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 9 de Outubro de 2013.

Joyce Correna Carlo

Maristela Siolari da Silva

Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Orientador)

Aos Amores que me dão sentido.

Agradecimentos

A Deus.

Aos meus pais, Pedro e Edna, heróis.

Ao meu admirado irmão, Pedro Hugo.

À companhia prestativa, Cássio.

Ao Tibiriçá, orientador exemplar.

À Universidade de Música Popular Bituca.

Ao Conservatório Estadual de Música Theodolindo José Soares.

Ao Conservatório Municipal de Música Heitor Villa Lobos.

Aos colaboradores das três escolas de música, fundamentais para esta pesquisa.

À UFV e ao DAU.

À CAPES.

Parafraseando Chico Buarque:
Música, para se esquecer do cansaço
e despedir-se da dor.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações	viii
Lista de Quadros	xi
Resumo	xii
Abstract.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.1.1. Relevância do tema	1
1.2. Formulação do Problema	3
1.3. Objetivos da Pesquisa	4
1.3.1. Geral.....	4
1.3.2. Específicos	4
1.4. Resumo da Estrutura Metodológica da Pesquisa	4
1.5. Organização do Documento Final	5
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Música, educação musical e ambiente	6
2.2. Escolas de Música.....	9
2.3. Acústica Arquitetônica	11
2.3.1. Conceitos fundamentais de acústica arquitetônica	12
2.3.2. Atributos objetivos e subjetivos para salas de prática musical.....	25
2.4. Aspectos Projetuais.....	31
2.4.1. Sistemas adaptados.....	32
2.5. Desempenho Acústico e Projeto de Salas para Escolas de Música	35
2.5.1. Programa de projeto para escolas de música.....	38
3. Material e métodos	41
3.1. Material.....	41
3.2. Métodos	41
3.2.1. Pesquisa bibliográfica	41

3.2.2.	Pesquisa documental	42
3.2.3.	Visitas exploratórias	42
3.2.4.	Medições acústicas	43
3.2.5.	Avaliação do Tempo de Reverberação (TR)	45
3.2.6.	Método do traçado dos raios - Acústica geométrica	45
3.2.7.	Observação direta	46
3.2.8.	Entrevistas	46
3.2.9.	Questionários	47
3.3.	Definição de variáveis	47
4.	Estudos de Caso: três unidades adaptadas à prática musical	48
4.1.	Aspectos Gerais	48
4.1.1.	Unidade A: Universidade de Música Popular Bituca	48
4.1.2.	Unidade B: Conservatório Estadual Theodolindo José Soares	49
4.1.3.	Unidade C: Conservatório Municipal Heitor Villa-Lobos	51
4.2.	Conformação Física	52
4.2.1.	Unidade A	53
4.2.2.	Unidade B	55
4.2.3.	Unidade C	58
4.3.	Comportamento do Usuário	60
4.3.1.	Unidade A	60
4.3.2.	Unidade B	61
4.3.3.	Unidade C	62
4.4.	Atributos Acústicos	63
4.4.1.	Tempo de Reverberação	63
4.4.2.	Tempo de Decaimento Inicial	72
4.4.3.	Claridade C80	74
4.4.4.	Razão de Graves e Razão de Agudos	75
4.5.	Níveis de Pressão Sonora (NPS)	76
4.5.1.	Nível Sonoro em atividade	77
4.5.2.	Som Residual	80
4.6.	Perda por Transmissão Sonora (PTS)	82
4.7.	Acústica Geométrica	89

4.7.1.	Eco Palpitante.....	89
4.7.2.	Eco.....	90
4.8.	Opinião do Usuário.....	91
4.8.1.	Classificação dos ambientes segundo os usuários.....	91
4.8.2.	Espaço físico	92
4.8.3.	Som residual	93
4.8.4.	Atributos acústicos	94
4.8.5.	Execução musical	96
4.9.	Inter-relações: comportamento e uso vs. dados técnicos	97
5.	Considerações finais.....	102
5.1.	Conclusões	102
	O projeto, a implantação, o edifício	102
	O som residual e o ruído	103
	O ambiente sonoro	103
	O usuário	104
5.2.	Recomendações para adequações nas escolas estudadas.....	105
5.2.1.	Recomendações gerais	105
5.2.2.	Recomendações Específicas.....	105
5.3.	Recomendações para trabalhos futuros.....	106
	Referências Bibliográficas.....	107
	Apêndices	113
	Anexos.....	116

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Estrutura metodológica da pesquisa.....	5
Figura 2.1: Campos de estudo acústico.	11
Figura 2.2: Composição timbre sonoro.	13
Figura 2.3: Frequências das notas musicais.....	14
Figura 2.4: NPS para diversas atividades.	18
Figura 3.1: Salas selecionadas como elementos de análise.	43
Figura 3.2: Localização dos pontos de leitura. [a] Elemento A1; [b] Elemento A2; [c] Elemento A3; [d] Elemento B1 [e] Elemento B2; [f] Elemento B3; [g] Elemento C1; [h] Elemento C2; [i]Elemento C3.	44
Figura 4.1: Localização da Unidade A na malha urbana.....	49
Figura 4.2: Localização da Unidade B na malha urbana.	50
Figura 4.3: Espacialização atual da Unidade B.	51
Figura 4.4: Localização da Unidade A na malha urbana.....	52
Figura 4.5: Configuração da Unidade A em planta baixa.	53
Figura 4.6: Constituição do Estúdio.	54
Figura 4.7: Configuração do Anexo2 da Unidade B em planta baixa.	56
Figura 4.8: Configuração do prédio principal da Unidade B em planta baixa.	57
Figura 4.9: Análise em planta, Unidade C.....	59
Figura 4.10: Mapa comportamental, Unidade A - Elementos 1,2 e 3.	60
Figura 4.11: Mapa comportamental, Unidade B – Elementos 1, 2 e 3.....	61
Figura 4.12: Mapa comportamental, Unidade C – Elementos 1, 2 e 3.....	63
Figura 4.13: Tempo de Reverberação para o Elemento A1.	64
Figura 4.14: Contribuição individual dos componentes do ambiente no TR, em A1.	64
Figura 4.15: Tempo de Reverberação para o Elemento A2.	65

Figura 4.16: Contribuição individual dos componentes construtivos no TR, em A2.	65
Figura 4.17: Tempo de Reverberação para o Elemento A3.	66
Figura 4.18: Contribuição individual dos componentes construtivos no TR, em A3.	66
Figura 4.19: Tempo de Reverberação para o Elemento B1.....	67
Figura 4.20: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.	68
Figura 4.21: Tempo de Reverberação para o Elemento B2.....	68
Figura 4.22: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.	68
Figura 4.23: Tempo de Reverberação para o Elemento B3.....	69
Figura 4.24: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.	69
Figura 4.25: Tempo de Reverberação para o Elemento C1.....	70
Figura 4.26: Tempo de Reverberação para o Elemento C2.....	70
Figura 4.27: Tempo de Reverberação para o Elemento C3.....	70
Figura 4.28: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C1.	71
Figura 4.29: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C2.	71
Figura 4.30: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C3.	71
Figura 4.31: EDT a 125Hz para os elementos de análise.....	72
Figura 4.32: EDT a 250Hz para os elementos de análise.....	72
Figura 4.33: EDT a 500Hz para os elementos de análise.....	73
Figura 4.34: EDT a 1000Hz para os elementos de análise.....	73
Figura 4.35: EDT a 2000Hz para os elementos de análise.....	73
Figura 4.36: EDT a 4000Hz para os elementos de análise.....	73
Figura 4.37: Claridade C80 para os elementos de análise, na faixa de frequência.	75
Figura 4.38: Razão de Graves e Razão de Agudos para os elementos de análise.....	76
Figura 4.39: Nível Sonoro para prática de Saxofone.....	78
Figura 4.40: Nível Sonoro para prática de Clarineta.	78
Figura 4.41: Nível Sonoro para prática de Flauta.....	79

Figura 4.42: Nível Sonoro para prática de Trombone e Trompete.....	79
Figura 4.43: Nível Sonoro para prática musical.	80
Figura 4.44: Nível de Som Residual para os elementos de análise em diferentes situações e horários.	81
Figura 4.45: Organização das vedações verticais para análise de PTS.	83
Figura 4.46: PTS em partições internas nas paredes classificadas como 01 e 02.	86
Figura 4.47: Perda sonora nas paredes do envelope das edificações nas Unidades A e B.....	88
Figura 4.48: Perda sonora nas paredes do envelope das edificações na Unidade C.....	88
Figura 4.49: Percurso dos raios para verificação de eco.	90
Figura 4.50: Espaço Físico, segundo avaliação dos usuários.	93
Figura 4.51: Som residual segundo avaliação dos usuários.	94
Figura 4.52: Atributos acústicos segundo avaliação dos usuários.....	95
Figura 4.53: Execução musical segundo a avaliação dos usuários.....	96

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Níveis de ruído admissíveis por tempo de exposição.....	19
Quadro 2.2: Níveis de som residual admissíveis para salas de música.	20
Quadro 4.1: Volume por pessoa nos elementos da Unidade A.	55
Quadro 4.2: Volume por pessoa nos elementos da Unidade B.	58
Quadro 4.3: Volume por pessoa nos elementos da Unidade B.	60
Quadro 4.4: Simulação de vedação da abertura vazada no Elemento B1.	67
Quadro 4.5: Perda por transmissão sonora nas unidades de análise.....	84
Quadro 4.6: Perda sonora necessária nas partições, conforme frequência.	85
Quadro 4.7: Perda sonora necessária nos painéis do envelope das edificações.	87
Quadro 4.8: Condições para a presença de eco palpitante.	90
Quadro 4.9: Percurso dos raios para verificação de eco.....	91
Quadro 4.10 Inter-relação - condições físicas dos elementos	98
Quadro 4.11: Inter-relação - nível de ruído.	98
Quadro 4.12: Inter-relação - Calor e Brilho nos Elementos de estudo.....	100

RESUMO

TALIN, Layla Christine Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, **Inter-relações entre aspectos arquitetônico-construtivos e a acústica em espaços adaptados para a prática musical**. Orientador: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

A atividade de prática musical inclui o ensino e o ensaio de música e requer dos usuários especial esforço auditivo. Os espaços para prática musical necessitam atender a requisitos de modo a garantir o adequado desempenho acústico. Para tanto, o projeto deve integrar soluções acústicas desde as decisões iniciais de seu processo, garantindo condições para a qualidade da atividade-fim e a minimização de custos com a execução. Essa postura projetual deve ser adotada tanto para novas edificações quanto para readequação de edificações existentes. Os requisitos para projeto de ambientes de prática musical são estabelecidos na literatura e usados para avaliação dos estudos de caso. Foram estudados os casos da Universidade de Música Popular Bituca, em Barbacena-MG, do Conservatório Estadual de Música Theodolindo José Soares, em Visconde do Rio Branco-MG e do Conservatório Municipal de Música Heitor Villa Lobos, em Barbacena-MG. Todos implantados em edifícios de valor histórico pré-existent à atividade atual e passaram por obras de reforma. Os resultados mostram salas de prática musical com recorrentes inadequações quanto aos requisitos de demandas físico-espaciais, de níveis de pressão sonora durante a atividade, de níveis de ruídos incômodos e de atributos acústicos próprios da atividade musical. Destaca-se, dentre as conclusões, a demanda de mudança na abordagem dos projetos de adequação dos espaços para a finalidade de ensino e prática musical, especialmente quanto às soluções arquitetônico-construtivas dadas às partições internas e às superfícies das salas, devido à ineficácia verificada no desempenho desses componentes nas unidades analisadas. Ressalta-se a relevância da existência de ao menos um ambiente acusticamente adequado nas escolas de música para a formação dos indivíduos, do papel da administração das instituições no provimento de condições adequadas para a prática musical e da flexibilidade das soluções para a acústica dos ambientes de prática musical frente ao contexto do ensino de música e como tendência no cenário da arquitetura atual.

ABSTRACT

TALIN, Layla Christine Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, **Interrelations between architectural-constructive aspects and acoustics for adapted music practice spaces**. Adviser: Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

The musical practice includes teaching and rehearsal of music activities. This practice requires especial hearing endeavor. Thereby, the places need to attend requirements for acoustics performance. The design must have acoustics solutions since the process's first decisions, both for new buildings and for renovation. This way, the building will be enough quality for the use and the costs will be reduced. The literature provides the design's requirements and was applied to evaluate the Cases. The Cases were University of Popular Music Bituca, at Barbacena-MG, State Conservatory of Music Theodolindo José Soares, at Visconde do Rio Branco-MG and Municipal Conservatory of Music Heitor Villa Lobos, at Barbacena-MG. The schools were deployed in historical buildings and suffered renovation works. The results show practice rooms inadequacies with the requirements for the physical-spatial demands of sound pressure levels during the activity, the noise levels and attributes just for music. Conclusions: the demand for change in the approach to projects of spaces especially regarding the architectural-constructive solutions given to internal partitions and surfaces of rooms due to the inefficiency observed in the performance of these components in the units analyzed; the existence of at least one acoustically suitable environment in music schools for the training of individuals is relevant; the administration of institutions is essential in providing appropriate conditions for musical practice; the flexibility of the solutions to the acoustics in practice environments is significant for teaching music currently and contributes for the trend scenario of architecture.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O ensino de música apresenta-se como instrumento para transmissão cultural além de ter importante papel na transformação social. A prática musical beneficia o desenvolvimento mental, emocional e físico dos indivíduos e deve ser bem orientada por profissionais qualificados.

A formação de músicos, sejam eles amadores ou profissionais, exige disciplina, prática constante e ambientes que viabilizem a comunicação sonora e o desenvolvimento de audição crítica. Especialmente quanto à viabilização dessas duas condições, ambientes para prática musical necessitam de adequado desempenho acústico, para garantir o conforto dos usuários dos ambientes e potencializar o bom aproveitamento das atividades neles desenvolvidas. Para obter o necessário desempenho, são utilizadas estratégias e soluções que se enquadram no campo da Acústica Arquitetônica e que apresentam maior potencial de êxito nos resultados, quando aplicadas desde o início do processo projetual. No caso de espaços adaptados, essas soluções devem considerar as preexistências e integrar-se às soluções arquitetônicas e funcionais que espaços para ensino e ensaio de música demandam.

A adaptação e readequação de edifícios é uma prática que se alinha aos conceitos de preservação patrimonial e sustentabilidade ambiental. Boa parte das escolas de música e dos espaços para a prática musical são usualmente instalados em edificações preexistentes como forma de economia de recursos. Essas instalações demandam que sejam dadas soluções arquitetônicas e acústicas para esse uso que exige um peculiar desempenho acústico do espaço.

1.1.1. Relevância do tema

A música é um meio eficiente de comunicação do indivíduo com o ambiente no qual se insere. Joly (2003) afirma que o som é capaz de produzir reações psíquicas de cunho emocional e mental e muda as relações entre o indivíduo, o ambiente e as atividades que desenvolve. Tais reações ocorrem não apenas durante as atividades musicais, mas estendem-se para todas as relações do cotidiano do indivíduo, tais como na escola ou trabalho e nas relações familiares. A autora afirma ainda que a atividade musical estimula a interação social, desenvolve tônus muscular, coordenação psicomotora, linguagem, capacidade auditiva, intelectual e memória.

É necessário ressaltar que, além do desenvolvimento das qualidades do indivíduo, da melhoria de sua relação pessoal e da educação em música, a formação de novos músicos, sejam cantores ou instrumentistas, é o que movimenta o cenário cultural do país.

A existência dos espaços para prática musical é relevante pelos múltiplos benefícios gerados pelo contato do indivíduo com a música. “Atualmente a música não é vista como forma de conhecimento, reduz-se a servir de lazer e entretenimento ou de auxiliar em outras áreas”, contudo, a principal justificativa para o ensino e a prática musicais deve ser a própria música, enquanto campo de conhecimento (PEREIRA; AMARAL, 2012).

As escolas de música têm papel de criar as oportunidades de acesso à música para os indivíduos e de formar novos educadores musicais e novos artistas. Silva (2011) explica que para a prática musical não basta ouvir: é necessário desenvolver uma audição crítica; aquela que avalia o universo sonoro. Desse modo, os espaços de prática musical devem possuir desempenho acústico que responda a essas necessidades de audição crítica, criando condições para a formação e desenvolvimento dos músicos.

No Brasil, dois estudos recentes foram realizados tendo por tema o Conforto Acústico e como objeto Escolas de Música. Um deles é o de Rocha (2010) que desenvolveu um estudo acerca da opinião dos usuários de uma escola de música, investigando quais as qualidades acústicas apreciáveis pelos professores e alunos em salas de aula de música. Ela procedeu a uma revisão de literatura no tema e à aplicação de questionários bem como à determinação dos tempos de reverberação das salas estudadas. Os estudos realizados tiveram foco na subjetividade e opinião, e as aferições do tempo de reverberação foram para validar as informações obtidas por entrevistas. A pesquisadora identificou que há falta de publicações específicas no tema e concluiu que as características de salas devem ser similares às de palcos de salas de concerto.

O segundo foi o estudo de Marros (2011). A autora caracterizou salas de aulas do Curso de Música na Universidade Federal de Santa Maria quanto aos aspectos subjetivos da acústica arquitetônica. Apesar de ter uma fase de levantamentos subjetivos, o estudo aborda a caracterização de critérios técnicos das salas por métodos específicos, focando-se no condicionamento acústico das salas, ou seja, no tratamento da propagação interna das ondas.

Tanto Marros (2011) quanto Rocha (2010) realizaram estudos voltados para desempenho de questões específicas relacionadas ao condicionamento das salas de prática musical. Abordaram escolas de música instaladas em edifícios que foram projetados para esse fim.

Contudo, espaços de prática musical são usualmente implantados em edifícios pré-existentes, seja por motivos de redução dos custos com obra seja pela localização privilegiada na malha urbana.

Investigar e inter-relacionar as condições arquitetônicas e funcionais com aspectos de desempenho acústico em espaços adaptados para prática musical, com uma abordagem ampla, que enquadre tanto aspectos de comportamento dos usuários quanto a avaliação técnica, permite oferecer um diagnóstico desses espaços e identificar se as soluções arquitetônico-construtivas e acústicas dadas permitem o adequado desempenho acústico para as atividades ali desenvolvidas. Um estudo nesse sentido pode incrementar pesquisas sobre o tema, conhecer o comportamento acústico dos ambientes adaptados para uso musical, identificando pontos positivos e negativos, contribuindo no estabelecimento de diretrizes para a tipologia funcional apresentada de modo a prover ambientes de qualidade para uma atividade social e culturalmente nobre.

1.2. Formulação do Problema

O projeto arquitetônico resulta uma forma capaz de cumprir as exigências de uso do edifício, devidamente alinhavadas a partir de um programa que congregue, articuladamente, local de implantação, condicionantes legais e atividades e expectativas dos usuários (MOREIRA; KOWALTOWSKI, 2011). As dimensões, geometria, implantação, relação de fluxos e materiais construtivos da edificação são definidos com base nesse programa. Demandas especiais quanto à audição dos usuários em uma atividade devem integrar-se ao programa de necessidades, já que as especificidades da edificação influem em seu desempenho acústico.

Bispo, Oiticica e Teles (2005) expõem que a compreensão e a incorporação dos fatores envolvidos com o desempenho acústico, desde o início do projeto dos espaços, são requisitos essenciais para garantir que sejam alcançados resultados satisfatórios de desempenho no uso da edificação. A instalação de escolas de música em edifícios pré-existentes é uma situação conflituosa, já que os edifícios foram projetados para abrigar atividades que, usualmente, não possuíam a especificidade de desempenho acústico demandada pela atividade musical. Tendo-se como referencial a natureza desse fato, questiona-se então:

Como as soluções acústicas são, ou devem ser consideradas no processo de adaptação dos espaços para prática musical e de que modo se integram às soluções arquitetônico-construtivas na busca pelo adequado desempenho acústico das edificações?

1.3. Objetivos da Pesquisa

1.3.1. Geral

Investigar e inter-relacionar condições arquitetônico-construtivas com aspectos de desempenho acústico em espaços adaptados para ensino e prática musical.

1.3.2. Específicos

- levantar o estado da arte relativo a ambientes destinados a ensino e ensaio de músicas;
- caracterizar física e funcionalmente as escolas de música selecionadas;
- identificar a configuração original das edificações e as intervenções nelas ocorridas para adaptá-las como escolas de música;
- analisar a inter-relação entre as soluções arquitetônico-construtivas e as condições acústicas em três edificações estudadas;
- analisar níveis de desempenho acústico em ambientes adaptados para salas de prática musical;
- comparar os níveis de desempenho verificados por meios técnicos com percepções manifestadas pelos usuários;
- produzir material que possa subsidiar projetos de adequação de espaços adaptados para a prática musical.

1.4. Resumo da Estrutura Metodológica da Pesquisa

A pesquisa, de natureza experimental e experiencial, utilizou-se da estratégia metodológica de Estudo de Casos a fim de alcançar os objetivos. Foram selecionadas três unidades de análise a serem estudadas e, por julgamento, nove elementos de análise dentre essas unidades foram destacados. Os métodos adotados seguiram duas linhas de abordagem: o diagnóstico técnico dos espaços e a apreensão da interferência direta do espaço no usuário (Figura 1.1).



Figura 1.1: Estrutura metodológica da pesquisa

Tal diversidade de métodos se deu porque a realimentação de projetos da mesma natureza é um dos objetivos do estudo e, como defendido por Ornstein e Romero (1992), o conhecimento de variáveis técnicas e ligadas aos usuários permite um controle eficiente da qualidade do ambiente construído e reduz falhas em projetos de edifícios semelhantes.

1.5. Organização do Documento Final

As informações obtidas nas análises dos dados foram sintetizadas e apresentadas em forma de textos, gráficos, diagramas, quadros, tabelas, mapas, desenhos e tratamento visual de fotografias. De posse das análises e síntese dos dados e das informações, as correlações entre os resultados foram realizadas de modo a responder a questão de investigação e atingir os objetivos. Tendo os resultados finais, os dados e discussões foram inter-relacionados oferecendo um diagnóstico global dos espaços de modo a embasar a apresentação de ações para mitigação dos aspectos negativos específicos dos espaços. Para esse fim, esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos.

O Capítulo 1 – Introdução apresenta a contextualização e relevância do tema, os objetivos da pesquisa e aspectos metodológicos, incluindo organização da dissertação.

O Capítulo 2 – Fundamentos teóricos compreende a revisão de literatura, onde são expostos conceitos relevantes ao entendimento da pesquisa e discussões recentes sobre o tema.

O Capítulo 3 – Material e Métodos expõe a metodologia do trabalho.

O Capítulo 4 – Estudos de Caso: adaptação de três edifícios antigos à prática música contém o resultado e discussões acerca dos estudos de caso nas escolas de música estão presentes

O Capítulo 5- Conclusões finaliza este documento e traz sugestões para futuros trabalhos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Música, educação musical e ambiente

Na literatura existem diversas definições para o termo ‘música’. As definições são consensuais no que se refere ao caráter de organização artística dos sons, sendo essa organização fundamentada na transmissão de uma mensagem. Joly (2003) afirma que por transmitir uma mensagem, a música é comunicativa e conecta o indivíduo ao ambiente no qual se insere. Além disso, a música é uma disciplina complexa composta por conhecimentos de naturezas distintas que se inter-relacionam e se interdeterminam (FUCCI AMATO, 2007). Rocha (2010) explica mais aprofundadamente essas naturezas quando expõe que as técnicas de execução referem-se à destreza e o manejo do som produzido, dos instrumentos musicais e do próprio corpo¹ do instrumentista.

A atividade musical desenvolve o tônus muscular, a coordenação psicomotora, a linguagem, a capacidade auditiva, intelectual e memória além de estimular a interação social (JOLY, 2003). Na mesma linha, Pereira e Amaral (2012) afirmam que estão comprovados os benefícios da música no auxílio à aprendizagem, pois trabalha os hemisférios cerebrais, equilibrando o pensar e o sentir. Isso porque cada componente musical² estimula sentidos diversos no homem: a melodia trabalha o emocional, a harmonia desenvolve o racional e a inteligência e a coordenação motora e movimentos são estimulados através da pulsação rítmica. É sabido que ela auxilia na aprendizagem da matemática, desenvolve a concentração, habilidades intelectuais e o raciocínio lógico. Fucci Amato (2007) alega que a geração e difusão de conhecimentos musicais levam o indivíduo à percepção de si próprio por meio de estímulos externos e aumento da qualidade de vida pessoal, independentemente da faixa etária ou condição física ou social da pessoa.

Hummes (2004) defende que a música possui diversas funções, tanto a nível individual quanto a nível coletivo. São elas: expressão emocional, prazer estético para apreciador e executor da peça musical, divertimento/entretenimento, comunicação, representação simbólica, reações físicas³, conferir conformidade às normas sociais⁴, validação de instituições sociais e rituais religiosos, continuidade e estabilidade da cultura.

¹ Coordenação dos movimentos, respiração, controle muscular.

² A música é composta pela tríade: melodia, harmonia e ritmo (CARDOSO; MASCARENHAS, 1996).

³ O corpo produz resposta biológica à música, como liberação de hormônios, estímulo cerebral entre outros.

⁴ A atividade musical pode estimular comportamentos desejáveis.

Tanto quanto benefícios individuais, a atividade musical promove benefícios coletivos. Fucci Amato (2007) explica que a prática musical tem relevância social e cultural: permite a integração da população de baixa renda às atividades culturais da sociedade e o aumento da autoestima desses indivíduos, suprimindo as necessidades humanas de pertencimento de grupo e equilíbrio pessoal, evitar assim o envolvimento dos indivíduos com atividades relacionadas à violência e uso de drogas, por exemplo.

A música é veículo em grande parte das manifestações culturais que colaboram com a formação da identidade da comunidade, integração e união de seus indivíduos e perpetuação de tradições e crenças. Fucci Amato (2007) ressalta que

As oportunidades de participação em todo e qualquer tipo de manifestação artística e cultural devem constituir-se em um direito irrefugável do homem, independentemente de suas origens, raça ou classe social, assim como deveriam ser todos os demais direitos fundamentais à vida humana.

Os benefícios da música atingem tanto a quem ouve quanto a quem executa, ficando evidente o melhor desenvolvimento de quem pratica a música seja por um instrumento seja pelo canto. Em todos os casos, o professor de música é quem viabiliza o êxito dos resultados positivos trazidos pela prática musical, devendo possuir uma boa formação e ser capaz de formar bons músicos, tanto para a prática amadora quanto para a profissional. Joly (2003) e Fucci Amato (2007) afirmam que deve haver esforços e investimentos no sentido de qualificar e tornar competentes os educadores musicais. Leme e Bellochio (2007) alegam ainda que a formação dos professores é mais importante que a utilização de novas tecnologias aplicadas à educação. O professor precisa dominar o instrumento e o método escolhido porque apenas a inserção da tecnologia não configura avanços no aprendizado.

Para aprender a praticar a atividade musical, sendo ativa em qualquer função musical⁵, toda pessoa precisa de um preparo auditivo já que o som será seu objeto de estudo (PEREIRA; AMARAL, 2010). Silva (2011) classifica três níveis de audição: ignorância do ambiente sonoro; seleção dos sons agradáveis ou incômodos; e, audição inteligente, também chamada de audição crítica, que ocorre quando o indivíduo consegue identificar sons específicos avaliando a nocividade e percebendo as características peculiares de cada um. O autor afirma ainda que

⁵ Funções: tocar instrumentos, cantar, ensinar música, reger, compor, equalizar gravações etc.

A percepção do universo sonoro de forma inteligente perpassa, de maneira interdisciplinar, pela educação musical, pois música, educação e ambiente formam uma tríade em constante tangência.

O objetivo da educação musical é ampliar a capacidade auditiva dos alunos, o que inclui perceber como o som é projetado no ambiente e como o ambiente responde ao som (SCHMID, 2012b).

Enquanto integrante da tríade, o ambiente de prática musical precisa fornecer as condições essenciais à audição crítica, uma vez que o som musical possui uma complexidade que a fala não tem. Freiheit (2002) e Wenger (2003) atentam ao fato de que as características típicas do som musical como altura do som, coloração tonal, frequência, articulação e ritmo precisam ser valorizadas pelo ambiente onde a música é praticada. Em espaços para a prática musical, conforme defende Azevedo (1994), alguns critérios básicos devem ser atendidos como, por exemplo, que cada músico deve ouvir claramente a si e aos outros músicos e o regente ou professor deve poder distinguir os sons de cada instrumento.

Kronenburg (2011) defende que ambientes que ofereçam condições para a prática musical adequada são mais valorizados, pois a música confere identidade e importância a um espaço arquitetônico, que pode ser positivo ou negativo conforme o tipo de resposta que o ambiente dê à propagação sonora. Essa ideia é congruente à de Rocha (2010), segundo o qual,

Um bom instrumento ou um belo canto numa sala com acústica inadequada parecerá ou soará pobre, especialmente numa sala que seja excessivamente absorvedora ou amortecida. Um solista, banda, coral, ou qualquer conjunto que seja de qualidade modesta pode parecer excelente numa sala com uma acústica indicada para aquele ambiente.

Rocha (2010) lembra, ainda, que de acordo com a forma como o ambiente se comporta acusticamente, os músicos modificam sua maneira de tocar para ajustar suas performances de acordo com a acústica. Músicos mais experientes e com conhecimento de acústica ambiental são capazes de realizar essas adaptações de modo consciente, mas a maioria o faz de modo inconsciente.

Deve-se atentar também aos níveis de exposição sonora nos ambientes de prática musical, para que não haja danos à audição dos músicos, que se submetem a ensaios e aulas por longos períodos em um dia (POMPOLI; PRODI; FARNETANI, 2010).

2.2. Escolas de Música

Escolas de música são lugares de ensinar e aprender, onde músicos experientes ensinam a pessoas menos experientes. Lugar de ensinar iniciantes e aperfeiçoar quem já tem um conhecimento prévio, inclusive visando à profissionalização. Outros termos tais como centro, casa, estúdio, espaço de música são utilizados para romper com o termo escola, que traz em si o peso de uma tradição de local que seja exclusivo para ensino e que tenha uma grade pedagógica uniformizada. Isso porque as metodologias de ensino de música e as atividades que ocorrem nesses espaços são cada vez mais dinâmicas e diversas (CUNHA, 2009).

Em termos gerais, as atividades de espaços assim propiciam o entendimento da música sob o ponto de vista do executante, e não só do ouvinte. Leme e Bellochio (2007) expõem que, além do ensino, são realizadas atividades como encontro de diversos instrumentistas, realização de cursos, ensaios, formação de bandas, gravações e apresentações ao público.

O ensino de música no Brasil tem sua história iniciada em 1848 com a inauguração do Conservatório Musical do Rio de Janeiro, estimulada pela grande difusão do romantismo e influência do músico e compositor Carlos Gomes⁶, tendo como modelo o Conservatório de Paris. Anterior a essa data, toda a atividade musical nacional era aquela originada nas senzalas e pelas misturas entre ritmos trazidos pelos negros e dos rituais indígenas locais, sendo o ensino empírico e informal. Para as elites, somente interessava a música europeia. No Conservatório, podia-se aprender música erudita e sua implantação contribuiu para a estruturação da música como atividade profissional. Não tardaram a surgir novos Conservatórios pelo país, sempre voltados ao ensino de música erudita (NAPOLITANO, 2002).

Os conservatórios são a principal referência para as escolas de música no Brasil, educando musicalmente com ênfase mais técnica do que expressiva, com metodologia de ensino, ainda atualmente, baseada na música erudita e ministrando separadamente as aulas de teoria e as aulas de prática. Como legado do modelo europeu que seguiram, os conservatórios prezam pelos cursos gratuitos ou com baixo custo, com subvenção do governo (CUNHA, 2009). Atualmente existem conservatórios municipais e estaduais, sendo Minas Gerais o único estado que os mantém ligados às Secretarias de Educação.

⁶ Carlos Gomes é considerado um gênio da música nacional, reconhecido pela composição de “O Guarani” e “II Guarani”.

Com a popularização da prática musical, surgiram outras escolas de música com organizações distintas daquela dos Conservatórios. A escola de música privada é uma delas. Cunha (2009) mostra que, nesse modelo, as escolas são reconhecidas como microempresas e os alunos são vistos como clientes. Pelo fato de lidarem com questões de mercado, como competitividade, buscam o controle da qualidade do ensino musical, das apresentações e dos espaços, que são quase sempre usados no marketing da escola. Por serem instituições independentes, possuem diferenciadas abordagens de ensino (música popular ou erudita), conforme a conveniência.

Outra forma de estrutura organizacional são as escolas livres. Assim como nas escolas privadas, não possuem vínculos que uniformize a base do ensino. Às vezes se estruturam como privadas, cobrando pelo ensino, e às vezes buscam formas de subsídio que as possibilite prover ensino gratuito, como patrocínios, apoios e incentivos. Cunha (2009) caracteriza esse tipo de escola como marcadas pela diversidade. Alega que podem surgir de interesses, objetivos e ênfases diferentes e conseqüentemente de abordagens pedagógicas diferentes. Podem visar à formação de músicos amadores ou profissionais.

A gama de estruturas organizacionais de escolas de música está envolvida em um contexto complexo de questões de conflito de interesses e divergência de ideias. Tanto Fucci Amato (2007) quanto Cunha (2009) defendem que essas escolas vêm, atualmente, suprir a lacuna deixada pela educação na escola tradicional que deveria permitir aos indivíduos o envolvimento com a música e todos os seus benefícios. Para se redimir, os governos destinam verbas para projetos culturais e incentivam empresas a patrocinar projetos dessa natureza por meio de isenções fiscais. Mas, ainda assim, a oportunidade que deveria ser da maioria se torna de uma pequena parcela de beneficiados.

A Lei nº 11769 (BRASIL, 2008) foi uma tentativa de reverter essa situação. A lei obriga o ensino de música nas escolas públicas, conferindo o prazo de três anos letivos de sua publicação para que as escolas se adaptassem. Pereira e Amaral (2012) veem a lei como forma de resgatar o valor da atividade musical na sociedade. E traria ainda outros benefícios para a escola, como a suavização da rotina escolar, preenchimento de tempo vago e disciplinamento dos alunos, ideias defendidas por Hummes (2004) antes mesmo da aprovação da lei.

O que deveria, em 2013, ser realidade em todas as escolas públicas continua sem efetividade. Schmid (2012b) alega que a obrigatoriedade do ensino de música nas escolas públicas esbarra na falta de professores capacitados e espaços especializados para a educação musical. De fato,

o artigo da lei que exigia formação específica dos professores dessa disciplina foi vetado, mas não se programou a preparação dos professores regulares.

Independentemente de sua estrutura organizacional, as atividades de escolas de música são semelhantes e pautadas sempre na prática musical. Assim, o ambiente tem papel primordial por proporcionar aos usuários condições de trabalho e estudo. A Acústica Arquitetônica fornece subsídios para o controle do espaço, de modo a prover um ambiente acústico adequado à atividade musical.

2.3. Acústica Arquitetônica

A Acústica, ciência que estuda o som, subdivide-se em diversos campos. A Acústica Arquitetônica é um deles e possui ênfase no comportamento sonoro no ambiente construído, tendo por base diversas áreas de conhecimento tais como arquitetura, engenharia e física (RYHERD, 2008). Bistafa (2006) defende a aproximação entre a Acústica Arquitetônica e a Acústica Musical, tendo base nos conhecimentos da Acústica Física (Figura 2.1).

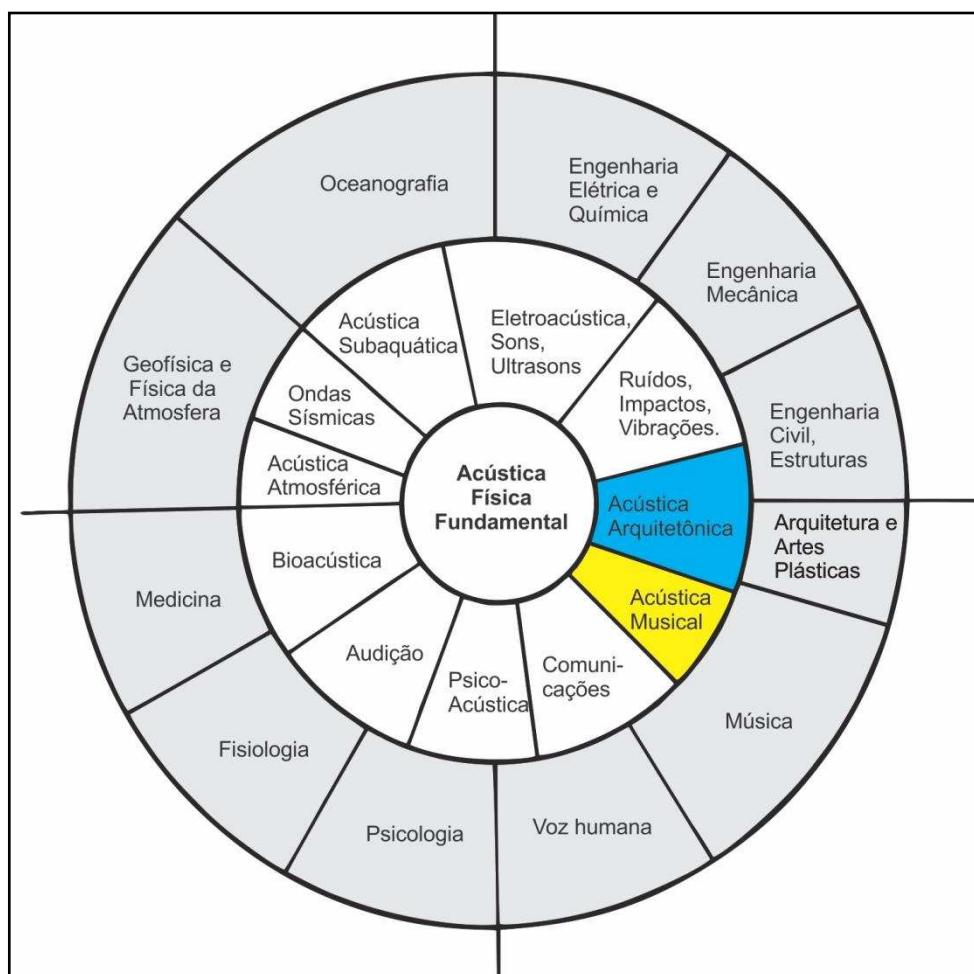


Figura 2.1: Campos de estudo acústico.
Fonte: Lindsay adaptado por Bistafa (2006).

Os esforços aplicados devem ser no sentido de promover o conforto auditivo do usuário que, no caso de escolas de música, envolve tanto a ausência de situações incômodas, que podem comprometer a atenção e a saúde auditiva dos usuários, quanto o provimento de condições adequadas à audição crítica. Rocha (2010) afirma que ambientes com desempenho acústico desfavorável podem comprometer tanto a capacidade auditiva do usuário como o êxito da atividade, já que “o ensino-aprendizagem poderá se fundamentar sobre algo relativo, senão variável ou duvidoso”.

Podem ser estudados na Acústica Arquitetônica tanto o ambiente construído aberto quanto recintos fechados. No que se refere ao espaço fechado, trata de defender o ambiente contra sons indesejáveis - isolamento - e controlar os sons dentro do recinto para privilegiar a atividade desenvolvida - condicionamento - (DE MARCO, 1982). Além de isolar dos ruídos externos, Wenger (2010) ressalta que o isolamento em escolas de música deve garantir que a prática musical na sala não interferirá na vizinhança e o condicionamento deve propiciar o crescimento musical do usuário.

A NBR 12179 (ABNT, 1992) menciona que

o eficiente isolamento acústico de um ambiente dar-se-á pelas corretas decisões arquitetônicas quanto à aplicação de sistemas e materiais construtivos adequados.

O condicionamento acústico garante-se por determinações de estudos geométrico-acústicos do recinto e de cálculo do tempo de reverberação, que depende dos materiais construtivos e de revestimento, bem como de mobiliários. Esses aspectos construtivos interferem na energia e propagação das ondas sonoras.

2.3.1. Conceitos fundamentais de acústica arquitetônica

A NBR 12179 (ABNT, 1992) conceitua som como “toda e qualquer vibração que se propague em determinado meio e que seja capaz de produzir no homem uma sensação auditiva”. Esse movimento vibratório necessita de um estímulo inicial, chamado fonte sonora. Lopes (2010) explica que a vibração caracteriza-se pela rarefação e compressão do ar, em intervalos regulares que caracterizam o ciclo das ondas. A quantidade de ciclos determina a frequência.

Frequência

Frequência é a medida de altura do som, ou seja, caracteriza o som como grave ou agudo. É expressa em ciclos por segundo e a unidade é Hertz. Baixas frequências movimentam maior quantidade de ar e possuem maior altura das cristas. Altas frequências têm alturas de cristas

mais baixas e maior quantidade de repetições (ou ciclos) por segundo (WENGER; 2003). Kinsler (1992) mostra que a frequência (f) é inversamente proporcional ao tempo de repetição dos ciclos, chamado de Período (T), relacionados pela equação 2.1.

$$f = 1/T \quad \text{Eq. 2.1}$$

Meyer (2009) esclarece que o tipo de vibração mais simples tem onda com movimento perfeitamente senoidal e origina o chamado tom puro. Esse som é específico, e raramente produzido por outras fontes que não equipamentos específicos. Cada som possui uma característica que o unifica, chamada timbre, que é resultado da superposição de tons puros (Figura 2.2). Nesse caso, os tons componentes do timbre chamam-se harmônicos. Dois instrumentos musicais que soem a mesma nota terão timbres diferentes, ou seja, personalidades sonoras distintas. A frequência fundamental será a mesma, mas os harmônicos se distinguem. Wenger (2003) afirma que a quantidade e a proeminência de sons harmônicos sobre o tom fundamental criam a coloração tonal do instrumento. Quanto maior a série harmônica de um instrumento mais rico é seu som, por exemplo, o oboé é mais rico que flauta.

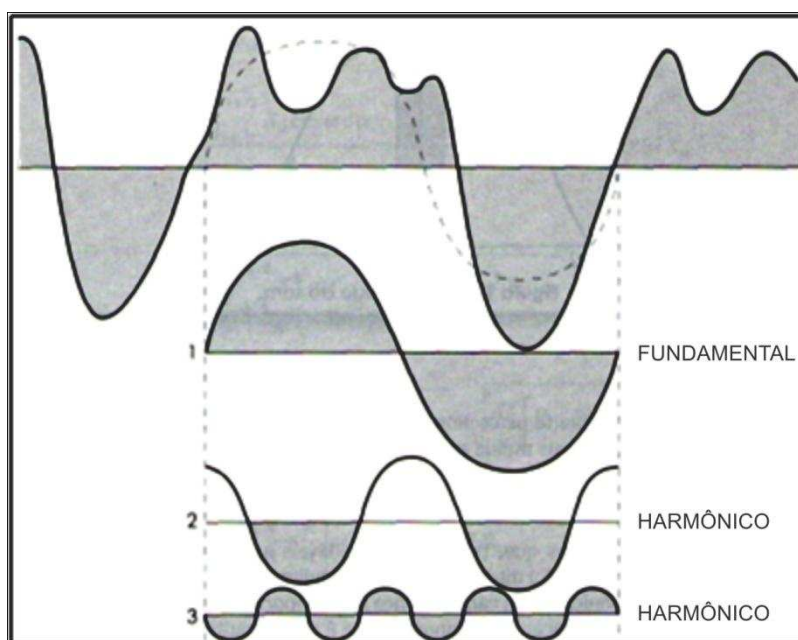


Figura 2.2: Composição timbre sonoro.
Fonte: Costa(2003).

O som musical difere-se dos demais por ser resultado de vibrações sonoras regulares. A frequência de um som musical não muda durante a propagação, qualquer que seja a forma da onda (MATRAS, 1991).

Sendo o ouvido humano capaz de perceber como sons apenas ondas sonoras cujas frequências encontrem-se entre 20Hz e 20kHz, Wenger (2003) expõe que as frequências para atividades musicais podem estar dentro de toda a faixa audível, mas predominam entre 20Hz e 8000Hz.

Meyer (2009) coloca que variam de 20Hz a cerca de 10000Hz, de acordo com os instrumentos que se estiver tocando, e a frequência mais recorrente é a de 3000Hz. Para esse autor, a frequência predominante será sempre a da tonalidade da música, ou seja, será a composição das frequências das notas⁷ tocadas. Sendo assim, estabelece relação com as frequências das notas musicais, que variam de 28Hz a 4186Hz (Figura 2.3). O autor ainda especifica que cada instrumento possui uma faixa de frequências típicas, mas a faixa de cada instrumento fica compreendida na faixa das notas musicais.

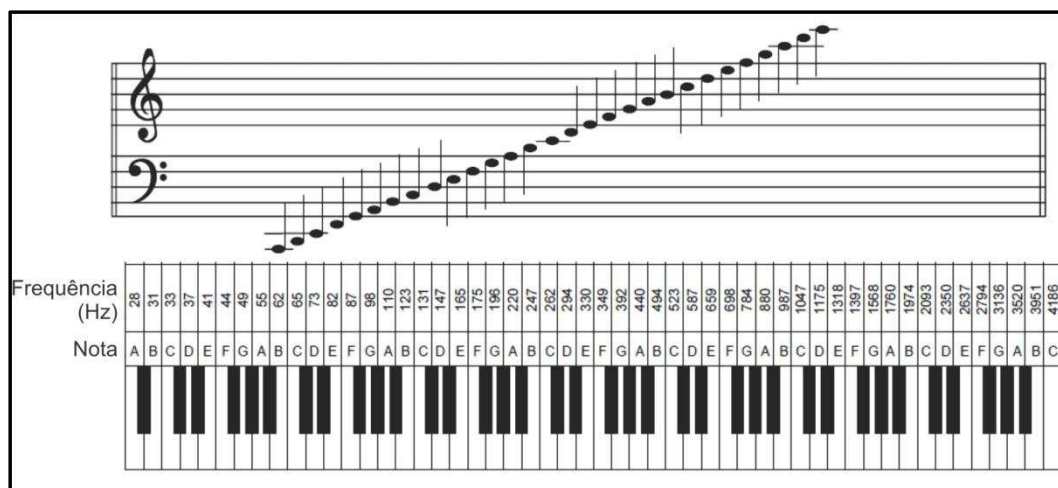


Figura 2.3: Frequências das notas musicais.

Fonte: Wenger (2003).

A frequência também se relaciona com o comprimento da onda sonora (λ)⁸ por meio da Eq. 2.2, na qual 'c' é a velocidade do som no meio (m/s) e 'f' é a frequência (Hz).

$$c = f \cdot \lambda \quad \text{Eq. 2.2}$$

Frequências elevadas correspondem a comprimentos curtos de ondas enquanto baixas frequências caracterizam-se por comprimentos longos de ondas. Tomando essa relação para as frequências limites da faixa audível teremos que a frequência mais elevada (20kHz) equivale a um comprimento de 17mm, enquanto que a frequência mais baixa (20Hz) tem ondas sonoras com 17m de comprimento. Desse modo, os comprimentos de onda característicos de uma atividade-fim são condicionantes à determinação das dimensões espaciais dos ambientes a elas destinados.

⁷ As notas musicais são variações na altura do som, ou seja, cada nota possui sua própria frequência.

⁸ Comprimento de onda: distância, em metros, entre a crista da onda de um ciclo e a crista da onda do ciclo seguinte (MATRAS, 1991)

Propagação

Um som emitido se propaga em diversas direções na forma de ondas que se chocam contra superfícies no seu caminho (RYHERD, 2008). As ondas planas, com formato senoidal, ocorrem somente em situações muito específicas quando o ambiente de propagação tem dimensões muito menores que o comprimento de onda. A forma mais representativa é a propagação esférica, onde as ondas conformam uma esfera pulsante (frequência) com centro na fonte (BISTAFA, 2006). Segundo Pereira, Soeiro e Melo (2011) os estudos de propagação em ambientes internos sempre se utilizou mais da simplificação das ondas sonoras esféricas em raios lineares que partem em todas as direções a partir da fonte.

Silva (1971) explica que quando a onda atinge uma parede ou outro obstáculo qualquer, parte da energia carregada por essa onda é refletida de volta ao mesmo ambiente, parte é absorvida. Da energia absorvida, uma porcentagem é absorvida pelo material do obstáculo e o restante é transmitido ao ambiente adjacente.

Para Wenger (2003), as ondas refletidas abrangem duas categorias: a reflexão especular, que acontece quando a onda encontra uma superfície rígida e densa e retorna com o mesmo ângulo de incidência; a reflexão difusa que acontece quando a forma da superfície faz com que as ondas sejam redistribuídas em diversas direções no ambiente. Takahashi (2010) explica que na difusão o comprimento de onda deve ser proporcional à rugosidade da superfície enquanto que na reflexão especular ele é maior que a rugosidade da superfície.

A parte refletida ou difundida é a principal responsável pela caracterização do campo sonoro. Bistafa (2006) explica que alguns ambientes possuem maior energia sonora que outros, devido ao grande número de reflexões, o que influencia também a uniformidade espacial da presença sonora. O ambiente deve prezar pela inexistência de ondas refletidas que cheguem ao ouvinte após 15 milissegundos da chegada do som direto da fonte, já que esse é o intervalo mínimo para que o homem perceba a existência de dois sons distintos, ocorrência denominada eco (KINSLER, 1992). Deve-se atentar, também, ao fenômeno de ondas estacionárias, que ocorre nas reflexões com mesmo ângulo; nele, a onda é refletida quase com a mesma energia e em sentido oposto à onda direta da fonte: com a sobreposição de ondas, há a anulação acústica das ondas, criando distorções no ambiente sonoro (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2011). Wenger (2006) afirma que são frequentes ondas estacionárias em salas com pequenos volumes e baixa absorção sonora.

Quanto à absorção sonora, trata-se da redução de energia sonora que se verifica quando o som entra em contato com a superfície dos materiais. A porosidade do material e a espessura da camada determinam quais serão as frequências afetadas. Num ambiente fechado, considera-se que janelas e portas abertas são capazes de absorver 100% da energia sonora que nela incidir (WENGER, 2003).

Cada tipo de material, pela sua composição, comporta-se de um modo diferente na absorção da energia sonora. O coeficiente de absorção (α) de um material é o valor que o qualifica quanto a esse comportamento. O coeficiente não é constante para cada material, pois varia de acordo com a frequência da onda que incide sobre a superfície (SILVA, 1971).

A NBR 12179 apresenta uma tabela na qual aparecem expressos os valores dos coeficientes de absorção acústica de diversos materiais para determinadas frequências. Outro meio de se obter tais valores é consultar catálogos de fabricantes ou na literatura do tema, pois existem diversos estudos que testam e determinam o coeficiente de novos materiais.

De Marco (1982) explica que existe uma relação direta entre comprimento de onda, frequência e espessura do material poroso. Materiais porosos empregados com pequenas espessuras vão absorver ondas curtas, de frequências elevadas, mas dificilmente atenuarão os problemas acústicos relacionados à excessiva reverberação de ondas longas.

Quanto às ondas transmitidas, cuidados devem ser tomados quanto à composição das vedações para que a maior parte da energia sonora seja dissipada e não transmitida ao ambiente adjacente. Assim, evita-se que a prática musical de um usuário se torne incômoda a outros usuários.

Ruído

“Ruído é um estímulo auditivo que não contém informações úteis à tarefa em execução” (ABNT, 1992). O ruído é apenas um tipo de som, mas deve-se cuidar de não caracterizar todo som como ruído. Determinada fonte pode emitir um som que seja desejável à realização da tarefa de um indivíduo e que ao mesmo tempo prejudique o desempenho de outro que também esteja sob a influência dos estímulos gerados pela mesma fonte. A distinção se o som será ou não um ruído é feita pela pessoa que o escuta, e isto é feito de maneira subjetiva (PEREIRA, 2004).

O ruído pode apresentar-se de forma intermitente e elevada pressão, como impactos e apitos, ou de maneira contínua, condição esta chamada de ruído de fundo ou som residual. O som

residual resulta da superposição de inúmeros ruídos oriundos de várias fontes independentes, apresentando-se com um caráter aleatório (DE MARCO, 1982).

Nas escolas de música, o ruído apresenta-se como um obstáculo à audição crítica, fator de perda de concentração dos usuários e, conforme os níveis que atingir, pode impossibilitar a realização da atividade. Lamberty (1980) estudou a acústica subjetiva em escolas de música e concluiu que 86% dos usuários se incomodam mais com ruídos vindos de instrumentos musicais que de outras fontes de ruído. Quando um ventilador foi ligado a quantidade de usuários insatisfeitos diminuiu, já que um som residual, de caráter constante e sem nuances que atraem a atenção dos indivíduos, mascarou o som oriundo de outras práticas musicais.

Kurakata, Mizunami e Matsushita (2013) e Yoshida e Chaki (2013) relacionam as frequências típicas dos ruídos à sensação de incômodo dos usuários. Ruídos de alta frequência criam uma impressão subjetiva de desagrado maior e fixam-se mais na memória dos usuários que ruídos com baixas frequências. Contudo, o parâmetro técnico usado para avaliação de ruído considera sua intensidade e não as frequências.

Conhecendo o nível de ruído ou de som residual, deve-se verificar se os componentes construtivos oferecem o isolamento adequado e se há pontos de vazamento sonoro, onde não sejam oferecidas resistências à onda sonora (FREIHEIT, 2002). O controle das condições arquitetônicas é a ferramenta para manter sons indesejáveis fora do recinto e impedir que a prática musical seja incômoda à vizinhança (RYHERD, 2008). Koskinen, Toppila e Olkinuora (2010) complementam que medidas organizacionais e o uso de protetores auriculares também são estratégias válidas no controle de ruído.

Para reduzir o ruído ambiental é necessário seguir uma metodologia de avaliação de ruído acrescida de redução da fonte, se possível, e instalação de barreiras. Para conhecer a quantidade de ruído, o Nível de Pressão é a grandeza utilizada como mensuração técnica do ruído (YOSHIDA; CHAKI, 2013).

Intensidade sonora, nível de intensidade sonora e nível de pressão sonora

A intensidade sonora é definida como a quantidade de energia, na unidade de tempo, que passa por uma área unitária perpendicular à direção de propagação de onda (KINSLER, 1992). A intensidade é dada pela potência⁹ da fonte por unidade de área, ou seja, é um

⁹ Potência da fonte: capacidade de produzir som, característica intrínseca da fonte dada, em Watt (W) (BISTAFA, 2006).

indicador da magnitude, direção e sentido do fluxo de energia sonora, localizando e quantificando as fontes (BISTAFA, 2006).

Toda fonte gera uma flutuação da pressão do ar para a vibração, proporcionalmente à sua potência. A pressão necessária para produzir estímulo no ouvido humano é muito pequena e varia em uma larga extensão. Para facilitar estudos acústicos, foi criada uma escala logarítmica que substitui a faixa de pressão. A unidade dessa escala é o decibel (dB), na qual podem ser expressos tanto o Nível de Intensidade Sonora (NIS)¹⁰ quanto o Nível de Pressão Sonora (NPS)¹¹. Essa escala varia de 0 a 140dB, entre o audível e o limiar de dor, como mostra a figura 2.4 (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2011).

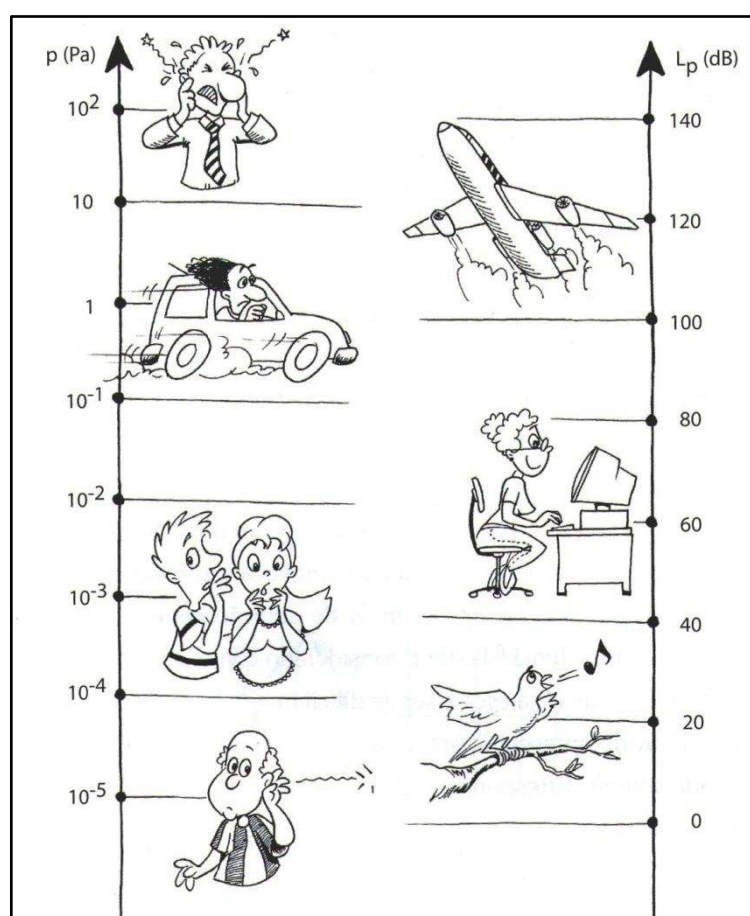


Figura 2.4: NPS para diversas atividades.
Fonte: Souza, Almeida e Bragança (2011).

O NPS é a grandeza mais adequada para avaliação da perturbação ou perigo à saúde auditiva causada por ruídos ou sons residuais, e pode ser medida no ambiente com um equipamento com microfone acoplado, chamado decibelímetro ou sonômetro (BISTAFA, 2006). Como o nível de pressão sonora é uma função logarítmica, não se pode somar aritmeticamente a

¹⁰ Associado à propagação do som.

¹¹ Associado à percepção do som pelo homem.

influência de duas fontes sonoras, devendo-se encontrar a razão quadrática das pressões e com elas se obter o novo NPS. Observa-se que, via de regra e em condições normais, para cada duplicação do nível sonoro da fonte há um acréscimo de 3dB no nível inicial (SANTOS, 1994).

Músicos passam grande parte do seu tempo ensaiando, e a maior parte do tempo de ensaio ocorre em pequenas salas, onde o nível sonoro costuma ser alto. Naturalmente requer-se dos músicos uma audição sensível a timbre, altura e afinação, razão por que precisam se preocupar com a manutenção da saúde auditiva (PHILLIPS; MACE, 2008). Em sua pesquisa, Hodges et al. (2008) constataram que 52% dos músicos clássicos tem alguma perda auditiva. A perda auditiva em músicos os faz perder sentidos de sonoridade, timbre, tempo e estilo musical, além de causar zumbido nos ouvidos. Koskinen, Topilla e Olkinuora (2010) complementam que a situação dos professores de música quanto à exposição sonora é ainda mais alarmante, pois o tempo a que ficam expostos é ainda maior.

Conforme Kähäri (2004), o tempo e o NPS de exposição são os fatores a serem considerados para preservação da integridade auditiva dos músicos, como também tipo de instrumento e estilo musical a ser executado. Em seus resultados, mostrou que músicos de instrumento de sopro e bateria tiveram a audição mais afetada, assim como dos que tocam rock/jazz foram piores que os que tocam música clássica.

Para regular no Brasil as condições ambientais de trabalho, o Ministério do Emprego e Trabalho publicou a NR 15 que, entre outros parâmetros, especifica o Nível de Pressão Sonora limite de acordo com o tempo de exposição, conforme Quadro 2.1. Requer-se a proteção auditiva caso o tempo de exposição seja superior ao indicado nesse quadro.

Quadro 2.1: Níveis de ruído admissíveis por tempo de exposição.

Nível de Ruído(dB)	Máxima exposição diária admissível	Nível de Ruído(dB)	Máxima exposição diária admissível
85	8 horas	98	1 hora e 15 minutos
86	7 horas	100	1 hora
87	6 horas	102	45 minutos
88	5 horas	104	35 minutos
89	4 horas e 30 minutos	105	30 minutos
90	4 horas	106	25 minutos
91	3 horas e 30 minutos	108	20 minutos
92	3 horas	110	15 minutos
93	2 horas e 40 minutos	112	10 minutos
94	2 horas e 15 minutos	114	8 minutos

(continua)

(continuação)

Nível de Ruído (dB)	Máxima exposição diária admissível	Nível de Ruído (dB)	Máxima exposição diária admissível
95	2 horas	115	7 minutos
96	1 hora e 45 minutos		

Fonte: NR 15 (BRASIL, 1978).

Para o combate ao excesso de som ou ruído existente em um ambiente, Silva (1971) sugere que é necessário conhecer-se, de antemão, os níveis de intensidade sonora admissíveis para todas as frequências para que se possam escolher os coeficientes de absorção dos diversos materiais utilizados, já que a porosidade dos materiais dissipa energia sonora.

Além do nível de exposição, o NPS indica também o quanto é necessário que as partições arquitetônicas isolem de energia sonora; de modo a evitar a presença de sons residuais nas adjacências. Novamente, a determinação dos materiais adequados dissipa a energia antes que ela atinja o ambiente vizinho.

A NBR 10152 (ABNT, 1987) estabelece os níveis de ruído admitidos conforme a utilização do ambiente. A determinação é feita por meio de uma curva de avaliação de ruído, chamada NC¹², na qual o NPS permitido para o ruído depende da frequência (de 63Hz a 8000Hz) que compõe esse ruído. Para escolas de música, as NCs entre 30 e 40 ficam determinadas como parâmetro, o Quadro 2.2 apresenta os níveis sonoros por frequência conforme essas curvas.

Quadro 2.2: Níveis de som residual admissíveis para salas de música.

Frequência (Hz)	Som residual(dB)	
	Conforto	Admissível
125	48	57
250	41	50
500	36	45
1000	31	41
2000	29	39
4000	28	38

Fonte: Adaptado de NBR 10152 (ABNT, 1987).

Nos casos de aferição simples, sem determinação das frequências que compõem o som indesejável, a norma estabelece que para a tipologia funcional abordada o nível de ruído para o conforto deve ser de 35dB, sendo aceitável níveis de intensidade até 45dB. Sabendo-se o NPS de uma sala em uso e o Nível de Som Residual admitido nas adjacências, é possível determinar quanto de energia sonora as partições precisam dissipar, requisito denominado

¹² Verificar Anexo A.

Perda por Transmissão Sonora (PTS), dado em decibel. Assim como na absorção, segundo Bistafa (2006), a quantidade de energia dissipada está fortemente ligada à frequência de incidência. Nesse caso, não apenas o material de constituição e a espessura são determinantes como também a forma de ligação entre os elementos arquitetônicos e a presença ou não de camada de ar interna. Gerges (1992) mostra que paredes ou janelas de vidro duplo com uma camada de aproximadamente 2cm de ar são capazes de aumentar o isolamento em 6dB.

Bistafa (2006) expõe que a PTS é também uma equação logarítmica, que não permite somas e subtrações simples. A perda é função: da frequência; da massa e coeficiente de transmissão do material; e, da área do painel. Além disso, o cálculo de perda precisa também considerar se as partições são duplas ¹³ ou compostas ¹⁴. O autor apresenta um quadro com diversas composições de vedações e as respectivas perdas sonoras de acordo com a faixa de frequência que vai de 63 a 8000Hz, inclusive para painéis duplos. No caso de haver painéis compostos, os dados do quadro devem ser usados como dados de entrada para cálculo da PTS.

O procedimento para cálculo de Perda de Transmissão Sonora de partições compostas, conforme Bistafa (2006), passa por três fases. Primeiramente faz-se a determinação do coeficiente de transmissão sonora (τ_i), de acordo com a banda de frequência, para cada seção do painel, pela equação 2.3, com uso da perda por transmissão sonora (PT_i) já anteriormente calculada ou disponível na literatura do autor.

$$\tau_i = 10^{-PT_i/10} \quad \text{Eq. 2.3}$$

O resultado desse cálculo é dado de entrada para cálculo do coeficiente de transmissão sonora do painel (τ_c), por meio da equação 2.4.

$$\tau_c = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \tau_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad \text{Eq. 2.4}$$

onde N é o número de superfícies que constituem a parede composta, S_i é a área da superfície de cada componente. Por fim, aplica-se o valor encontrado para τ_c na equação 2.5, visando ao resultado de PTS para partição composta.

$$PTS_c = 10 \log \frac{1}{\tau_c} \quad \text{Eq. 2.5}$$

¹³ Partição Dupla: partição de composição homogênea, podendo ou não possuir diversas camadas.

¹⁴ Partição Composta: partição cuja composição possui elementos tais como portas, janelas e distinção de materiais, que interrompem sua homogeneidade.

Conhecer a intensidade sonora, frequências e perdas sonoras nas partições são fases imprescindíveis para determinação do desempenho acústico de sala de prática musical, que precisam ser complementadas, ainda, com informações relativas à geometria das salas.

Estudo geométrico-acústico

Lopes (2010), Takahashi (2010) e Rocha (2010) ressaltam que a geometria das salas é aspecto de fundamental importância no controle sonoro. O estudo geométrico-acústico é feito tendo por base plantas baixas e cortes do espaço, conhecendo-se as reentrâncias e saliências nele presentes.

O estudo geométrico-acústico é um meio de se conhecer de que modo se dá a propagação do som em determinado recinto. Considera a colocação de uma ou mais fontes em pontos estratégicos dentro do ambiente de modo a se compreender como as ondas sonoras diretas e refletidas se comportam naquele espaço (SILVA, 1971).

A distribuição das ondas depende de reflexões especulares e difração por arestas. No traçado de raios, a acústica pode ser visualizada plotando os raios sonoros, ao que se chama Método de Traçado de Raios (MTR). Quando uma aresta está no caminho de propagação de um som, a fonte não deve ser visualizada como pontual e sim como linear, pois elas difratam o som em muitas direções, o que permite múltiplas possibilidades de propagação (POLKKI; LOKKI, 2003).

Existem atualmente diversos métodos para a realização do estudo geométrico-acústico que são usados primordialmente pelos softwares de simulação acústica. Contudo, conforme Pereira, Soeiro e Melo (2011), o Traçado de Raios é o mais utilizado. Nele, a energia da fonte é dividida igualmente entre raios que se propagam em todas as direções. Esses raios perdem a energia conforme colidem com as superfícies na proporção da absorção sonora da superfície. Contudo, esse método só é efetivo para médias e altas frequências, pois desconsidera o formato da onda e a simplifica.

Segundo Nogueira (2002), no MTR analisa-se o percurso de cada raio plotado para verificar de que modo ele chega ao ouvinte, se acontecem ondas estacionárias e se o tempo de percurso da onda é curto o suficiente para evitar a audição de dois sons distintos. Rocha (2010) recomenda uma inclinação das paredes de 6° a 12° para evitar ondas estacionárias.

Além disso, a inclinação das paredes e também de teto e piso evitam que as superfícies sejam paralelas. O paralelismo de superfícies contribui para outra falha acústica gerada pela

geometria das salas: o eco palpitante. Ecos palpitantes geram zumbidos nas salas e podem enfatizar determinadas frequências e as fazem soar excessivamente intensas (FREIHEIT, 2002).

Para salas dedicadas à música, o volume, a forma e as proporções das salas devem ser cuidadosamente avaliados para respostas adequadas (KRONENBERG, 2011). Freiheit (2010) declara que o principal problema das salas de prática musical (ensaio e ensino) é o volume inadequado.

O volume é o fundamento de uma sala com acústica boa ou ruim. O volume adequado dissipa a sonoridade e permite ajustar tempos de reverberação para melhor audição de todos os espectros sonoros (WENGER, 2003)

Espaço muito pequeno pode ter Nível de Pressão sonora elevado, o que aumenta o estresse das pessoas e contribui para a perda auditiva. Espaços excessivamente grandes podem ter um impacto negativo na comunicação entre os músicos e no tempo de percurso das ondas sonoras (RYHERD, 2008). Koskinen, Topilla e Olkinuora (2010) alertam que nos espaços de pequeno volume os professores são obrigados a ficar muito próximos a seus alunos, piorando as condições de exposição. Sugerem que se as aulas forem de piano ou bateria, o volume necessário é $80\text{m}^3/\text{pessoa}$, para instrumentos de sopro é $20\text{m}^3/\text{pessoa}$ e para outros instrumentos é $10\text{m}^3/\text{pessoa}$.

A forma da sala influencia no direcionamento das primeiras reflexões, e, conforme Wenger (2003), podem gerar ambientes acústicos indesejáveis. Paredes paralelas e reflexivas isso pode gerar ecos palpitantes, superfícies côncavas conduzem as ondas para o foco, tornando áreas fora do foco sem audição adequada.

Quando existem superfícies côncavas ou que delas se aproximam, certas notas serão amplificadas mais do que as outras. Para Rocha (2010), essa situação leva a um som tonal¹⁵ desequilibrado. Se as distâncias são as mesmas em mais de uma dimensão da sala, ou se são múltiplas umas das outras, esse efeito é potencializado. Salas quadradas, hexagonais ou octogonais devem ser evitadas para que os modos se distribuam uniformemente nas salas. Considerando esses aspectos e a literatura estudada, Riduan (2010) defende que as salas necessitam de uma proporção adequada entre altura, largura e comprimento. Essas proporções

¹⁵ Coloração ou timbre do som.

variam conforme o objetivo da sala, se o uso será para instrumentos harmônicos¹⁶ ou melódicos¹⁷, mas, em geral, a regra 2:3:5 é válida.

Rocha (2010) e Lopes (2010) concordam que o formato retangular favorece a música pela importância que as reflexões laterais têm. Para esse uso, que promove a sensação de acolhimento. Contudo, Wenger (2000) alega que salas quadradas e cúbicas são as piores para problemas de ecos e ondas estacionárias, principalmente se o pé-direito for baixo. Em salas nessas condições os cuidados com materiais de revestimento para absorção e elementos para difusão devem ser ainda maiores.

A NBR 12179 (ABNT, 1992) recomenda que o teto seja utilizado de modo a prover o necessário reforço sonoro a boa audibilidade e que as paredes sejam tratadas de modo a difundir o som uniformemente em todas as direções, com o uso de difusores, ou orientá-lo a pontos específicos do espaço, por meio da utilização de defletores.

O tratamento das superfícies e o uso de difusores ou defletores, que são elementos volumétricos, transcorrem conforme a demanda das atividades específicas desenvolvidas nos espaços ou conforme as deficiências neles encontradas, no caso de espaços já existentes. Jeon et al. (2012) afirmam que difusores são usados para dispersar o som de médias a altas frequências e para corrigir falhas acústicas como ecos, brilho intenso e coloração sonora. Contudo, sua eficácia depende de projeto adequado conforme as frequências que se deseja controlar.

Atributos acústicos

Os atributos acústicos são largamente citados na literatura e relacionam-se a dois grupos funcionais dentro da acústica: o isolamento de ruídos e o condicionamento para propagação interna ao ambiente. Os atributos acústicos estão relacionados à atividade musical, e a suas particularidades, caracterizam o ambiente sonoro de modo completo abordando todas as propriedades necessárias para o adequado desempenho acústico. Wenger (2003), Limmesand e Sigmund (2010), Pompoli, Prodi e Farnetani (2010), Ryherd (2008), Bradley (2010) e Jeon et al. (2012) são alguns dos autores que abordam o tema.

No Brasil não há normatização sobre o tema, mas em vários países do mundo o sistema ISO é utilizado para parametrizar os atributos acústicos. Takahashi (2010) e Bradley (2010) apontam que a acústica arquitetônica hoje conta com diversos atributos para controle do

¹⁶ Que tocam acordes (combinação de notas). Ex.: piano, violão, contrabaixo.

¹⁷ Que tocam notas seguidas. Ex.: flauta, clarineta, saxofone.

ambiente sonoro em ambientes de prática musical. Na literatura, esses atributos são diferenciados em dois grupos: objetivos, que são mensuráveis e possuem fórmulas ou métodos de medição; e subjetivos, que se referem à percepção do ambiente sonoro pelo ouvinte. Bradley (2010) afirma que para cada requisito subjetivo há um objetivo correspondente, para que se possa estabelecer correlações entre usuário e ambiente físico.

Kemp (2000), Wenger (2003) e Freiheit (2002) expõem que o controle da acústica e de seus requisitos se dá pela decisão de formato da sala, de volume da sala, tratamento das vedações e aberturas para isolamento e escolha de materiais das superfícies. Jeon et al. (2012) completam que o controle da acústica de uma sala conta com diversos elementos que podem ser inseridos no espaço para melhorar a distribuição sonora, como os difusores e painéis reverberantes.

Skalevik (2010) desenvolve e comprova uma metodologia de cálculo e simulação dos atributos associando todos eles ao Tempo de Reverberação e aspectos de geometria das salas.

2.3.2. Atributos objetivos e subjetivos para salas de prática musical

Diversos são os atributos mensuráveis associados ao adequado desempenho acústico de um ambiente de prática musical. Mehta, Johnson e Rocaford (1999) e Gimenez et al. (2008) apresentam uma compilação de atributos acústicos e sua conceituação básica. Dentre eles, vários se relacionam apenas a salas de concerto, ou a palcos e fossos de orquestra, sendo dispensáveis às análises de salas para ensaio e ensino musical. A seguir, apresentam-se os atributos relevantes para pequenas salas para música.

Tempo de reverberação - Vivacidade

As ondas refletidas na superfície prolongam a presença do som no ambiente mesmo após a extinção da fonte. A quantidade de energia desse som diminui progressivamente até deixar de ser ouvida, condição esta que, conforme a NBR 12179 (ABNT, 1992) representa um decréscimo de 60dB na intensidade sonora. A norma define como Tempo de Reverberação (TR) o tempo, em segundos, necessário para que a intensidade sonora decaia 60dB.

A explanação de De Marco (1982), deixa claro que excessos devem ser evitados quanto a esse tempo. Se a reverberação persistir por muito tempo na sala haverá uma perturbação da clara percepção do som e a clareza da comunicação será prejudicada. Já o desaparecimento imediato do som após a extinção da emissão da fonte prejudica a percepção de alguns tipos especiais de fontes mais complexas.

Rocha (2010) explica que, na prática musical, se o Tempo de Reverberação é curto, as notas musicais são ouvidas isoladas umas das outras e se for longo, os sons das notas mais recentes se chocam com os das notas tocadas anteriormente. Essa característica define o atributo subjetivo relacionado ao TR, chamado Vivacidade. TR curto gera salas secas, com poucas reflexões; TR longo gera salas vivas, com grande quantidade de som refletido. O TR determina como a sala soará e pode ser moldado pela adequada determinação dos materiais de revestimento. Cada tipo de uso das salas determina um tempo adequado ao uso. Se o uso é para música clássica ou jazz, andamento intenso¹⁸, salas secas permitem um melhor entendimento da melodia. Se as músicas forem caracterizadas por andamento lento, com notas mais longas, a sala viva permite superposições sonoras interessantes.

Wenger (2000) associa a qualidade de reverberação da sala ao desenvolvimento das habilidades dos músicos. Define que salas secas são apropriadas para treinar mecânica musical e as técnicas instrumentais, mas são ambientes ruins para os músicos aperfeiçoarem a performance. Lamberty (1980) já havia constatado que alunos mais avançados preferem salas mais secas enquanto alunos iniciantes ou menos dedicados, salas mais vivas. Explica-se que essa preferência se dá pelo fato de que em salas secas percebe-se melhor o som direto do instrumento, o que permite ao músico ajustar a técnica em busca de seu melhor desempenho. Nas salas vivas, o som reverberante mascara o som direto, o usuário tem a impressão de estar produzindo um som de qualidade, mas não consegue perceber as falhas de execução musical.

Na pesquisa de Riduan (2010), a condição mais adequada, segundo os músicos, seria a de uma sala com condições variáveis, que permita ensaiar em condições agradáveis e condições adversas, com o ambiente sonoro seco ou vivo, de acordo com a habilidade a ser desenvolvida.

Percebe-se que o TR em ambientes de prática é variável conforme a necessidade subjetiva ou objetiva do músico. Contudo, para fins de avaliação, a NBR 12179 (ABNT, 1992) determina um Tempo de Reverberação Ótimo por meio de uma curva de variação¹⁹, em função do uso do ambiente e do volume do espaço. A norma fixa também o método de cálculo do TR ambiental para que seja verificada a conformidade em relação ao TR ótimo.

O TR calculado é função do coeficiente de absorção de cada material, da área da superfície revestida por esse material e do volume da sala. Antes de conhecer o TR, em segundos, é

¹⁸ Andamento: associado ao ritmo da música, rápido ou lento.

¹⁹ Consultar Anexo A2.

necessário saber quanto da energia produzida no espaço será absorvida, por meio da equação 2.6, que dá os valores da absorção média (α_m) do ambiente.

$$\alpha_m = \frac{\sum S_i \cdot \alpha_i}{S} \quad \text{Eq. 2.6}$$

onde S_i é a área do componente, α_i é o coeficiente absorção sonora do material de cada componente e S é a área total da superfície.

Takahashi (2010) afirma que como a absorção de cada material varia em função da frequência, então o tempo de reverberação também mudará para frequências distintas. O resultado da absorção média determina qual será equação de cálculo do TR.

A NBR 12179 determina que, se a absorção média for baixa na sala, com valor igual ou inferior a 0,3, devendo ser utilizada a equação 2.7, desenvolvida por Sabine, onde o tempo de reverberação (Tr) é função do volume da sala (V), da área de superfície dos diferentes componentes (S_i) e do coeficiente de absorção sonora do material dos componentes (α_i).

$$Tr = \frac{0,161 V}{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots} \quad \text{Eq. 2.7}$$

Entretanto, se o valor de absorção média for elevado, acima de 0,3, a equação 2.8 deve ser aplicada no cálculo; essa equação foi desenvolvida por Eyring como um aperfeiçoamento da teoria de Sabine, ao verificar grande incerteza no Tempo de reverberação para salas muito secas.

$$Tr = \frac{0,161 V}{-2,3 \log(1 - \alpha_m)} \quad \text{Eq. 2.8}$$

O Tempo de Reverberação é um atributo consolidado, testado e conferido por diversos pesquisadores. Contudo, não expressa, sozinho, todas as características do condicionamento das salas para música. Outros atributos o complementam. Skalevik (2010) estudou e comprovou que, apesar de precisar de complementos, o TR é o fundamento básico desses atributos complementares, como as que a seguir são apresentadas.

Tempo de Decaimento inicial (EDT) – Envolvimento e Intimidade

A energia sonora não decai de maneira uniforme no TR. A perda dos primeiros 10dB pode ser mais rápida, seguida de perda lenta ou vice-versa (HIDAKA, 1999). Granado (2002) define o tempo de decaimento dessa primeira parcela de energia como Tempo de Decaimento Inicial (EDT).

Bradley (2010) explica que o EDT varia com a distância na sala e claramente tem uma importância e um papel diferentes do TR, que é constante na sala. Perto da fonte, o EDT decai abruptamente e depois gradualmente. Rocha (2010) esclarece que ele relaciona-se com a vivacidade subjetiva da sala, e é a explicação do motivo de salas com Tempos de Reverberação idênticos soarem de forma distinta.

Por estar relacionado diretamente ao TR, o decaimento inicial também depende da absorção da sala e varia com a frequência. Segundo Skalevik (2010), o EDT pode ser obtido tendo-se como dados de entrada o tempo de reverberação, o nível sonoro e a fração de energia refletida, conforme a equação 2.9.

$$EDT = Tr. [10 - (G - G_{refl})]/10 \quad \text{Eq. 2.9}$$

sendo G a energia sonora total e G_{refl} é o total da energia sonora refletida.

Lopes (2010) afirma que o EDT relaciona também o som direto e o reverberante. A garantia de adequada difusão do som por meio de painéis difusores e superfícies irregulares garante a uniformidade de decaimento. O Tempo de Decaimento Inicial está associado aos atributos subjetivos envolvimento e intimidade.

O envolvimento do ouvinte se dá pelas primeiras reflexões que chegam pelas laterais, permitindo aos usuários a sensação de imersão no campo sonoro. Assim se dá uma impressão espacial subjetiva da sala, que possui dois componentes: largura da fonte e envolvimento do ouvinte (BRADLEY, 2010). Por ser impressão subjetiva de tamanho, pode-se obter a sensação de envolvimento tanto em salas de pequenas dimensões quanto nas de grandes dimensões, por meio do controle de materiais e de elementos difusores ou defletores. A intimidade é a percepção de proximidade sonora, está relacionada à impressão de um ambiente intimista devido à relação entre som direto e primeiras reflexões das ondas (IAZZETA, 2004).

Clareza ou fator de clareza (C80) - Clareza

C80 é uma medida de definição para sons musicais. Relaciona as primeiras reflexões com as reflexões tardias, que acontecem 80 milissegundos após a extinção da fonte (BRADLEY, 2010).

Takahashi (2010) explica que quanto maior o fator de Clareza, mais detalhes da comunicação são captados. C80 elevado indica TR pequeno; o contrário também é válido.

Valores baixos de Claridade indicam sobreposição das notas, prejudicando o discernimento da peça ou estudo tocado.

Por ser a relação entre energia tardia e a energia inicial, valores negativos podem ocorrer para C80, indicando necessidades urgentes de correção do TR para que a atividade não seja prejudicada (LOPES, 2010).

Para chegar a valores de C80, antes é necessário conhecer a fração de energia tardia (GL), dada por Skalevik (2010) pela equação 2.10.

$$GL = G_{refl} - 60 \cdot 0,08/Tr \quad \text{Eq. 2.10}$$

É necessário obter, também, os valores de energia inicial (Ge) conforme equação 2.11.

$$Ge = 10 \cdot \log(10^{G/10} - 10^{GL/10}) \quad \text{Eq. 2.11}$$

A energia inicial e as primeiras reflexões, principalmente de paredes laterais e aos fundos do ouvinte, determinam a sensação de envolvimento do usuário, que é um atributo subjetivo, como explica Wenger (2003). Takahashi (2010) descreve que “o envolvimento está relacionado com a sensação de imersão no campo sonoro, ocorre devido a reflexões difusas durante a reverberação”.

Com os valores calculados das energias iniciais e tardias, pode-se calcular a claridade (C80) pela equação 2.12.

$$C80 = Ge - GL \quad \text{Eq. 2.12}$$

O atributo subjetivo associado à Claridade é chamado Clareza. Na música, refere-se à capacidade de discernir a articulação entre as notas musicais.

Força sonora

A força do som (G) relaciona as primeiras reflexões (Ge) a reflexões tardias (GL). O ouvido humano percebe de forma diferente as primeiras reflexões e as tardias. Os valores de Ge são influenciados pelas reflexões das superfícies enquanto GL pela absorção média da sala. Quanto maiores os valores de G, maior a clareza; quanto maiores os valores de GL, maior o envolvimento (BRADLEY; 2010).

Para a determinação da Força, segundo Skalevik (2010), precisa-se conhecer a fração de energia refletida (equação 2.13).

$$G_{refl} = 10 \cdot \log \left(31200 \cdot \frac{Tr}{V} \right) - \frac{r}{c} \cdot \frac{60}{Tr} \quad \text{Eq. 2.13}$$

em que G_{refl} é o total da energia refletida, Tr é o tempo de reverberação, V é o volume do ambiente, r é a distância entre fonte e receptor, c é a velocidade do som no meio. Assim, pode-se calcular a energia sonora total G pela equação 2.14.

$$G = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{G_{refl}}{10}} + \frac{100}{r^2} \right) \quad \text{Eq. 2.14}$$

Razão de graves (RG) – Calor

A razão de graves é atributo usado para conhecimento da predominância de sons de baixa frequência na sala. Lopes (2010) relaciona a forte presença de graves a pouca ou nenhuma vivacidade. Quando se prioriza a presença de graves, o volume da sala deve ser menor e a área de superfícies absorvedoras e difusoras deve ser grande. Painéis leves precisam ser evitados, pois dissipam energia de ondas sonoras longas.

Takahashi apresenta a equação 2.15 para cálculo de RG.

$$RG = \frac{EDT_{125} + EDT_{250}}{EDT_{500} + EDT_{1000}} \quad \text{Eq. 2.15}$$

Wenger (2003) e Iazetta (2004) associam à razão de graves o atributo subjetivo denominado calor, que representa a presença de sons de frequências iguais ou menores a 250Hz.

Razão de agudos (RA) - Brilho

A razão de agudos é usada para medir o brilho da sala, relacionada à alta vivacidade. Lopes (2010) argumenta que se o tipo de uso de uma sala necessita de elevada presença de agudos, então o volume e a área de superfícies refletoras devem ser elevados.

Wenger (2000) explica que uma das falhas mais recorrentes em salas de música é a ausência de agudos pela aplicação desregrada de materiais absorventes nas superfícies. Explica que o mito de que é sempre necessário absorver energia e que espumas, carpetes, cortinas entre outros sempre serão benéficos ao ambiente sonoro levam a adaptações sem projeto. A atividade, desse modo, é prejudicada pelo ambiente pouco vivaz.

Para determinação dos valores de RA, usa-se a equação 2.16.

$$RA = \frac{EDT_{2000} + EDT_{4000}}{EDT_{500} + EDT_{1000}} \quad \text{Eq. 2.16}$$

Brilho ou claridade: descreve a percepção de sonoridade de frequências elevadas (acima de 2000Hz). Quando uma sala é brilhante, as frequências elevadas estão em equilíbrio com as frequências mais baixas. Esse atributo se dá na percepção dos golpes e ataques e valoriza a coloração tonal (WENGER; 2003).

2.4. Aspectos Projetuais

O projeto adequado dos espaços para música garante o desempenho acústico em conformidade com as necessidades de uso. Riduan (2010) lembra que a definição da forma, tamanho e finalidades das salas de prática antes da intervenção determinam os custos e a qualidade acústica, e quanto mais tardiamente no processo de projeto forem decididas as soluções maiores serão seus custos (RIDUAN, 2010).

O processo de projeto, segundo Sampaio et al. (2011) é uma atividade mental que culmina em ideias documentadas em meio físico ou eletrônico, para facilitar a comunicação. Logo, tanto novas edificações quanto intervenções em edificações existentes necessitam de projeto. Esse processo envolve uma interação e um compromisso entre um grupo de interessados e pode ser prejudicado se há falta de compartilhamento das decisões tomadas entre os envolvidos. O projeto deve atender os parâmetros que se balizam pelos resultados de avaliação de satisfação do usuário para evitar falhas já ocorridas. Os parâmetros de projeto devem ser baseados em dados de entrada, compostos pelos resultados de avaliação de satisfação do usuário.

O projeto não é livre. Existe um conjunto de questões e de exigências, como normas técnicas, conforto ambiental, sustentabilidade, lei do uso e ocupação do solo, certificações, entre outros, que impõem limitações, balizando o projeto. Lopes (2010) afirma que para lidar com essa complexa rede de demandas, uma equipe multidisciplinar de projetistas deve dialogar num processo projetual transparente e integrado.

A maneira de conferir essa integração de modo controlado é adotando uma metodologia de projeto, que, segundo Moraes (2010), deve estar adaptada à dinâmica da sociedade atual. Lopes (2010) complementa que a importância da utilização de pelo menos uma metodologia projetual fica evidente para que as soluções sejam integradas com o todo, chegando a um resultado satisfatório.

Em seu estudo, Lopes (2010) defende o método de projeto baseado no desempenho, como melhor metodologia quando se tem prioridades acústicas. Nela, os requisitos de desempenho

guiam a concepção formal, com a abordagem sistêmica dos problemas e especificidades. Desse modo, usuários e consultores acústicos definem as demandas acústicas de cada atividade e essas demandas são abordadas como meta de projeto. O desempenho final do edifício será determinado pelo atendimento a uma lista de requisitos de desempenho que vão desde a função até a qualidade acústica.

A tecnologia é aplicada no projeto e usada no edifício como instrumento para o atendimento a todos os requisitos de desempenho e, para Szalapaj (2005), a sua evolução acompanha a demanda de projeto muito mais do que o projeto se adéqua às novas tecnologias.

Para que o desempenho acústico de escolas de música seja bem sucedido, Wenger (2006) coloca que deve haver uma fase anterior ao projeto, chamada de pré-planejamento, onde seja formada a equipe de trabalho e definidos os objetivos. Além disso, na fase de determinação do Programa de Necessidades, devem ficar claras as necessidades acústicas, e não somente as de uso e atividades. Nessa fase, indispensável tanto para projetos de novas edificações quanto para adaptações, os problemas precisam ser bem definidos.

2.4.1. Sistemas adaptados

Um sistema adaptado surge, no caso de edificações, especialmente em duas situações: as instalações de um edifício em uso tornam-se obsoletas ou há a reutilização de um edifício já existente para uma nova atividade-fim. Moraes e Quelhas (2011) afirmam que ao optar por processos de adaptação há a valorização da edificação, aumento vida útil com incorporação de novas tecnologias, economia e desoneração da intervenção, já que é um processo mais barato que demolir para depois reconstruir.

A reutilização de edificações é uma prática que se enquadra nos conceitos de sustentabilidade ambiental e cultural. Segundo Bezerra (2003), a reutilização caracteriza-se por adaptar o edifício a um novo uso, podendo ser aproveitadas as estruturas e infraestruturas existentes. Afirmar que com a reutilização a vida útil dos edifícios é prolongada conferindo-lhes prestígio e uma nova presença no contexto urbano. Desse modo, edificações com valor histórico são novamente valorizadas frente à população local e reinseridas como importantes no contexto urbano. Há também uma contribuição à preservação ambiental, já que, conforme explica Croitor (2008), o “processo de demolição implica em desperdício de materiais e energia aplicada na etapa de construção”. Para Moraes e Quelhas (2011), na reutilização há ainda o aproveitamento de infraestrutura existente no entorno, com redução do impacto na paisagem urbana.

A reutilização normalmente vem acompanhada de um processo de reabilitação. Barrientos e Qualharini (2004) explicam que a reabilitação é uma reforma gerenciada do ambiente construído. Croitor (2008) apresenta quatro grupos de edificações que são potenciais para a reabilitação, sendo eles: as antigas e degradadas; as inacabadas e abandonadas; as com sistemas prediais ineficientes; e, as de mudança de uso.

Croitor (2008) verifica ainda, que, os projetos de reutilização e reabilitação de edificações encontram algumas limitações e entraves, essencialmente impostos pelo partido arquitetônico da edificação. O processo de reforma e instalação dos novos usos deve-se adequar às condições físicas existentes, sendo necessário utilizar sistemas e tecnologias para alcançar o êxito do projeto.

No caso de espaços para a prática musical, além de sistemas para a adequada utilização e funcionalidade da edificação, são necessárias soluções que permitam o adequado desempenho acústico. Isso porque há uma distinção clara entre as demandas de comportamento acústico para aulas convencionais e para aulas de música (SCHMID, 2012a). As salas são remodeladas quando as instalações são insatisfatórias do ponto de vista sonoro ou quando passam a ser usadas para gêneros musicais diferentes daqueles para os quais foram projetadas (JEON et al., 2012). Skaledance; Zepidou e Nestora (2010) mostram que é possível fazer alterações com um custo razoável e obter melhorias acústicas nas salas em espaços que não foram originalmente projetados para esse fim.

Kronenburg (2011) propõe uma categorização de formas de adequação/reuso de edifícios existentes especialmente para a prática musical. O autor define como ‘Adotados’ os edifícios projetados para outros fins e que foram informalmente adotados para a prática musical. É a forma de uso mais fácil e barata. Em cidades com regulamentos para espaços, são também os mais ameaçados, porque nem sempre possuem licença e adequações quanto a acessos, níveis sonoros e saídas de incêndio. São os espaços de origem, onde as manifestações musicais começam e depois que elas se estabelecem é que acontecem as adaptações ou novas construções anexas. Muitas vezes, são implementados equipamentos específicos para as apresentações como iluminação e sonorização mecânica, mas que são removidos e depois o espaço volta ao seu uso original.

A categoria Edifícios ‘Adaptados’, dada por Kronenburg (2011) representa aqueles projetados para outros fins, que foram adotados para a música e sofreram mudanças para adaptarem-se a esse fim. É a forma mais comum para prática musical. O nível da intervenção pode variar

desde pequenas modificações, deixando a maior parte das características pré-existentes, até a construção de uma ‘nova’ obra em cima da antiga. Muitos espaços adotados são transformados em adaptados por exigências legais para o uso ou pela intensificação da atividade naquele local. É processo resultado da conveniência, pois é mais fácil, rápido e barato adaptar um espaço existente do que construir uma nova edificação. Além disso, as construções existentes estão em áreas privilegiadas da cidade e posicionadas em um zoneamento urbano que facilita a aquisição de licenças e a frequência das pessoas (divulgação). Normalmente, essas edificações possuem um valor único, histórico e arquitetônico, que contribuem para a valorização da atividade musical e conferem identidade específica ao espaço.

Já os edifícios ‘Dedicados’, são aqueles que foram projetados para serem espaços para a música. Kronenburg (2011) afirma que somente novas edificações podem resolver perfeitamente as questões de projeto. Contudo, possuem um risco maior de ficarem subutilizadas quando destinadas a um uso específico ou obsoletas caso o mercado mude. Por isso são mais caras e só se estabeleceram recentemente, com a solidificação do mercado de música popular. Ainda estão em segundo plano em relação às edificações adaptadas, e quando são construídas, transformam-se em uma atração turística por si só, fazendo com que a área no entorno também se beneficie de sua implantação. São muito mais flexíveis que as outras tipologias. O mobiliário pode ser rearranjado assim como paredes para obter espaços mais intimistas ou maiores, conforme o caso e o tipo de música.

Para Qualharini (2000), uma solução é adaptar um edifício conferindo-lhe novos padrões mais adequados às necessidades correntes sem prejuízos para os valores estéticos e históricos do edifício. É uma forma de intervenção que, usualmente, possui por objetivo adequar o desempenho ambiental da construção.

Moraes e Quelhas (2011) explicam que o procedimento para intervenções desse tipo necessita do conhecimento dos equipamentos e sistemas já implantados na edificação, de modo a se aproveitar o que for possível. Os autores ressaltam a importância da documentação de todos os procedimentos de modificações realizadas na adaptação, para controle e balizamento de manutenção e de futuras novas intervenções.

No caso de edifícios de valor históricos declarados patrimônio, além da observância dos aspectos estruturais e físicos, Berreza (2003) lembra que as questões histórica e iconográfica devem ser consideradas no processo de intervenção.

Apreciando o desempenho acústico, Schmid (2012) conclui que a construção e ampliação dos edifícios existentes, que foram reutilizados para a prática musical, são precárias e não atendem à funcionalidade.

2.5. Desempenho Acústico e Projeto de Salas para Escolas de Música

A acústica dos espaços construídos faz parte de um conjunto de requisitos, para o conforto e bem estar do usuário, que podem ser considerados guias do projeto arquitetônico, ao invés de limitações. As soluções propostas para solucionar os requisitos acústicos não devem contradizer às demais exigências projetuais (função, dimensões, ventilação) e sim estarem integradas a elas (LOPES, 2010).

Riduan (2010) relata que a tarefa de solucionar problemas acústicos tem sido complicada, em partes, devido à lacuna existente na comunicação entre professores de música e os agentes envolvidos nos processos da edificação.

Para Ueno e Tachibana (2005) e Riduan (2010), os músicos não conseguem expressar claramente com palavras a acústica das salas da mesma maneira que conseguem ouvi-la e percebê-la²⁰. O ambiente da sala é percebido pelos músicos tão melhor quanto maior for sua experiência na música. Essa percepção mais apurada é o que permite que eles façam ajustes enquanto tocam (altura, afinação etc.), de modo a melhorar a apresentação. Os músicos não estão conscientes da acústica arquitetônica da sala, mas sim de como a sala soa. Esse aspecto dificulta a comunicação entre o usuário e o projetista, tornando-se obstáculo para o projeto das qualidades acústicas de um espaço.

Bispo et al.(2005) expõem que a compreensão e a incorporação dos fatores envolvidos com o desempenho acústico durante o projeto dos espaços é o que garante que sejam alcançados resultados satisfatórios. As qualidades acústicas devem ser concebidas desde o início do projeto. O autor justifica que a intervenção acústica depois da realização da construção não permite que as soluções sejam tão eficazes como aquelas previstas em um projeto. Com isso, além dos prejuízos relacionados ao desempenho acústico, tem-se que a obra fica onerada no aspecto financeiro.

Motta e Aguilar (2009) defendem que os maiores impactos no desempenho de uma edificação acontecem em suas fases de operação e manutenção. Entretanto, a maior possibilidade de

²⁰ A percepção vai além do que conseguem expressar.

controle e intervenção nessas fases são as etapas de idealização, concepção e projeto. Portanto, estratégias concebidas durante o processo projetual potencializam a existência de uma edificação com melhor desempenho e menor custo para a implantação dessas estratégias. Azevedo (1994) afirma que não existem fórmulas ou receitas prontas para o projeto acústico, mas sim fenômenos físicos que precisam ser entendidos e estudados, caso a caso, para balizar a escolha dos materiais e sua aplicação no ambiente. Nessa mesma linha, Ribeiro, Cardoso e Santos (2008) afirmam que

A implementação de soluções de cariz acústico tem um impacto positivo na qualidade total do edifício. É obtida graças a uma melhor gestão do investimento inicial disponível, fortemente condicionada pelo fato de o edifício se encontrar em fase de recuperação ou ser desenhado de raiz. A legislação, recomendações e experiências adquiridas no desenho destes equipamentos contribuem de forma cumulativa para a criação de uma massa crítica tornando mais eficaz e eficiente os espaços atuais.

As questões relacionadas aos requisitos necessitam ser consideradas desde o início das atividades de projeto, e normalmente incluem definições de partido arquitetônico e implantação. Lopes (2010) afirma que a setorização do programa no terreno é umas das decisões iniciais de maior relevância. Tal setorização é relevante também nos projetos de reforma e adequação, já que a decisão da localização dos ambientes pode ser feita com agrupamento dos ambientes com fontes de ruído elevadas e daqueles que necessitam de silêncio. Além disso, há de se considerar os ruídos provenientes do entorno e verificar qual a melhor implantação conforme demanda do ambiente.

Ribeiro, Cardoso e Santos (2008) afirmam que vários estudos comparativos provam uma correlação entre as condições acústicas dos espaços e o desempenho cognitivo e capacidades de aprendizagem demonstradas por estudantes de música de diferentes instrumentos e faixas etárias, condição que demanda a consideração de aspectos de materiais de revestimento e construção e elementos internos adequados às frequências típicas e níveis sonoros da atividade. Contudo, o desempenho acústico desses ambientes supera o atendimento à qualidade do desenvolvimento da atividade-fim e se torna um quesito essencial à manutenção da saúde de seus usuários, de modo que os espaços para a prática musical devem também proteger seus usuários da exposição sonora, principalmente em pequenas salas, quando professores e alunos posicionam-se a distâncias curtas entre si, piorando as condições de exposição (KOSKINEN; TOPPILA; OLKINUORA, 2010). Phillips e Mace (2008) acrescentam que a proteção da saúde auditiva é ainda mais relevante para músicos que para

outros usuários e outras tipologias, já que eles possuem uma audição mais sensível (natural ou desenvolvida com a prática) para percepção de aspectos musicais como timbre, afinação e altura das notas.

A atenção e o cuidado no projeto, o que inclui aspectos acústicos, é o que determina o sucesso de uma escola de música (LAMBERTY, 1980). As questões acústicas são relevantes tanto nos projetos de renovação e reforma dos espaços quanto nos de novas edificações (POMPOLI; PRODI; FARNETANI, 2010). Lopes (2010) afirma que as definições das soluções às questões acústicas, desde o princípio do processo de projeto, é o que garante o melhor desempenho possível com o menor custo possível. Os trabalhos de Koskinen, Toppila e Olkinuora (2010) e Lopes (2010) são convergentes ao expressar a recorrência da falta de implementação das soluções acústicas, usando como justificativa o elevado custo financeiro. Esse custo é onerado para decisões tomadas após a construção da edificação. Contudo, Lopes (2010) ressalta que a ausência de abordagem dos aspectos acústicos para ambientes de atividades musicais acarreta um custo social mais grave que o custo financeiro envolvido na contratação de profissionais especializados e na correta execução dos projetos.

Ryherd (2008) explica que o êxito num projeto que demanda elevado desempenho acústico é resultado de um processo que envolve uma equipe interdisciplinar, com profissionais que dominam o tema e possuem profundo conhecimento da propagação sonora. Lopes (2010) cita que, em alguns casos, as definições de aspectos acústicos caracterizam um projeto à parte. Defende ainda que a aplicação de uma metodologia projetual facilita a integração dos diferentes agentes envolvidos no processo e a coerência e correta interface dos subprojetos que gerarão o edifício com adequado desempenho. Ueno e Tashibana (2005) afirmam que é possível manipular o espaço para controlar o ambiente sonoro da mesma forma e com a mesma importância que o músico manipula o instrumento para produzir o som.

Na prática, a preocupação com o projeto acústico existe somente nos grandes empreendimentos ou construções com destaque social. Koskinen, Toppila e Olkinuora (2010) lembram que, na prática, as pequenas salas são normalmente negligenciadas quanto à solução de questões acústicas e implantação dos elementos de acústica como forma de reduzir ou cortar gastos ou mesmo por não possuírem recursos financeiros disponíveis. Wenger (2010) mostra que um dos sinais dessa negligência são salas com volume inferior ao necessário, tetos muito baixos, desconsideração ergonômica do instrumento no dimensionamento de ambientes e organização em planta que não condiz com a atividade.

Independentemente de ser uma nova construção ou uma adequação de edificação existente, os requisitos a serem seguidos para o adequado desempenho da atividade-fim deve ser respeitado.

2.5.1. Programa de projeto para escolas de música

Segundo Rocha (2010), o espaço ideal para a prática musical seria o palco de um auditório ou uma sala de audição especial para música. Entretanto, há a inviabilidade funcional e logística de haver constantemente ensaios e aulas nesses espaços e as salas de ensaio e escolas de música são os principais espaços para o desenvolvimento dessa atividade. Cunha (2009) afirma que

A organização do espaço físico parece, em um primeiro momento, óbvia. Ligada, porém, ao tipo de uso dos espaços, a organização ocorre em virtude da peculiaridade de seu objeto, a música e sua natureza sonora.

Silva (1998) destaca que o primeiro aspecto para o êxito no processo projetual é o conhecimento das atividades a serem desenvolvidas nos espaços e a definição do programa de necessidades. Leme e Bellochio (2007) expõem que nas escolas de música há atividades como o ensino individual, encontro de diversos instrumentistas, realização de cursos, ensaios, formação de bandas, entre outras. Koskinen, Toppila e Olkinuora (2010) acrescentam que, nessa tipologia, os espaços silenciosos são tão importantes quanto aqueles onde a prática musical acontece, uma vez que os alunos precisam estudar teoria musical, história da música e fazer a leitura prévia, sem instrumentos, das partituras a serem tocadas. Cunha (2009) atenta que a escola de música é lugar de vivência musical, inclui fazer musical e apresentações, que propiciam vivência a quem não tem a música no seu cotidiano.

Kemp (2000) enumera os ambientes componentes do programa para escolas de música. Segundo o autor, são necessárias pequenas salas para prática musical, que abriguem ensaios e aulas individuais ou de grupos com poucas pessoas, assim como salas maiores onde possa haver aulas e ensaios de grupos maiores e até algumas audições. O ensino coletivo de música é uma saída à escassez de professores especializados, o que, também, proporciona a interação social como estratégia pedagógica (PEREIRA; AMARAL, 2012).

As salas para a prática devem ser divididas em salas com características acústicas próprias para o canto e outras próprias para a prática instrumental. Para Koskinen, Toppila e Olkinuora (2010), além de salas para canto e instrumento, é importante prever e prover a existência de salas com diferentes características para os diferentes tipos de instrumentos, aspecto que pode

ser utilizado didaticamente para ensinar aos músicos sobre comportamento sonoro. Além disso, é necessário que haja espaços de apoio, como: área de lanches, secretaria, portaria, espaço para ensaio em horário extra-aula, espaço de espera, sala de professores, sala de gerente. Wenger (2010) lembra que um erro comum é subestimar a quantidade de espaço para armazenar os instrumentos musicais, gerando a degradação dos mesmos e a falta de segurança de equipamentos que são caros e frágeis.

Cunha (2009) acrescenta que as escolas de música atuais carecem de instalações físicas que permitam a boa aprendizagem e facilitem o ensino, inclusive quanto a equipamentos e mobiliário. Quando as instituições possuem recursos, possuem, além dos ambientes de ensino convencional, espaços de apoio e aperfeiçoamento como: estúdio de gravação, salas de aula equipadas com recursos de artes e de música para crianças, auditório e biblioteca. As apresentações caracterizam-se como uma necessidade da maioria das pessoas que estuda música. Ao mesmo tempo, isso se torna uma dificuldade, pois as escolas ou alunos precisam encontrar espaços para alugar na cidade para apresentar-se, exceto se houver um espaço de auditório dentro da escola com aparelhagem de som e adequado condicionamento do ar. Kemp (2000) observa que é desejável colocar entre as salas de instrumentos e de canto os escritórios, halls e outros ambientes de apoio que não produzam ruído em níveis elevados; para isolá-las umas das outras e garantir a fiscalização do acesso a elas.

O mobiliário deve ser bem pensado para permitir a ergonomia na prática dos instrumentos. Muitas vezes o desempenho do músico é afetado negativamente por um mobiliário inadequado, que prejudica a postura (WENGER, 2010). Assim, pianos são úteis para aulas de harmonia entre instrumentos e como acompanhamento nas aulas de canto, e Kemp (2000) recomenda que escolas devam possuir salas com pianos e salas menores, em menor quantidade, que não precisam ter esse mobiliário.

Para Limmesand e Sigmund (2010), as propriedades acústicas da sala de ensaio devem ser: boa distribuição sonora; volume e altura suficientes, para controlar a intensidade sonora para grandes orquestras e instrumentos de elevado nível sonoro e para evitar ecos palpitantes e modos de fortes na sala; possibilidade de variação do tempo de reverberação; e, ruído de fundo baixo. Segundo Rocha (2010),

A sala de ensaio é um espaço de ensino onde a clareza e o equilíbrio são essenciais. A sala de recital ou concerto, por outro lado, deve enriquecer e melhorar o som, que é mais cheio, mais unificado e com prevalência da mistura do som quando comparado com o som numa sala de ensaio.

Para a construção ou reforma de escolas de música, Wenger (2006) ressalta como fatores críticos de sucesso para a acústica, o estudo correto de fluxos e o leiaute em planta.

A flexibilidade, nas condições atuais de uso das escolas de música, é também um fator a ser considerado para que o desempenho seja o melhor possível. Como há controle ou limitação de recursos, é característica das escolas a presença de espaços multifuncionais. Takahashi (2010) afirma que um espaço multifuncional para a música deve permitir que o tempo de reverberação seja alterado. Isso pode ser obtido de duas maneiras: variando o volume ou as características das superfícies do ambiente. Quando o tempo de reverberação deve ser flexível para atender a diferentes tipos de atividades, o tratamento das superfícies pode ser projetado para permitir ora absorção, ora reflexão dos sons.

Lopes (2010) levanta que a literatura do tema sugere o uso de cortinas absorventes sonoras retráteis ao longo das paredes. Quando estendidas, o tempo de reverberação da sala é diminuído através da absorção. Quando recolhidas e escondidas, a quantidade de reverberação da sala aumenta, pois ficam expostas paredes refletoras.

Essas estratégias voltadas para a variabilidade acústica é tendência nos espaços contemporâneos pela viabilidade econômica e diferentes demandas de ambiente acústico para um mesmo espaço, segundo Lopes (2010). Os elementos de variabilidade podem promover diferentes decorações ou manterem sempre a mesma linguagem estética. Modificam normalmente volume e absorção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa, de natureza experimental e experiencial, utilizou-se da estratégia metodológica de Estudo de Casos, a fim de que se pudesse responder a questão de investigação e serem alcançados os objetivos estabelecidos. Para isso, três espaços foram definidos como unidades de análise:

- **Unidade A:** Universidade de Música Popular Bituca, em Barbacena-MG;
- **Unidade B:** Conservatório Estadual de Música Professor Theodolindo José Soares, em Visconde do Rio Branco-MG;
- **Unidade C:** Conservatório Municipal de Música Heitor Villa Lobos, em Barbacena-MG;

As unidades de análise foram determinadas pelas particularidades que influenciam o projeto e a intervenção construtiva. Possuem entre si similaridade quanto à adaptação de edifício de valor histórico à atividade de prática musical com fins de ensino e aperfeiçoamento. Todas as unidades atendem a alunos de cidades das regiões mineiras Zona da Mata e Campo das Vertentes e foram selecionados entre outros por representarem formas distintas de estruturação didática e organizacional.

3.1. Material

Os recursos necessários à realização da pesquisa foram: microcomputador; softwares de representação gráfica, tratamento de imagens, edição de textos e de dados; impressora; gravador de voz; câmera fotográfica; sonômetro calibrado.

3.2. Métodos

Os métodos definidos para esta pesquisa constituem o conjunto de procedimentos e técnicas descritos nos tópicos seguintes, que se mostraram necessários para a obtenção, análise e apresentação dos dados.

3.2.1. Pesquisa bibliográfica

Os seguintes procedimentos foram utilizados: seleção de material em bibliotecas, banco de dados de universidades, periódicos e plataforma da CAPES; organização dos títulos conforme tema e relevância para o tema; fichamento dos textos lidos, e elaboração de resenhas, organogramas e gráficos para a dissertação.

Atendeu ao levantamento do estado da arte relativo aos ambientes de ensino e ensaio de música, dos requisitos e critérios para a tipologia funcional em estudo e para desempenho acústico desses ambientes, bem como para embasamento da elaboração de questionários, entrevistas e outros planilhas. Pela pesquisa bibliográfica, delimitaram-se quais atributos acústicos poderiam ser relevantes para análise dos casos de ambientes voltados para a prática musical, paralelamente à constituição do embasamento teórico, de procedimentos e cálculos para tais atributos. Também foram delimitadas as situações potenciais em termos de bem estar auditivo durante a prática musical. Com isso, delimitou-se como foco de estudo as práticas musicais de instrumentos de sopros e conjuntos de alunos.

3.2.2. Pesquisa documental

Os seguintes procedimentos foram utilizados para cada espaço estudado: realização de buscas em acervos dos proprietários, responsáveis ou administradores dos espaços, prefeituras e órgãos públicos; segregação do material recolhido conforme tipo de documento (ex.: desenhos técnicos, fotografias antigas, textos e reportagens etc.); realização de análises dos dados constantes nos documentos, identificando aspectos técnico-construtivos e arquitetônicos e as alterações neles imprimidas.

Foi relevante para a obtenção da memória dos projetos e conhecimento dos processos de adaptação e readequação ocorridos nas escolas em questão, além de formar banco de dados que se configurou como base para aplicação de outros métodos.

3.2.3. Visitas exploratórias

As visitas exploratórias permitiram que fossem realizados levantamentos físicos e fotográficos. Foram realizadas com e sem acompanhamento. Englobaram os procedimentos: elaboração de planilha para coleta de informações construtivas e arquitetônicas relevantes ao entendimento do ambiente acústico e da funcionalidade dos espaços, conforme as atividades que abrigam; realização de visitas de campo aos edifícios selecionados, com preenchimento das planilhas, anotações de dados relevantes, medições de dimensões espaciais e registros fotográficos; levantamento dos materiais construtivos e de acabamento, tabulação em formato digital dos dados das planilhas e anotações, digitalização do levantamento de dimensões, e organização e seleção das fotografias em função da relevância e relação com as informações escritas; análise dos dados coletados e correlação com dados analisados em outros métodos utilizados nesta pesquisa.

Com os dados coletados, verificou-se que os recursos disponíveis não seriam suficientes para a avaliação detalhada e aprofundada de todas as salas das escolas. Assim, por julgamento e com base nos dados de padrão de uso dos ambientes e caracterização dos usuários, foram delimitadas três salas de aula por escola (Figura 3.1) como elementos de análise.



Medições de Nível de Pressão Sonora (NPS) foram realizadas nos ambientes internos das salas selecionadas em cada escola. Seguiram procedimentos de coleta e análise expressos pelas normas NBR 10151(ABNT; 2000). Para cada sala selecionada foram estabelecidos 5 pontos de medição (Figura 3.2), um central e os demais à distância de 1,20m das vedações verticais.

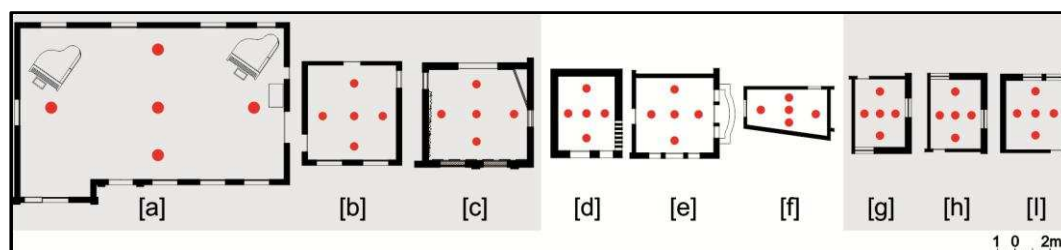


Figura 3.2: Localização dos pontos de leitura. [a] Elemento A1; [b] Elemento A2; [c] Elemento A3; [d] Elemento B1 [e] Elemento B2; [f] Elemento B3; [g] Elemento C1; [h] Elemento C2; [i] Elemento C3.

Em cada ponto, realizaram-se três leituras de nível sonoro em dB(A), triangularmente dispostas em torno da marcação do ponto, com o Sonômetro Extech, modelo 407735, previamente calibrado. As leituras foram realizadas em duas condições determinadas pelos padrões de uso. Como em todas as escolas as portas das salas permanecem sempre fechadas durante as aulas, as medições ocorreram nas situações janelas abertas e janelas fechadas, exceto no caso do Elemento A3, onde não há janelas.

Para cada condição, houve leituras com e sem prática musical na sala, para que se verificassem os níveis sonoros com execução musical e os níveis de ruído de fundo. Os dados foram coletados conforme a atividade nas escolas, durante uma em quatro dias de uma semana típica de aulas e com medições em quatro períodos do dia, exceto no caso da Unidade A, cujas aulas concentram-se em três dias da semana e não há funcionamento noturno. No último caso, as medições foram em três dias e em três períodos do dia.

Os dados das leituras foram dispostos em planilha eletrônica de modo a passarem por tratamento estatístico e serem aplicados na fórmula recomendada pela norma para Nível Equivalente, que traduz os valores das três leituras em um valor por ponto. Realizaram-se análises estatísticas com determinação das Médias e Desvio Padrão dos dados, verificando-se a normalidade a fim de reduzir esses valores em um único valor representativo para cada situação por elemento. O mesmo tipo de teste estatístico aplicou-se aos dados de um mesmo tipo de prática musical, conforme os instrumentos musicais executados, para processar um valor de nível sonoro representativo. Averiguada a uniformidade dos dados, pôde-se tratar os dados para a obtenção do nível de som residual por sala e do nível sonoro produzido conforme a prática musical.

Essa etapa foi necessária para a caracterização e avaliação do desempenho acústico dos ambientes, conforme níveis expressos nas normas técnicas. Contribuíram também para uma melhor identificação e caracterização dos ruídos que interferem nos ambientes de prática musical, caracterização do nível de ruído a que estão submetidos os usuários durante a

atividade e comparação com dados obtidos por meio de outros métodos para caracterização do ambiente acústico.

3.2.5. Avaliação do Tempo de Reverberação (TR)

A avaliação do tempo de reverberação realizou-se conforme procedimentos especificados na norma NBR 12179 (ABNT, 1992). Tendo-se os dados dos materiais de construção empregados na constituição dos fechamentos, interna e superficialmente, e o levantamento físico-dimensional das salas selecionadas, obtidos nas visitas exploratórias e na pesquisa documental, foi determinada a absorção média de cada elemento arquitetônico e a influência do mobiliário. Para esta etapa, também foram usados os dados do coeficiente de absorção específico de cada material, resultantes da pesquisa bibliográfica. Determinada a absorção média, utilizou-se para cálculo do TR a equação própria.

Os cálculos foram realizados para a faixa de frequência de 125Hz a 4000Hz, devido a restrições de obtenção dos dados de coeficientes de absorção para faixa de frequência mais ampla. Ainda assim a faixa usada é maior que aquela para atividades que usam a voz, pelo fato de os sons musicais serem compostos desde frequências muito baixas até as mais elevadas. Foram obtidos o TR ótimo e o TR calculado para a frequência central de cada banda de oitava.

Os cálculos foram realizados para as duas situações de uso das salas: com janelas abertas e com janelas fechadas. No caso do Elemento A3, não havia janelas para essa variação, contudo o espaço possui um elemento acortinado que determinou cálculos de TR com cortina aberta e com cortina recolhida.

O conhecimento do Tempo de Reverberação permitiu a caracterização do condicionamento acústico dos ambientes, a identificação da conformidade acústica quanto à atividade-tipo, a contribuição individual de cada elemento arquitetônico e o cálculo e análise dos atributos acústicos objetivos para salas de música.

3.2.6. Método do traçado dos raios - Acústica geométrica

Foi utilizado esse método para caracterização da propagação das ondas sonoras nas salas selecionadas, no qual se considera o comportamento dessas ondas como raios que refletem especularmente em superfícies planas e são difundidos por aquelas com reentrâncias e saliências de dimensões proporcionais ao comprimento de onda das frequências típicas da sala. Os procedimentos incluíram: identificação e caracterização das fontes sonoras internas

ao ambiente; posicionamento das fontes em pontos do espaço; traçado dos percursos das ondas sonoras diretas da fonte e das primeiras e segundas reflexões dessas; análises dos desenhos gerados. A localização das fontes no ambiente se deu com base nos dados coletados na Observação Direta.

Isso permitiu a caracterização do desempenho acústico dos ambientes e determinação de falhas no campo sonoro decorrentes da geometria da sala.

3.2.7. Observação direta

Recorreu-se à observação direta para identificar a influência do ambiente no comportamento dos usuários e caracterizar o uso das salas. Incluiu os procedimentos: elaboração de planilhas para coleta de informações sobre o comportamento dos usuários quanto à relação usuários-ambiente; realização de visitas de campo aos edifícios selecionados com preenchimento das planilhas, anotações de dados relevantes; tabulação em formato digital dos dados das planilhas e anotações; análise dos dados coletados, identificando-se as reações dos usuários que se referem às condições ambientais.

Foram feitas observações nos mesmos dias e horários das realizações das medições de nível sonoro, gerando um mapa de uso para cada horário. Os mapas do mesmo elemento de análise foram sobrepostos de modo a obter plantas de uso de cada sala selecionada. Esse método forneceu informações relevantes à aplicação de outros métodos.

3.2.8. Entrevistas

Duas técnicas de entrevistas foram utilizadas: entrevistas espontâneas e entrevistas semiestruturadas. As semiestruturadas foram previamente elaboradas com base na pesquisa bibliográfica realizada. Ambas as técnicas utilizaram-se dos procedimentos: identificação das pessoas-chave a serem entrevistadas; visita de campo para realização das entrevistas ou realização das entrevistas por telefone, conforme viabilidade; tabulação dos dados obtidos nas entrevistas; análise dos dados e correlação com dados analisados em outros métodos utilizados nesta pesquisa.

Esses procedimentos permitiram a caracterização funcional dos espaços selecionados e contribuíram para relacionar as soluções acústicas, arquitetônicas e construtivas ao comportamento dos usuários.

3.2.9. Questionários

Visaram a complementar os dados de diagnóstico do ponto de vista dos usuários e para a captação de suas opiniões acerca do desempenho acústico dos ambientes. Foram aplicados aos alunos e professores dos instrumentos de sopro das escolas. Foi adotado o questionário²¹ com diferencial semântico, ou seja, os usuários avaliaram aspectos inerentes às salas de aula conferindo notas pela aproximação entre polos antônimos. A escala de valores adotada foi a de 10 pontos. Conceitos relevantes à acústica arquitetônica foram abordados nos questionários em cinco blocos de questões: aspectos físicos, ruído de fundo, condicionamento acústico, isolamento acústico, execução musical e atributos acústicos. Realizou-se aplicação pré-teste dos questionários; avaliação da aplicação pré-teste e correção dos questionários; aplicação definitiva dos questionários.

Na tabulação dos dados, aplicou-se procedimento de ponderação de valores-pesos para a compilação das diversas notas atribuídas pelos usuários em um único valor representativo.

3.3. Definição de variáveis

Os métodos adotados seguiram duas linhas de abordagem: o diagnóstico técnico dos espaços e a apreensão da interferência direta do espaço no usuário. A estruturação metodológica se deu conforme apresentado na Figura 1.1. Coletados os dados, segundo os métodos apresentados, as informações relativas aos aspectos arquitetônico-construtivos e de desempenho acústico foram processadas, de acordo com as variáveis de interesse para a avaliação das condições de exposição e de desempenho acústico dos ambientes estudados.

Quanto aos aspectos arquitetônico-construtivos, em face da delimitação metodológica para estudo dos espaços internos, os dados foram agrupados em: Conformação Física, Paredes, Teto, Piso, Janelas, Portas e Mobiliário.

O comportamento acústico foi analisado conforme as variáveis: Geometria do Ambiente, Nível de Pressão Sonora, Perda por Transmissão Sonora, Tempo de Reverberação, Tempo de Decaimento Inicial, Razão de Graves, Razão de Agudos, Claridade C80.

²¹ Modelo no Apêndice 01.

4. ESTUDOS DE CASO: TRÊS UNIDADES ADAPTADAS À PRÁTICA MUSICAL

Os estudos de caso de escolas de música com diferentes estruturas organizacionais se deram para a identificação e caracterização dos aspectos para projeto de espaços destinados ao ensino de música, e o estabelecimento de sua relação com a condição arquitetônica e construtiva.

4.1. Aspectos Gerais

4.1.1. Unidade A: Universidade de Música Popular Bituca

A Universidade de Música Popular Bituca foi fundada em 2004 com o objetivo de formação profissional, oferecendo ensino gratuito a alunos provenientes de vinte e cinco cidades da região de Barbacena-MG. O ensino é gratuito, mesmo tendo a instituição caráter particular: trata-se de um desmembramento do grupo Ponto de Partida, e se mantém com o patrocínio de empresas privadas estimuladas pela dedução fiscal garantida pela lei estadual de incentivo à cultura (IN 03/2012 LEIC) e pela Lei Federal 8313/91.

A escola foi instalada num dos prédios de uma antiga fábrica de seda, datado de 1888, e teve sua reforma financiada com recursos provenientes do Fundo Estadual de Cultura e de empresas privadas, sendo o projeto realizado pelo Arquiteto Alexandre Rousset.

A edificação estava subutilizada e em processo de degradação quando da decisão de instalação da escola no local. No período entre o fechamento da fábrica e a reforma para abrigar a escola não houve outra utilização do prédio, a não ser a de depósito de materiais e sucatas. A escolha se deu pelo fato de a implantação do complexo ser deslocada da malha urbana, num local onde há pouca interferência de ruídos externos à escola (Figura 4.1).

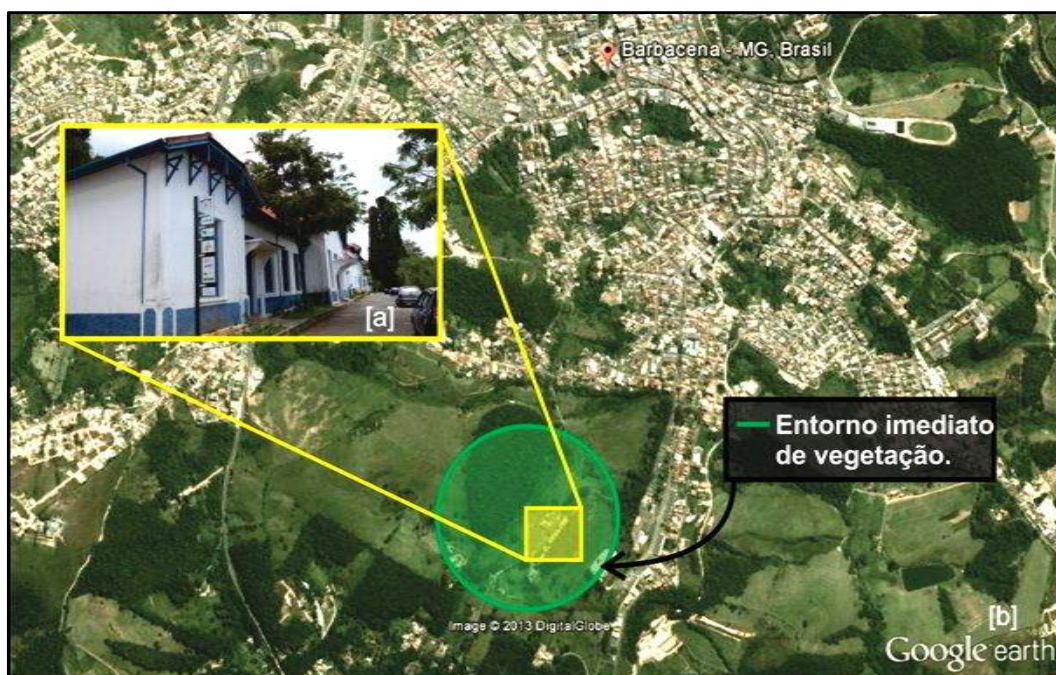


Figura 4.1: Localização da Unidade A na malha urbana.

Fonte: [a] acervo próprio. [b] Google (2013).

O conceito do projeto de reforma teve como balizador a preservação das características originais da edificação e a estética interna que expusesse a identidade visual do grupo Ponto de Partida. O procedimento incluiu o levantamento de danos e das condições da instalação, de modo a embasar as decisões para a reforma.

A estrutura organizacional da instituição e a forma de financiamento permitiu a contratação de empresa privada para elaboração do projeto e a execução da obra sem a necessidade de processo licitatório. Portanto, não houve maiores restrições para a realização do projeto de reforma e adequação, exceto quanto à limitação de recursos financeiros.

4.1.2. Unidade B: Conservatório Estadual Theodolindo José Soares

Esse Conservatório Estadual, criado como órgão público em 1953 por lei estadual, é regido pelo regulamento de Conservatórios Estaduais de Música e mantido pelo governo do Estado de Minas Gerais, sob coordenação da Superintendência Regional de Ensino do Estado, em Ubá-MG. Oferece ensino gratuito a alunos de quinze cidades da região, com cursos de formação básica em música e também de profissionalização via curso técnico.

A unidade está localizada em Visconde do Rio Branco-MG, em prédio de valor histórico situado no centro da cidade. O governo estadual definiu a implantação de acordo com a disponibilidade de edificação ociosa. O entorno imediato possui residências, uma escola regular infantil e a praça central da cidade com ruas de tráfego de médio a intenso. Desde a

sua fundação, a escola mudou de sede diversas vezes até se estabelecer na atual há 32 anos (Figura 4.2).

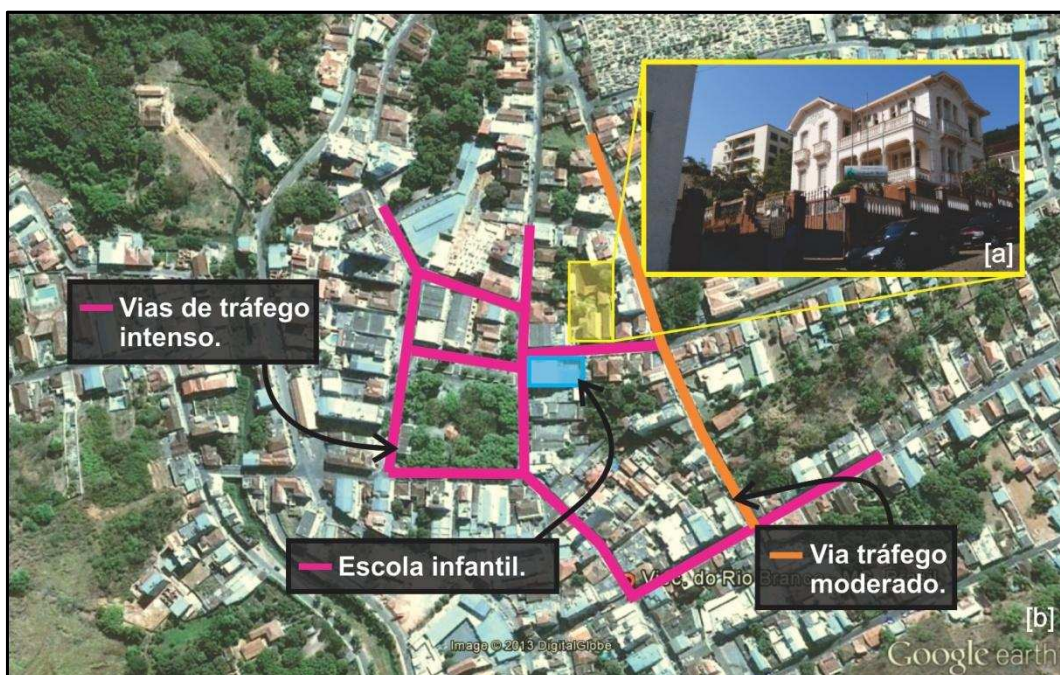


Figura 4.2: Localização da Unidade B na malha urbana.
Fonte: [a] acervo próprio. [b] Google (2007).

O edifício é tombado como patrimônio histórico municipal. Está implantado em terreno amplo e tinha anteriormente uso residencial privado, com única edificação de três pavimentos, sendo um deles subsolo, e uma sala anexa, que era usada como depósito.

A primeira reforma, em 1980, teve por finalidade somente a conservação de pintura e acabamentos. Não houve demolições ou construções de alvenaria ou lajes. Para essa reforma, não houve projeto específico, somente orientações da equipe de engenharia da Superintendência de Ensino. A reforma foi realizada com recursos públicos por meio de licitação.

A crescente demanda pelas atividades oferecidas pelo conservatório aumentou o número de alunos e tornou o prédio original insuficiente para abrigar as turmas. Foram realizadas ampliações na década de 1990, com construção de cinco anexos, três abrigando salas de aula, um com cantina e outro com um auditório (Figura 4.3).

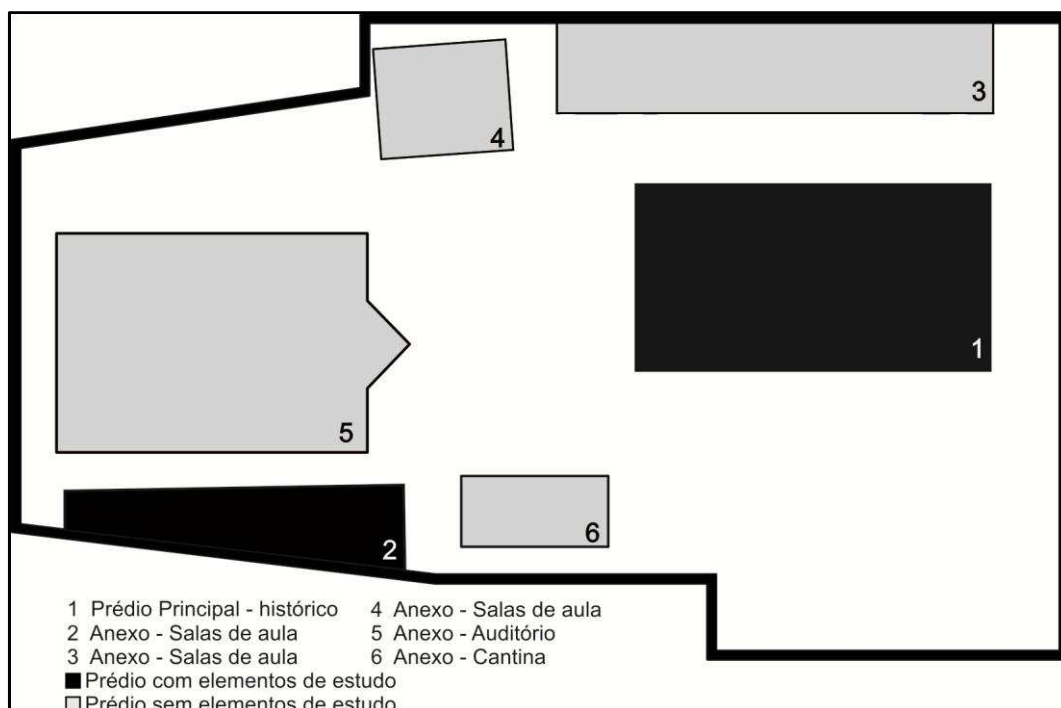


Figura 4.3: Espacialização atual da Unidade B.

Todos os projetos foram realizados pela equipe interna da Superintendência e execução das obras mediante licitação pública. As restrições que esse contexto impõe ao processo de projeto incluem: falta de especialização dos profissionais de projeto envolvidos ou barreiras à liberação de verbas para a contratação das equipes para o projeto especializado; limitação de recursos financeiros para execução das obras; e, dificuldades de intervenções em edifícios tombados como patrimônio.

4.1.3. Unidade C: Conservatório Municipal Heitor Villa-Lobos

O Conservatório Municipal foi fundado por lei municipal, como órgão público. É mantido pela Prefeitura Municipal de Barbacena e coordenado pela Fundação Municipal de Cultura. Atende a alunos de oito cidades da região, com cursos de formação básica para alunos a partir de 6 anos.

Desde a sua fundação, migra entre diversos edifícios de propriedade do município. A alteração de sede se dá por ordem de órgãos hierarquicamente superiores, conforme a necessidade de instalação das sedes de instituições municipais. Desde 2007, está instalada no prédio da Estação Ferroviária (Figura 4.4). As salas que ocupa localizam-se em todo o segundo pavimento da sede da estação, onde anteriormente funcionavam os setores administrativos da linha regional Central do Brasil. Eventualmente, para apresentações ao

público, o Conservatório se utiliza de um dos antigos galpões de armazenagem, que também abriga a exposição permanente de artes plásticas do município.

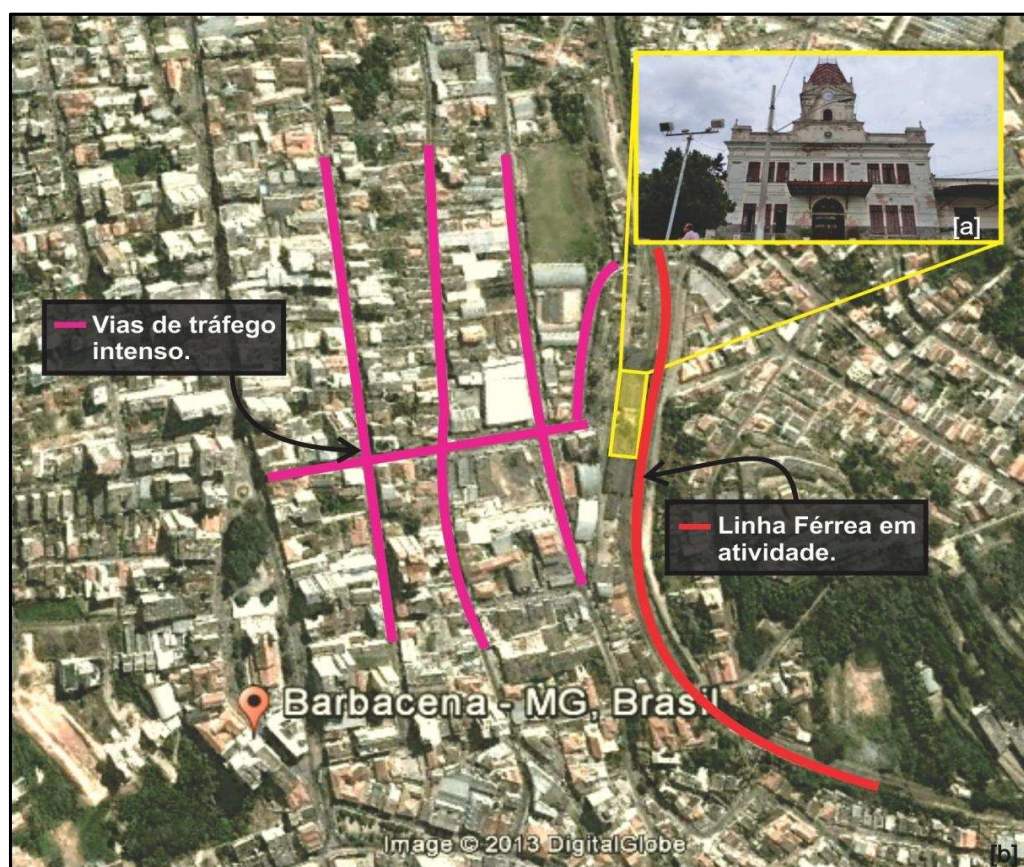


Figura 4.4: Localização da Unidade A na malha urbana.
Fonte: [a] acervo próprio. [b] Google (2013).

O edifício localiza-se no centro da cidade, próximo a vias de circulação de veículos com tráfego intenso. Apesar de o prédio não ter uso como estação ferroviária, ainda há circulação de trens de carga na linha férrea adjacente; a área no entorno da edificação, além do trânsito de grandes composições férreas, é usada também como pátio de manobras de pequenas composições e carregamentos leves.

A edificação não passou por reformas, adaptações ou ampliações para se adequar ao uso de Escola de Música. A conformação física é ainda a original, uma vez que o edifício é tombado pelo IEPHA.

4.2. Conformação Física

Nessa seção, são abordados os aspectos físicos das salas, relacionados às questões arquitetônicas e construtivas e associações com as demandas acústicas.

4.2.1. Unidade A

Os ambientes da unidade são caracterizados pela multifuncionalidade. Como se pode verificar na Figura 4.5, o maior deles é usado também como auditório para pequenas apresentações, a sala S7 é usada como sala multimídia e a S4 como estúdio de gravações. Na sala S8, não há prática musical, mas aulas de engenharia de som. A S9 seria dedicada à prática musical, mas teve seu uso inviabilizado pela quantidade de ruído proveniente da sala S3. A secretaria, S2, é também usada como ambiente de estar e para estudos sem instrumentos. Como áreas de apoio, há dois depósitos (um de material de consumo e outro de instrumentos), e também a copa e a cozinha. As atividades foram agrupadas em planta. Apoios relacionados à educação e direção ocupam a posição central em planta e os de serviço, S5 e S6, agrupam-se na entrada secundária.



Figura 4.5: Configuração da Unidade A em planta baixa.

A escola possui dois acessos: um principal (S2) e outro secundário (S6). Não há separação de fluxos de funcionários e alunos e o acesso às salas S9 e S8 depende respectivamente dos ambientes S3 e S7, o que pode gerar interrupção da atividade nesses ambientes. O acesso à sala S4 se dá normalmente pelo acesso secundário, mas em dias chuvosos ocorre também pela sala S3.

As únicas alterações de alvenaria realizadas na escola foram a retirada de uma parede no banheiro, para ampliação, e a vedação das aberturas no ambiente do estúdio de gravação.

São ambientes com fontes internas de ruído: todos os que possuem prática musical e os de apoio com acúmulo de pessoas, onde há conversação nos grupos. Pela implantação

privilegiada, a fonte de ruído externa à escola é somente o tráfego eventual de veículos para acesso à própria escola e aos prédios vizinhos.

As paredes são de alvenaria estrutural, constituídas de tijolo maciço e argamassa, com espessura de 20 a 30cm, conforme função de estruturação ou somente de compartimentação. As portas e janelas são de madeira maciça com vidro simples, exceto no estúdio, onde o visor é de vidro temperado duplo e as portas, também duplas, constituídas de metal, lã de vidro e madeira. O piso é uma laje sobre o solo, em todos os ambientes, com revestimento em ladrilho hidráulico ou madeira laminada. A cobertura é constituída por estrutura de madeira, telha cerâmica e forro de madeira.

Pelas atividades nelas desenvolvidas, as salas S2 e S8 não podem estar sujeitas a ruídos prejudiciais ao nível de concentração requerido por quem as utiliza. Como a prática de uma sala não pode interferir na prática de salas próximas, o desempenho do isolamento acústico das vedações deve ser priorizado. Contudo, não foram realizadas intervenções de reforço do isolamento dessas vedações, mantendo-se a constituição e os revestimentos originais, à exceção do estúdio S4, constituído de acordo com o exposto na Figura 4.6.

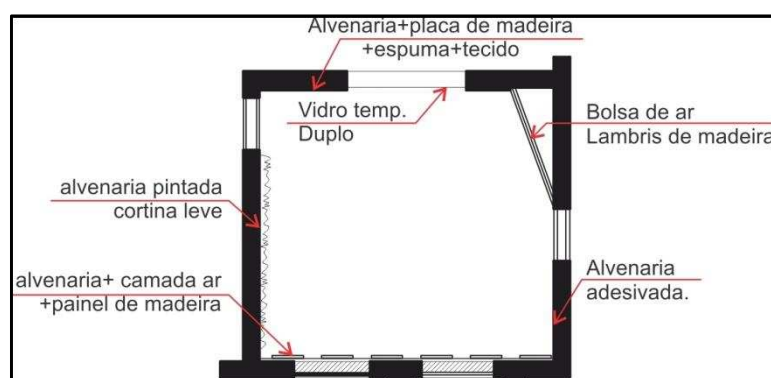


Figura 4.6: Constituição do Estúdio.

Esse foi o único ambiente que sofreu intervenções com finalidade de adequação acústica, com tratamento nas vedações verticais. O teto foi rebaixado em relação aos demais ambientes da escola, mas não foram feitas alterações em sua composição, que permanece sendo de lambris de madeira. Além disso, elementos foram acrescentados ao ambiente para controle acústico, como a cortina e oito guarda-chuvas abertos cobertos com lã de vidro pendurados no teto.

Quanto à ocupação, os elementos de análise selecionados nessa escola possuem elevada flexibilidade de mobiliário e Índice de Obstrução baixo. No Elemento A1, há ocupação por mobiliários de 8% da área, no Elemento A2 essa ocupação é de 12% e no Elemento A3 o Índice de Obstrução é de 9%.

Há na literatura comentada no Capítulo 2 um parâmetro considerado ideal para a prática instrumental, de modo a permitir o melhor desempenho possível da atividade. Para o caso de instrumentos de sopro, esse volume ideal é de 20m^3 por pessoa, quando a prática é de percussão, o volume mínimo deve ser de 80m^3 por pessoa e para qualquer outro tipo de instrumento é de 10m^3 /pessoa. O quadro 4.1 mostra a relação entre volume e ocupação padrão.

Quadro 4.1: Volume por pessoa nos elementos da Unidade A.

Elemento	Volume [m^3]	Ocupação [n° pessoas]		Volume [m^3 /pessoa]	
		Sopro e outros	Percussão	Sopro	Percussão
A1	898,96	5	7	179,8	128,4
A2	119,32	4	-	29,8	-
A3	144,50	5	7	28,9	20,6

Em todos os elementos de análise dessa unidade, o volume é suficiente tanto para a prática de instrumentos de sopro quanto para a prática de outros tipos de instrumentos. É inadequado apenas para a prática de percussão nos Elementos A2 e A3, sendo esse último o que mais abriga aulas e ensaios com uso dessa categoria de instrumentos.

4.2.2. Unidade B

A unidade B é composta pelo edifício principal e outros cinco anexos, como mostrado na Figura 4.3. Dos anexos, quatro são exclusivamente para prática musical: um deles com auditório e os demais somente salas de aula. O quinto anexo abriga os ambientes de apoio cantina e cozinha. Todas as demais atividades de apoio concentram-se no primeiro pavimento do prédio principal e são: secretaria, recepção, armazenagem de instrumentos, sala de professores, copa e supervisão pedagógica, além de uma biblioteca no térreo desse prédio.

As aulas são alocadas nas salas, de acordo com o instrumento, somente no prédio principal e no anexo 2, nos quais aulas de instrumentos de sopro são realizadas. Portanto, foram analisados aspectos formais desses dois edifícios.

O acesso a cada prédio se faz de modo independente, e assim é com o anexo 2. Nele, as salas abrem-se para uma circulação coberta, limitada pela construção no anexo e do auditório, como mostra a Figura 4.7. A geometria das salas caracteriza-se pela presença de uma parede inclinada. Essa característica surgiu pela necessidade de implantação do anexo na faixa de terreno disponível, e foi conformada segundo as divisas do lote.

Nesse anexo, todos os ambientes são salas de aula e suas partições devem isolá-los de ruídos originários de salas adjacentes ou da prática musical no auditório. O anexo possui um segundo pavimento, constituído, também, somente por salas de aula, cuja compartimentação e limites seguem o pavimento apresentado na Figura 4.7. A composição construtiva é a mesma em todos os ambientes: alvenaria de bloco cerâmico furado e revestida com argamassa simples, piso de laje sobre o solo com pavimentação cerâmica, laje de teto pintado e portas e janelas de madeira.

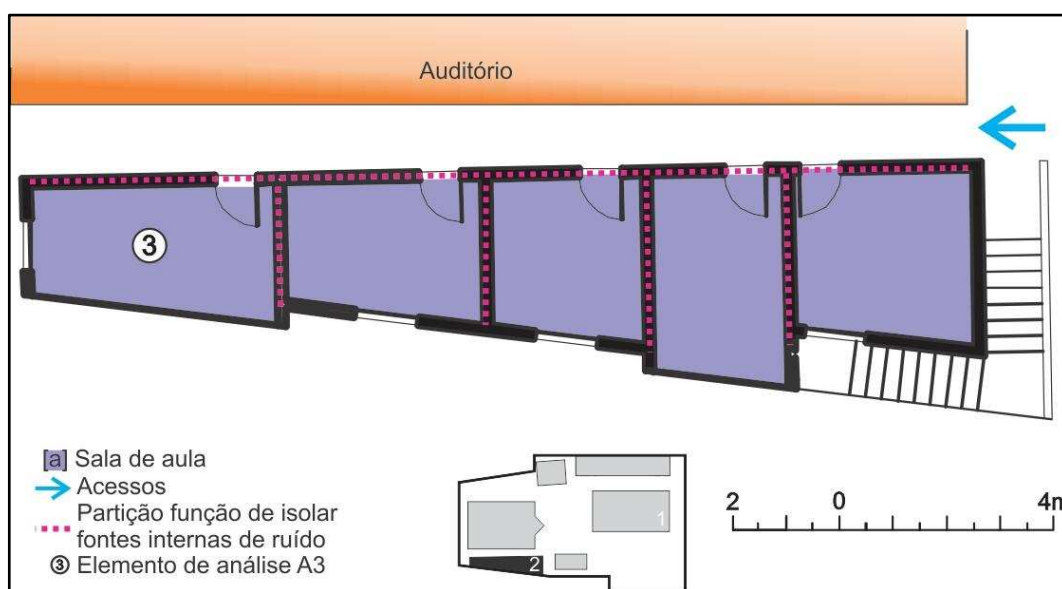


Figura 4.7: Configuração do Anexo2 da Unidade B em planta baixa.

O prédio principal (Figura 4.8) é de alvenaria autoportante, constituída de tijolos maciços, com espessura que varia entre os pavimentos²² e função²³. O padrão de revestimento é argamassa pintada, sendo exceções os ambientes S1, S5, S6, S7 e S13, onde as paredes possuem azulejos cerâmicos vitrificados. Nesses mesmos ambientes, o piso também é revestido pelo mesmo material. O piso, nos demais ambientes, é de madeira em tacos ou assoalho. O forro, em todos os ambientes, é de madeira sobre barrotes. As portas e janelas são de madeira maciça com visores em vidro. Há um caso particular, na sala S1, no qual uma abertura para ventilação não possui nenhum tipo de vedação. A condição de altura das salas do térreo dessa edificação é inquietante, já que em todos eles o pé-direito é em torno de 1,80m, inclusive no elemento de análise B1, onde o esse valor varia de 1,95m próximo à porta de acesso a 1,80m na face oposta. Conforme a NBR15575 (ABNT,2008), qualquer pé-direito abaixo de 2,50m é inadequado ao uso para permanência prolongada, como é o caso.

²² Mais larga quanto mais baixo o pavimento.

²³ Envelope do edifício mais larga e alvenaria de compartimentação mais estreita.



Figura 4.8: Configuração do prédio principal da Unidade B em planta baixa.

As atividades de apoio estão concentradas no primeiro pavimento, e as salas de aulas no segundo. Não foram feitas alterações formais no prédio, mas, para abrigar o programa de

necessidade, ambientes foram reutilizados para finalidades muito divergentes de seu uso original. Nesse caso, enquadram-se todos os ambientes do térreo, que anteriormente eram depósitos e se tornaram salas de aula e biblioteca (S2). Além deles, S6 e S13 eram banheiros originalmente e foram convertidos para uso como salas de aulas. O ambiente S5 era uma cozinha e atualmente abriga a Supervisão Pedagógica. É questionável a situação dos ambientes S18 e S19, salas de aulas instaladas no hall do segundo pavimento: são limitadas por armários baixos e tabiques de altura 1,60m, com aberturas próximas ao piso, sendo estes também usados para subdividir um ambiente em dois - S14 e S15 -.

As fontes internas de ruído são, como típico nessa tipologia, a prática musical das salas vizinhas e conversação. As fontes externas são provenientes do tráfego de veículos nas ruas próximas, horários de recreação da escola infantil vizinha e de conversa no pátio do conservatório, para as salas que se localizam no nível do solo.

A ocupação das salas é caracterizada pela rigidez e pouca variabilidade do leiaute. Nos elementos de análise selecionados nessa Unidade, o Índice de Obstrução do Elemento B2 é o maior, com 37% da área ocupada por móveis, em seguida o Elemento B3, com 31%. O Elemento B1 apresenta 17% da área obstruída.

Quanto ao volume ideal, conforme o número de instrumentistas na sala, ocorre o que se mostra no quadro 4.2.

Quadro 4.2: Volume por pessoa nos elementos da Unidade B.

Elemento	Volume [m ³]	Ocupação [nº de pessoas]		Volume [m ³ /pessoa]	
		Sopro e outros	Percussão	Sopro	Percussão
B1	39,18	3	7	13,1	5,6
B2	96,00	4	-	24,0	-
B3	54,72	5	7	10,9	7,8

Somente o Elemento B2 está apto para abrigar as turmas de instrumentos de sopro com o número de alunos usual. Os outros dois elementos, para atender a esse requisito, só poderiam conter atividades com dois instrumentistas. Todos os elementos estão aptos para atividades com outros tipos de instrumentos.

4.2.3. Unidade C

A unidade está no segundo pavimento de uma estação ferroviária, e é acesso ao sótão desse prédio, raramente visitado e ainda subutilizado, mas no qual vem sendo planejada a ampliação do número de salas de prática musical. Há somente um acesso à unidade.

Essa escola (Figura 4.9) possui uma sala de aula destinada somente a aulas de teoria (S2), salas de prática musical e secretaria, direção, copa e depósitos como ambientes de apoio. Os ambientes de apoio foram agrupados em planta baixa, exceto os depósitos S8 e S9, que foram instalados no antigo banheiro, mesmo caso do S5.

Assim como nas Unidades A e B, o sistema construtivo é a alvenaria autoportante de tijolos maciços, com envelope de maior espessura que as alvenarias de compartimentação. O acabamento interno é em argamassa pintada na parte superior das paredes e lambris de madeira até 1,60m de altura, composição que é original do edifício. O piso e o teto são de laje, sendo o piso de todos os ambientes (exceto banheiros) de taco de madeira e o teto pintado. As portas possuem diferentes constituições: nos ambientes S1, S2, S4 e S6 são de madeira maciça. Nos ambientes S10, S11, S12 e S13, as portas são do tipo prancheta simples e no S7 a porta é de vidro com esquadria de madeira e não veda todo o vão. Todas as janelas são de madeira maciça e vidro.

As fontes internas de ruído são a prática musical e a conversação na copa (S7) e circulações. As fontes externas provêm de tráfego intenso de veículos nas proximidades e de passagem e manobra de composições ferroviárias, a cerca de 10m da edificação.



Figura 4.9: Análise em planta, Unidade C.

O Índice de Obstrução é elevado no Elemento C3, com 41% da área ocupada por mobiliário. Os Elementos C1 e C2 possuem, respectivamente, 17 e 23% de obstrução. O volume das salas analisadas, com as turmas com mais alunos, é sempre menor que o adequado para instrumentos de sopro, como mostra o quadro 4.3.

Quadro 4.3: Volume por pessoa nos elementos da Unidade B.

Elemento	Volume [m ³]	Ocupação [nº de pessoas]		Volume [m ³ /pessoa]	
		Sopro e outros	Percussão	Sopro	Percussão
B1	48,38	3	7	16,1	6,9
B2	49,42	3	-	16,5	-
B3	57,86	4	7	14,5	8,3

O tamanho das salas é suficiente para turmas com uma ou duas pessoas tocando. Se o instrumento for de corda ou canto, então o volume é adequado.

4.3. Comportamento do Usuário

Foram realizadas observações da rotina das atividades em cada ambiente, para subsidiar a composição de um mapa de posicionamentos dos usuários no espaço, para cada elemento de estudo. Os ambientes analisados foram caracterizados por permanência, e não por passagem, razão por que foram plotados posicionamentos e não fluxos. As respostas dadas a algumas perguntas dos questionários associadas diretamente ao padrão de uso dos espaços também corroboraram para essa análise. O número de usuários por horário é variável: as turmas têm de um a dez alunos, conforme instrumento e nível de habilidade dos alunos. São apresentadas, a seguir, as plantas de uso geradas pela sobreposição dos levantamentos, em datas e horários distintos para uma mesma sala.

4.3.1. Unidade A

A ocupação nos três ambientes da Unidade se faz de maneira distinta, como é possível observar na Figura 4.10.

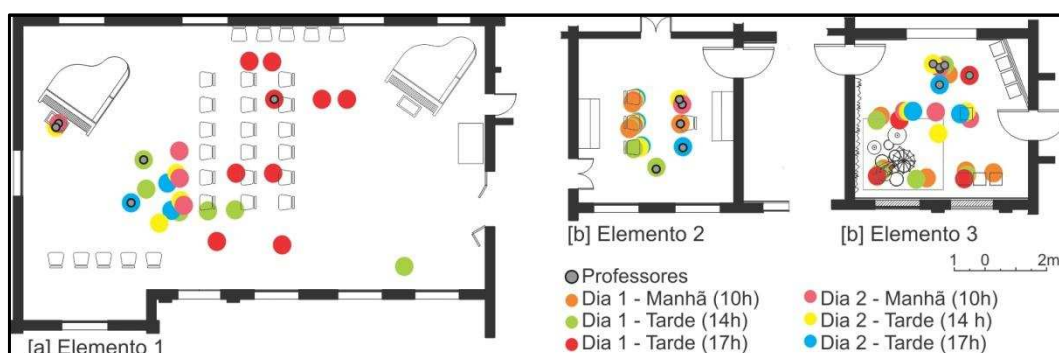


Figura 4.10: Mapa comportamental, Unidade A - Elementos 1,2 e 3.

No Elemento A1, observa-se a concentração de alunos longe da porta de acesso e, predominantemente, também das janelas. A ocupação também se condiciona à proximidade com o piano. Somente numa das aulas a dispersão foi maior: essa aula era também a que possuía o maior número de alunos. Os professores permaneceram de frente para os alunos, próximos a eles ou ao piano quando acompanhando a prática tocando harmonia.

No Elemento A2, a concentração é ainda maior que no primeiro. O foco da ocupação é o centro da sala e os professores sempre se posicionam frontalmente a seus alunos, que são grupos pequenos de duas ou três pessoas.

No Elemento A3, houve uma grande dispersão da ocupação dos alunos. Não é possível delimitar uma área focal, exceto para os professores que sempre estão de frente para o grupo de alunos. Nessa sala, as aulas são para grupos maiores, de três a seis pessoas.

Em todos os elementos, as portas permaneceram fechadas durante as aulas ou ensaios. As janelas variaram da completa abertura até o fechamento das bandeiras, mantendo postigos abertos. No caso de prática musical no Elemento A1, o uso da sala é feito com as janelas próximas aos usuários, abertas, e em nenhum momento todas as janelas foram abertas paralelamente. Os professores, nessa unidade, ou tocavam o mesmo instrumento que ministravam ou tocavam piano como acompanhamento aos alunos, exceto nas atividades do Elemento A3, quando apenas instruíam os alunos.

4.3.2. Unidade B

Pela dimensão reduzida das salas e quantidade de mobiliário, há aglomeração central em todos os elementos dessa unidade (Figura 4.11). Quando possível, os usuários buscam distanciamento das paredes e aberturas.

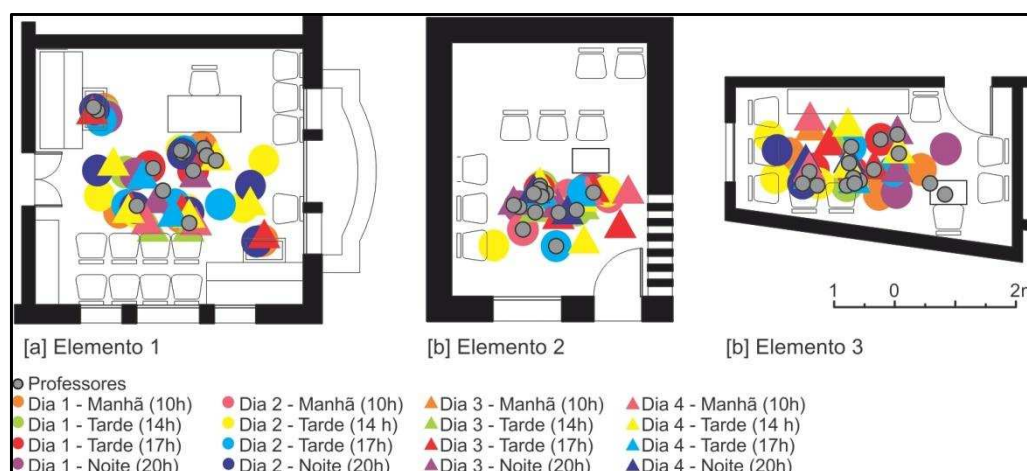


Figura 4.11: Mapa comportamental, Unidade B – Elementos 1, 2 e 3.

No Elemento B1, a dispersão dos alunos é maior que a de professores, que permanecem ao piano ou frontalmente aos alunos. Os professores permaneceram ao lado do aprendiz somente nos casos de aulas individuais. A presença de elevado número de cadeiras também condiciona o posicionamento no centro da sala; foi observado que na maioria das aulas os usuários permaneceram de pé. Os lugares próximos à janela foram ocupados somente em aulas de grupos com 4 a 8 pessoas: a posição a ser ocupada era indicada pelo professor, conforme a performance musical.

No Elemento B2, a aglomeração na ocupação foi a maior: os alunos e professores concentraram-se na região da sala próxima às aberturas. A sala está mais distante de outros recintos de prática e possui paredes com elevada reflexão sonora. O acúmulo próximo às janelas se dá como meio de fuga da parcela da sala com mais ondas refletidas e também com menor pé-direito (varia no teto inclinado de 1,80m a 1,95m), já que o piso declina e a altura da sala é maior na área próxima à porta. Os professores permanecem predominantemente ao lado de seus alunos, que fazem aulas individuais ou em dupla.

No Elemento B3, as dimensões espaciais são reduzidas, o que caracteriza poucas opções de posicionamento nas salas. Observa-se, contudo, que os usuários evitam a proximidade com a parede que compartimenta duas salas, e a preferência pelos pontos centrais do ambiente. As aulas são sempre em grupos de dois ou três alunos e os professores se posicionam junto a eles.

Em todos os elementos, os professores somente instruíam os alunos, sem tocar instrumentos juntamente. No Elemento B3, houve aulas em que os professores acompanhavam ao piano. As janelas sempre permaneceram abertas e as portas sempre fechadas.

4.3.3. Unidade C

Os agrupamentos nas salas dessa Unidade se fazem conforme as atividades. No Elemento C1, onde há predominância de aulas de piano, professores e alunos concentram-se próximos ao piano. A localização do instrumento está na maior distância possível da janela voltada para rua de tráfego intenso de veículos ou do trem. Nas demais aulas, a preferência é também por se manter longe das janelas. As aulas são para agrupamentos de duas ou três pessoas, exceto as de piano, que são individuais. A figura 4.12 ilustra a distribuição dos usuários durante a atividade.

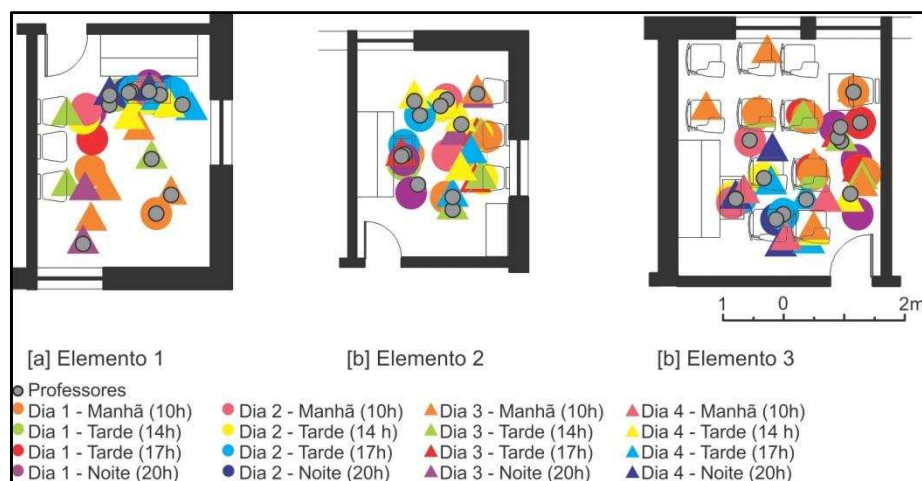


Figura 4.12: Mapa comportamental, Unidade C – Elementos 1, 2 e 3.

No Elemento C2, as posições dos alunos são centralizadas com posicionamento dos professores frontal ou lateralmente aos alunos, em aulas individuais ou em duplas. Eventualmente professores acompanham ao piano, mas o comum é somente a instrução. O elemento C3 apresenta a maior dispersão da unidade, e é onde as aulas são para grupos de alunos variando de 2 a 10. O posicionamento dos professores em relação aos alunos é variável. Um fator comportamental a ser ressaltado nos Elementos C2 e C3 é que a passagem da máquina que traciona o comboio ferroviário sempre provoca interrupção momentânea da aula ou da prática, que é retomada quando somente o ruído dos vagões penetra nas salas.

As portas das salas estão sempre fechadas e as janelas abertas ou parcialmente abertas. Professores somente instruem ou acompanham os alunos ao piano: não tocam junto o mesmo instrumento, exceto em aulas de musicalização infantil.

4.4. Atributos Acústicos

4.4.1. Tempo de Reverberação

O Tempo de Reverberação, associado ao atributo Vivacidade, foi calculado segundo procedimento recomendado nas normas técnicas, e está diretamente relacionado aos materiais de acabamento e ao volume das salas estudadas.

Cada elemento de análise é caracterizado quanto ao TR por um par de figuras: a primeira exhibe o TR ótimo (TRo), estabelecido como parâmetro pela NBR 12179 (ABNT, 1992), a tolerância para conformidade, que é de mais ou menos 10%, o Tempo de Reverberação calculado (TRcalc) para os elementos de análise, segundo a condição de utilização da sala com janelas abertas e com janelas fechadas. A segunda figura mostra qual a contribuição dos componentes da sala na absorção sonora, em percentagem.

Unidade A

No Elemento A1, como mostra a Figura 4.13, somente nas bandas de frequência de 250Hz e 4000Hz, com as janelas abertas, é que o TR apresenta valores conformes com a recomendação normativa. Para a situação de uso comum no inverno, ou seja, janelas fechadas, o TR supera o máximo admissível para a atividade em todas as oitavas, alcançando valores 117% mais elevados que o recomendado para a frequência de 1000Hz.

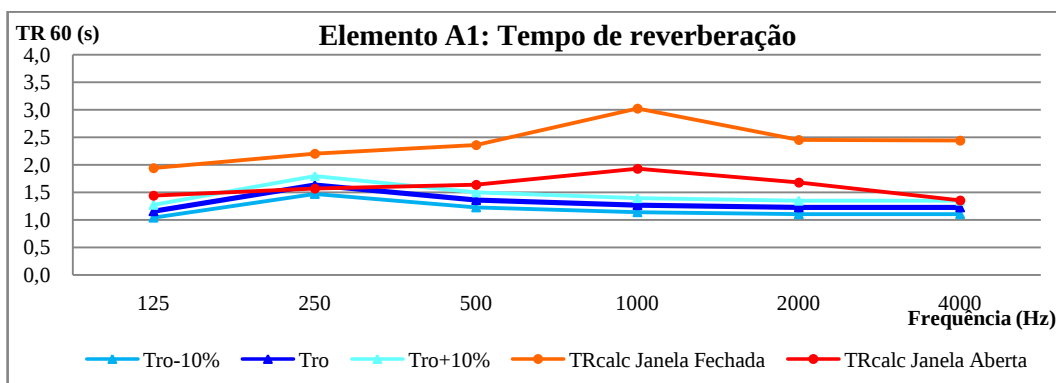


Figura 4.13: Tempo de Reverberação para o Elemento A1.

A absorção sonora do elemento é o fator determinante do TR, e, como se verifica na Figura 4.14, o componente teto possui maior influência na absorção sonora para todas as frequências centrais de banda analisadas. As menores contribuições para a absorção no ambiente são das portas e janelas e também das paredes.

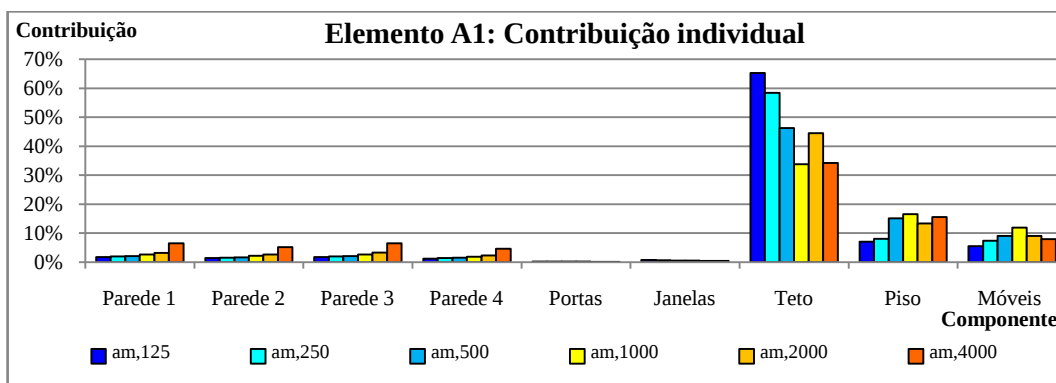


Figura 4.14: Contribuição individual dos componentes do ambiente no TR, em A1.

O Elemento A2 não obteve valores de TR em conformidade com a especificação da norma, independentemente da situação de uso ou da frequência sonora. Apesar da constante vivacidade, a utilização da sala com janelas abertas propicia um ambiente sonoro com Tempos de Reverberação mais próximos aos considerados ótimos que o uso com janelas fechadas.

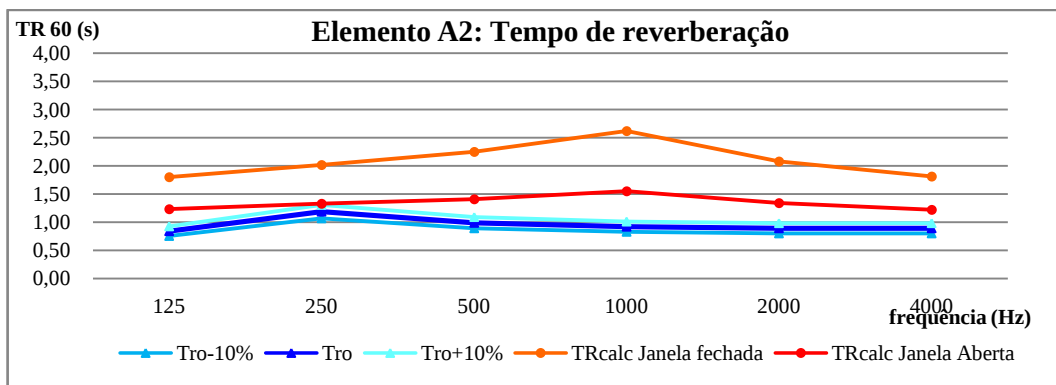


Figura 4.15: Tempo de Reverberação para o Elemento A2.

Nesse ambiente, paredes, piso e mobiliário contribuem para a absorção sonora do ambiente em menos de 10%. O teto é o componente com maior influência, principalmente para absorção de baixas frequências.

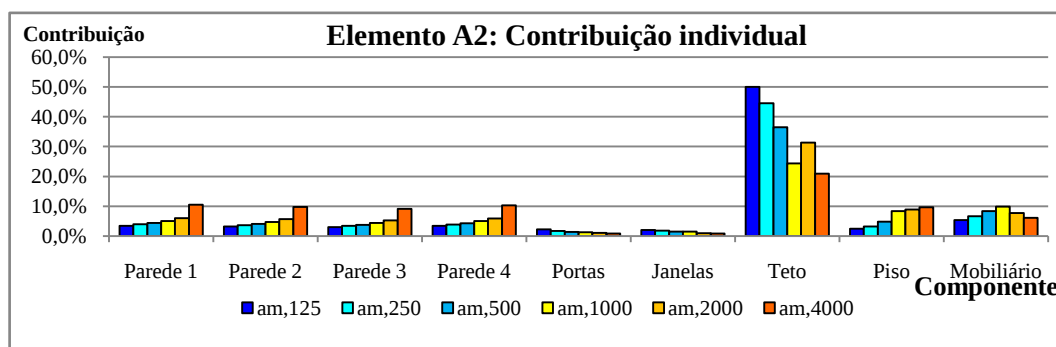


Figura 4.16: Contribuição individual dos componentes construtivos no TR, em A2.

O Elemento B3 é o único elemento de análise com alguma intervenção de cunho acústico e também o único em conformidade com as recomendações normativas para as seis bandas de oitava analisadas, em uma das situações de uso. O ambiente não possui janelas, mas, para a variação da absorção do ambiente, foi instalada uma cortina de tecido com baixa densidade. Como visto no Capítulo 2, esse tipo de tecido possui maior eficácia para a absorção de ondas curtas, ou seja, de sons agudos. A figura 4.17 mostra que a superfície da cortina exposta, na situação de uso com cortina fechada, aumenta a absorção de frequências elevadas, tornando a sala mais seca que o recomendado para sons agudos e com vivacidade de graves além do limite estabelecido pela NBR 12179 (ABNT, 1992). Para a situação na qual a cortina é aberta, mantendo exposta a parede de alvenaria com revestimento em argamassa pintada, os valores de TR são compatíveis com a faixa de tolerância normatizada.

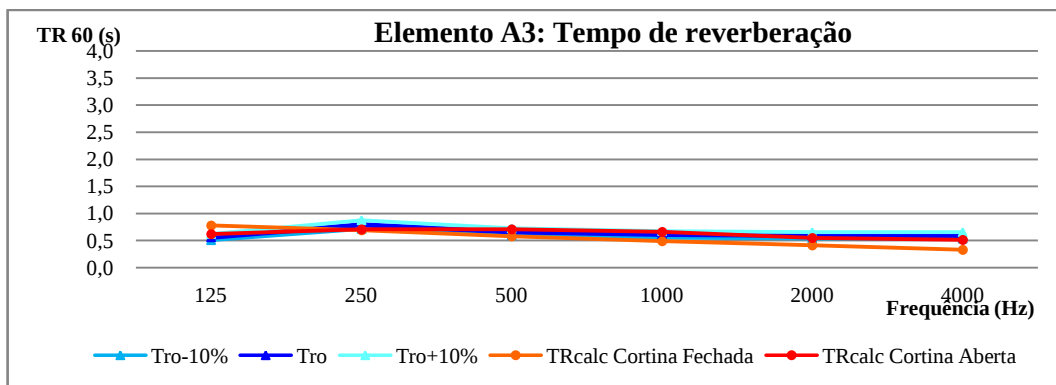


Figura 4.17: Tempo de Reverberação para o Elemento A3.

Como mostra a Figura 4.18, a menor interferência na absorção sonora é da janela que, assim como piso e mobiliário, contribui com não mais que 5% da absorção. Cada componente contribui de forma peculiar para a formação do campo sonoro pela absorção de frequências distintas. Nas centrais de bandas de frequências de 1000Hz a 4000Hz, a Parede 01 é o componente de maior contribuição, seguido pela Parede 04. A Parede 03, Teto e Portas são os componentes que mais absorvem as bandas de 125Hz a 500Hz.

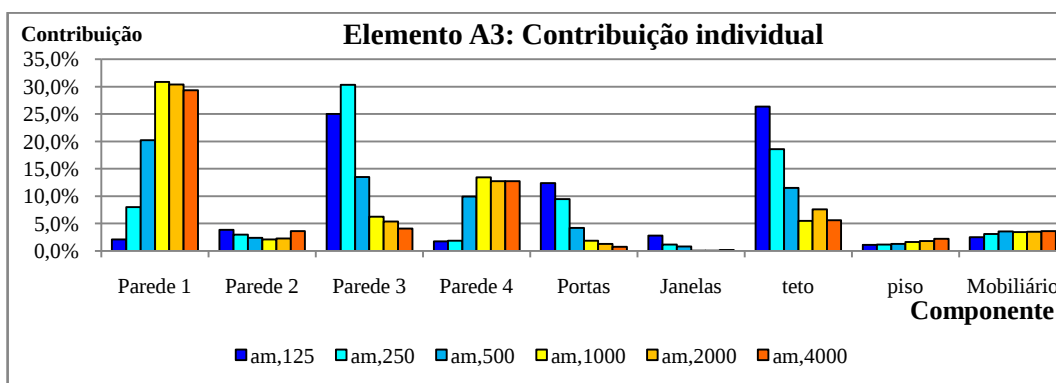


Figura 4.18: Contribuição individual dos componentes construtivos no TR, em A3.

Unidade B

O desempenho acústico quanto à reverberação no Elemento B1, em qualquer situação de uso, não está em conformidade com os parâmetros normativos (Figura 4.19). Se o ambiente é utilizado com a janela aberta, o TR é, em média, 297% mais longo que o limite máximo admissível pela norma para a prática musical. Na situação de uso onde as janelas permanecem fechadas, o TR supera 350% o recomendado, considerando-se a média entre as diferentes frequências sonoras. Em ambos os casos, o espaço reverbera mais os sons graves e médios que os agudos.

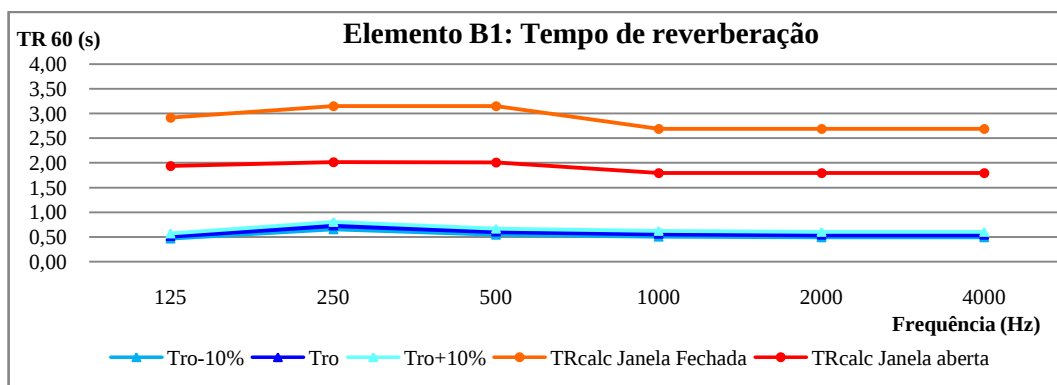


Figura 4.19: Tempo de Reverberação para o Elemento B1.

Retoma-se que neste ambiente há uma abertura sem qualquer tipo de vedação, o que contribui para a redução do tempo de reverberação. Simulando-se o fechamento da abertura com materiais e técnicas construtivas compatíveis com aqueles existentes no espaço, há a formação de um cenário com o ambiente mais vivaz que o existente, como mostra o Quadro 4.4.

Quadro 4.4: Simulação de vedação da abertura vazada no Elemento B1.

Tempo de Reverberação (s)				
Tro+10	TR atual	Abertura vazada vedada com:		
		Madeira	Vidro	Alv.+Revest. Cerâmico
0,57	2,92	3,81	3,88	3,92
0,81	3,15	4,26	4,31	4,36
0,67	3,15	4,29	4,32	4,35
0,62	2,69	3,48	3,50	3,51
0,6	2,69	3,50	3,52	3,52
0,6	2,69	3,49	3,51	3,51

No caso de fechamento da abertura vazada, o acréscimo no Tempo de Reverberação em relação ao TR atual seria da ordem de 143% para vedação com madeira, de 149% para vedação em vidro e de 205% caso a vedação fosse com alvenaria e o revestimento de placas cerâmicas. Como implicação, o TR da sala alcançaria valores em torno de 500% acima do máximo admissível pela norma.

Como todas as superfícies possuem constituição semelhante, a contribuição dos componentes é menos discrepante. A figura 4.20 mostra que as superfícies horizontais contribuem mais que as verticais, com maior absorção dos sons nas bandas de 1000Hz a 4000Hz.

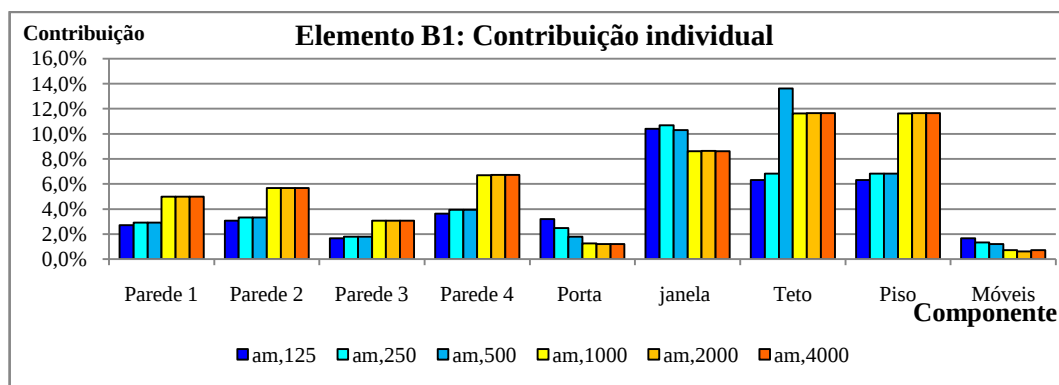


Figura 4.20: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.

O Elemento B2 mostra-se, assim como os Elementos A1 e A2, mais reverberante para as frequências acima de 500Hz, como se observa na Figura 4.21. A frequência menos absorvida pela sala, onde há maior discrepância entre TRcalc e TRo, é a de 1000Hz. Nessa banda, o TRcal ultrapassa em 200% o limite máximo para TR recomendado pela NBR 12179 (ABNT,1992), caso as janelas estejam fechadas, e 105%, caso estejam abertas.

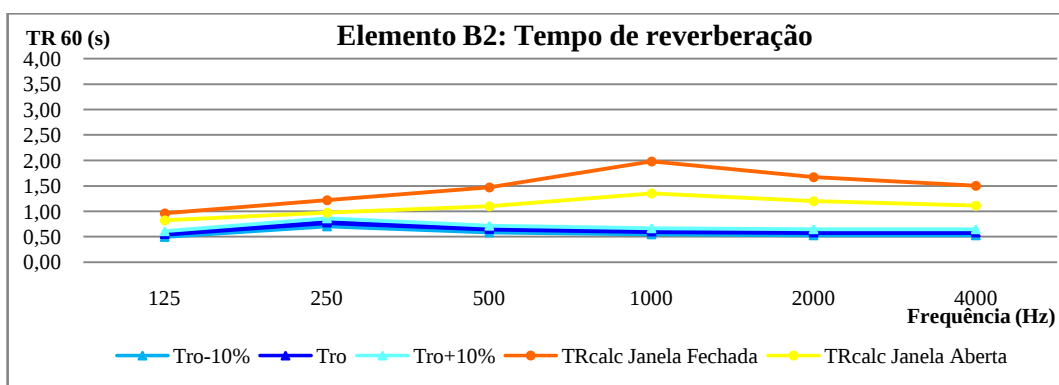


Figura 4.21: Tempo de Reverberação para o Elemento B2.

A Figura 4.22 mostra que o piso influi de 15% a 20% absorção da sala. O teto apresenta-se mais uma vez com maior parcela de contribuição para absorção sonora e as superfícies verticais novamente caracterizam-se como menos influentes.

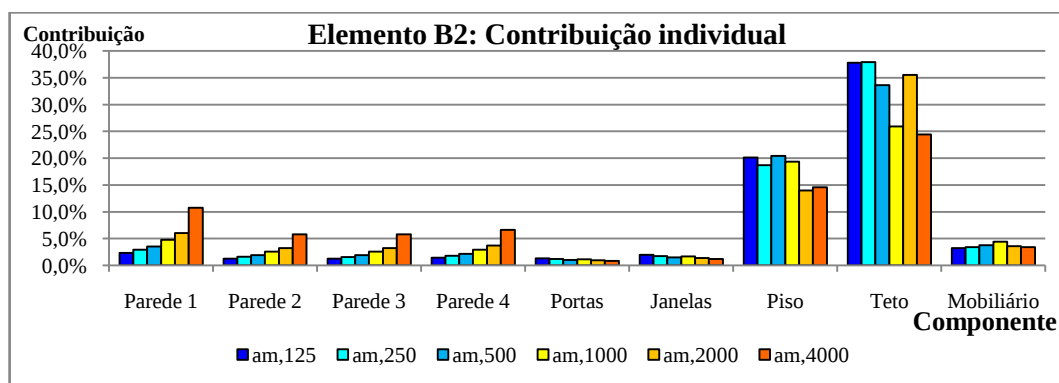


Figura 4.22: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.

Como mostra a Figura 4.23, o Elemento B3 é aquele que satisfaz a condição de desempenho quanto à reverberação na Unidade B. Os TRs estão conformes com a faixa admissível pela norma técnica, na situação de uso com janelas abertas, para as baixas e médias frequências. Para essa mesma faixa frequencial, na situação em que as janelas são fechadas, os valores de TR são em torno de 20% acima do limite máximo. Contudo, para frequências nas bandas de 2000Hz e 4000Hz, a discrepância do TR da sala em relação ao TR instruído normativamente aumenta para 117% acima do recomendado, quando as janelas da sala permanecem abertas, e para 190%, quando as janelas são fechadas.

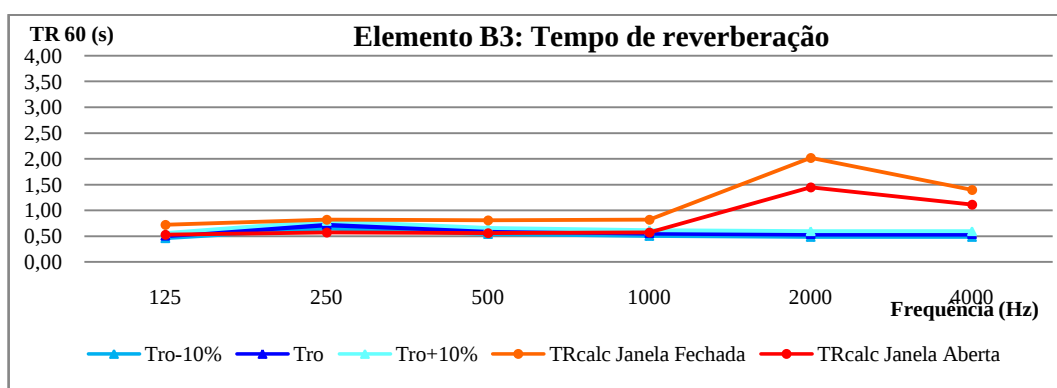


Figura 4.23: Tempo de Reverberação para o Elemento B3.

A contribuição no processo de absorção é mais bem distribuída entre os componentes do Elemento B3 que nos demais elementos dessa Unidade. Paredes e mobiliário contribuem mais efetivamente na absorção que portas, janelas, piso e teto. Há predominância da absorção de ondas nas frequências entre 2000Hz e 4000Hz na maior parte dos componentes, exceto janelas e mobiliário.

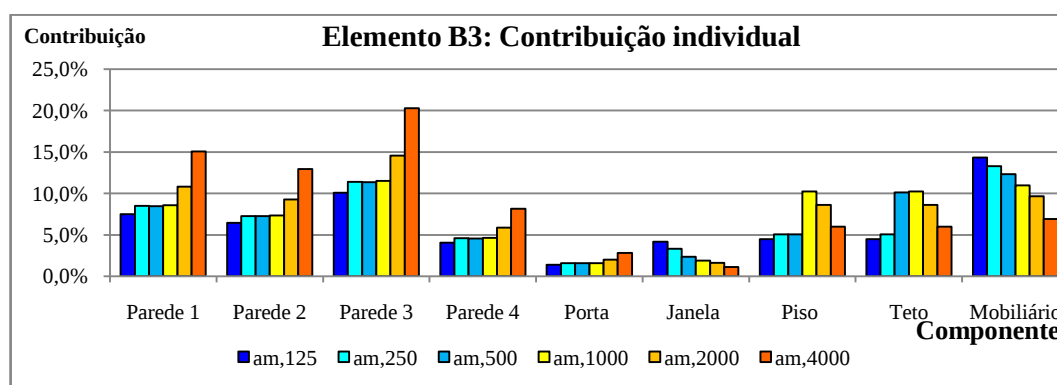


Figura 4.24: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em A1.

Unidade C

A conformação similar dos três elementos dessa unidade refletiu-se no TR dos elementos, uma vez que possuem mesmos sistemas construtivos e revestimentos e suas dimensões são

aproximadas. A curva formada pelo TR calculado nas diferentes frequências foi semelhante tanto em C1 quanto em C2 e C3, como se pode ver nas figuras 4.25, 4.26 e 4.27.

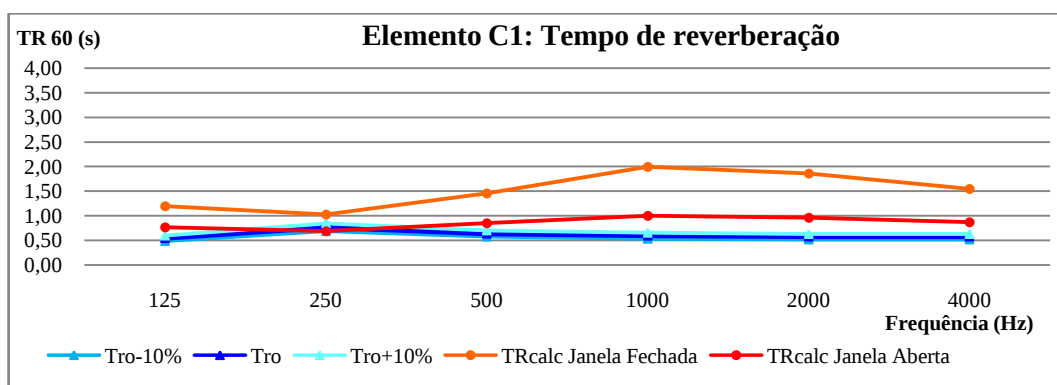


Figura 4.25: Tempo de Reverberação para o Elemento C1.

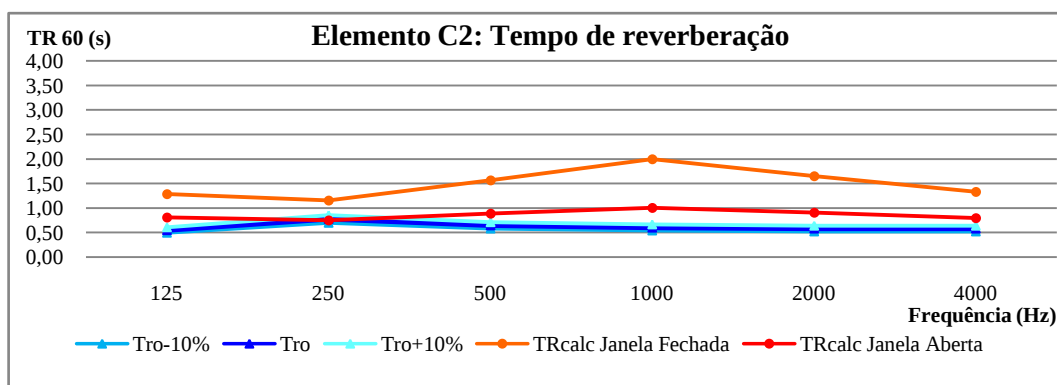


Figura 4.26: Tempo de Reverberação para o Elemento C2.

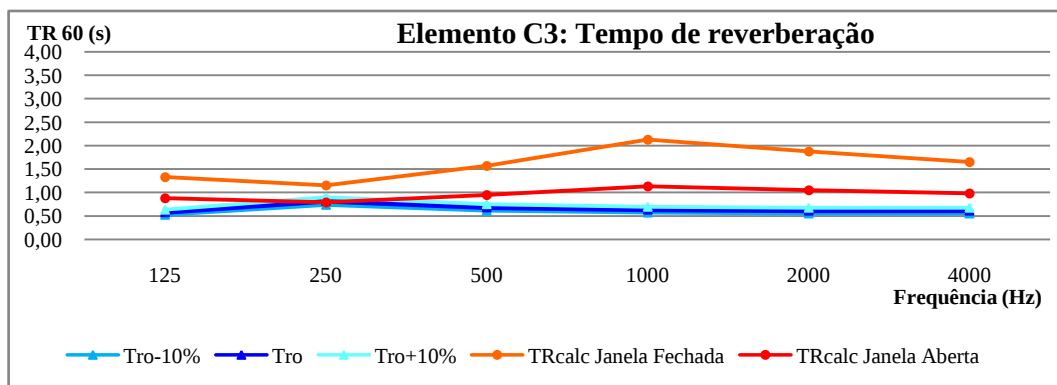


Figura 4.27: Tempo de Reverberação para o Elemento C3.

Nos três casos, somente há conformidade com os parâmetros normativos na frequência sonora de 250Hz, e apenas enquanto as janelas dos ambientes são mantidas abertas. Nessa situação de uso, e nas demais frequências, o Tempo de Reverberação permanece acima do limite máximo recomendado pela norma em 38% no Elemento C1, em 39% no C2 e em 46% no C3. As três salas são mais vivazes para a frequência de 1000Hz, tanto com as janelas abertas quanto com as janelas fechadas.

A condição determinada pelo fechamento das janelas é de ambientes com TRs maiores que aquela com janelas abertas, devido ao aumento da quantidade de superfícies refletoras do som. A desconformidade com os parâmetros normativos é averiguada para as seis frequências avaliadas. Nessa situação de uso, a frequência com maior TR é 1000Hz, apresentando valores 205% acima do máximo recomendado nas três salas, e 250Hz é a com menor TR.

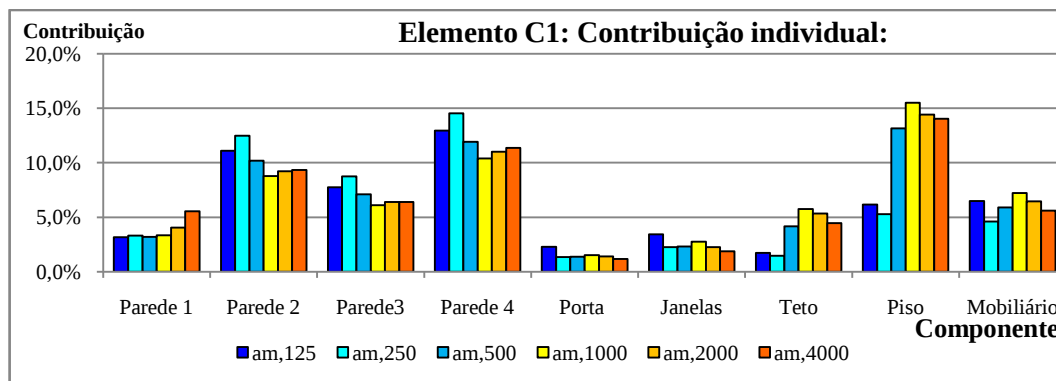


Figura 4.28: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C1.

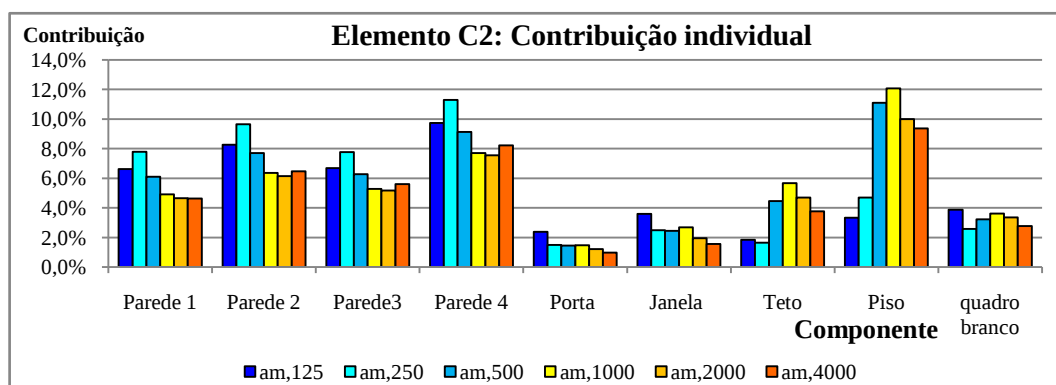


Figura 4.29: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C2.

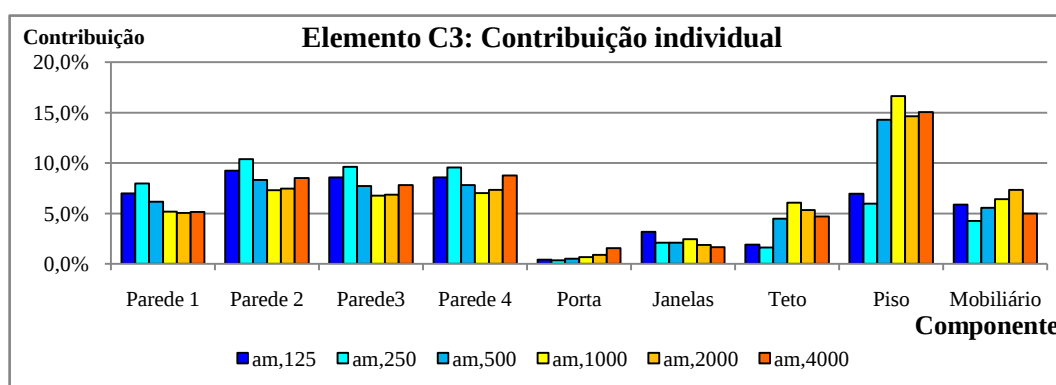


Figura 4.30: Contribuição individual dos elementos construtivos no TR, em C3.

O componente com maior contribuição na absorção das ondas sonora com frequências nas bandas de 500Hz a 4000Hz é o piso. As paredes possuem grande influência na absorção média, especialmente para sons nas faixas de 125Hz a 500Hz.

4.4.2. Tempo de Decaimento Inicial

Como exposto no Capítulo 2, o EDT relaciona-se à conformação sonora do ambiente quanto à intimidade e ao envolvimento: quanto menores os valores para EDT, maior a sensação de intimidade e envolvimento.

Nos elementos de análise estudados, as dimensões físicas são pequenas, o que indica que todos os pontos do espaço estão próximos à emissão sonora. O cálculo do EDT para esses elementos comprovou o que já foi expresso na literatura: perto da fonte, o decaimento inicial é mais abrupto que o decaimento dos últimos decibéis audíveis. As figuras 4.31 a 4.36 expõem os EDT e TR60 calculados para cada banda de oitava.

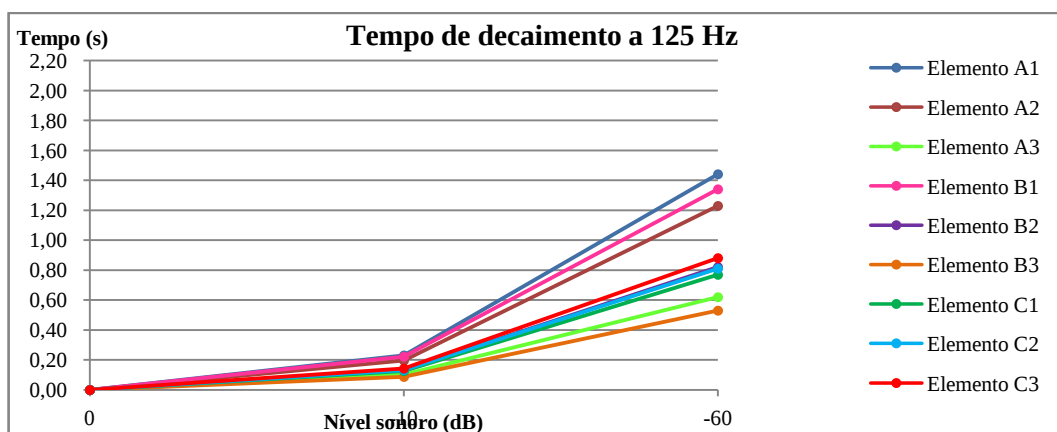


Figura 4.31: EDT a 125Hz para os elementos de análise.

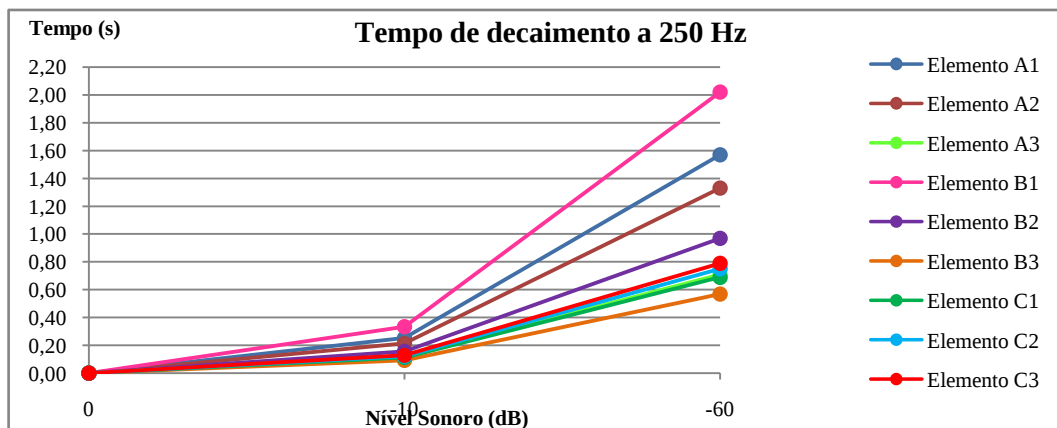


Figura 4.32: EDT a 250Hz para os elementos de análise.

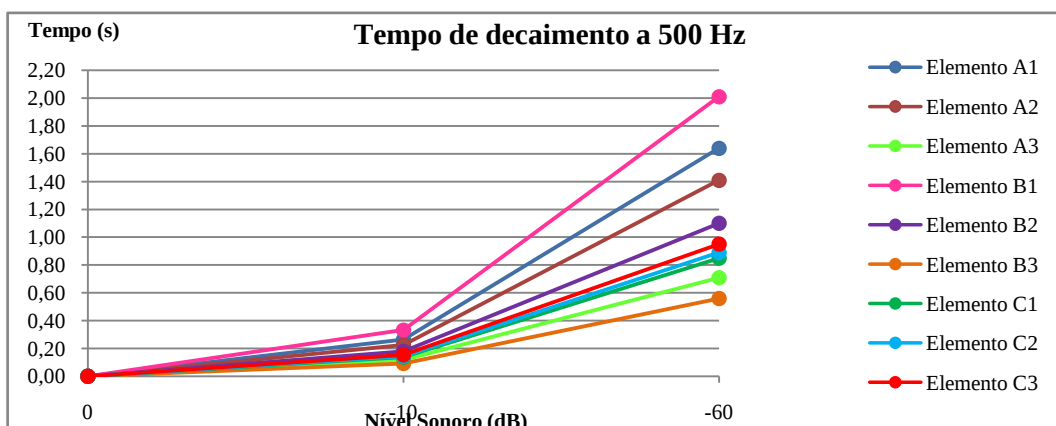


Figura 4.33: EDT a 500Hz para os elementos de análise.

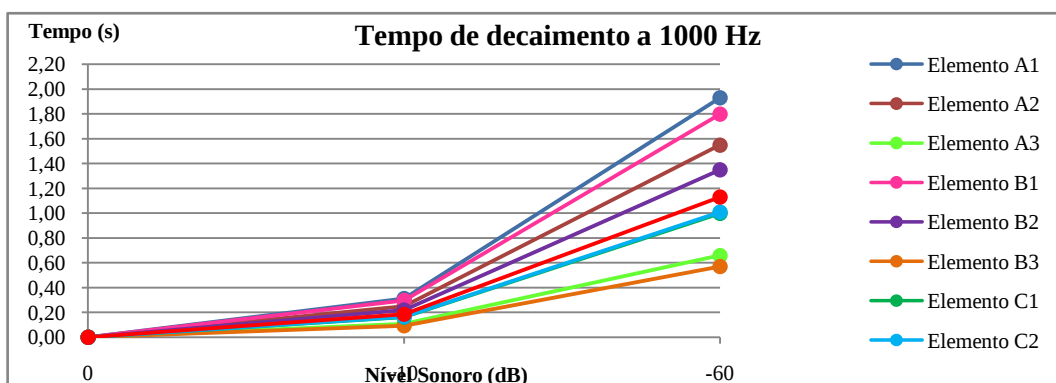


Figura 4.34: EDT a 1000Hz para os elementos de análise.

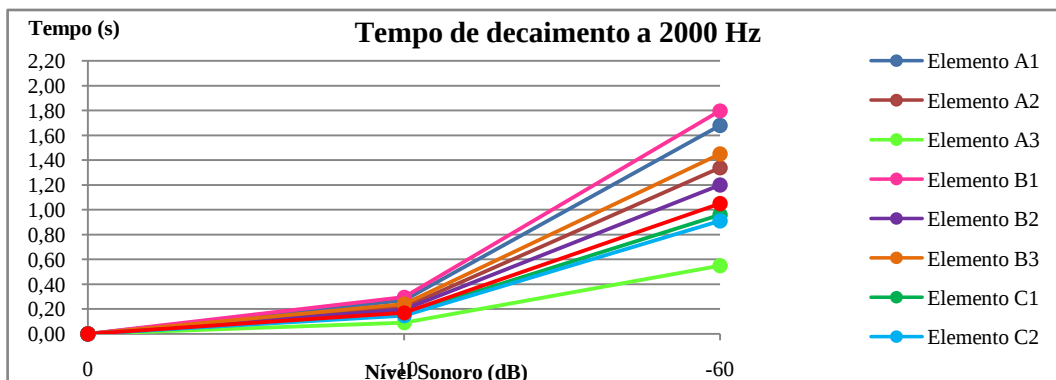


Figura 4.35: EDT a 2000Hz para os elementos de análise.

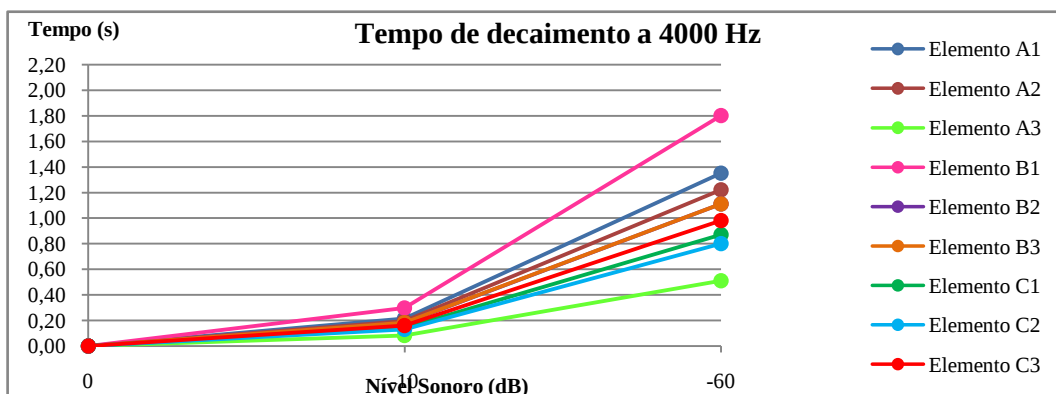


Figura 4.36: EDT a 4000Hz para os elementos de análise.

Nas frequências 125Hz e 250Hz, o elemento B3 é aquele com menores valores de EDT, seguido do A3 e C1²⁴, ou seja, são eles os mais envolventes. Já os elementos com menor envolvimento em baixas frequências são A1 e B1. Esse comportamento se repete para as frequências 500Hz e 1000Hz, destacando-se como envolventes A3 e B3 e como pouco envolventes A1 e B1. Nas frequências 2000Hz e 4000Hz, A1 e B1 continuam como os menos envolventes, contudo os elementos com maior envolvimento passam a ser A3 e C2.

O volume e a absorção das salas, bem como a relação entre as primeiras reflexões de ondas sonoras e as reflexões tardias, estão diretamente associados à capacidade de prover envolvimento. Essa condição traduz o fato de serem menos envolventes os ambientes A1 (que possui o maior volume dentre os nove elementos) e B1 (cujas superfícies são pouco absorventes). Também esclarece o fato de os ambientes B3 e A3 serem predominantemente os mais envolventes, pois apresentam, respectivamente, o menor elemento analisado e a maior absorção média, além da distribuição diferenciada das reflexões sonoras devido à presença de componentes difusores e superfícies inclinadas em ambos os espaços.

4.4.3. Clareza C80

Para as atividades desenvolvidas nas salas de prática de escolas de música, é essencial que o maior número possível de detalhes da execução seja captado tanto pelos alunos quanto pelos professores. Desse modo, permite-se o desenvolvimento contínuo das habilidades musicais.

Assim como os outros atributos acústicos, a clareza é variável conforme a frequência e prioriza-se a maior uniformidade entre Clareza de diversas alturas sonoras para melhor desempenho da atividade-fim. Segundo Skalevik (2010), quanto maiores valores de clareza, maior quantidade de detalhes é captada pelo ouvinte.

A figura 4.37 apresenta os valores encontrados para cada elemento em análise nas frequências selecionadas.

²⁴ Para 250Hz, a diferença de decaimento entre A3 e C1 é de apenas 0,01s.

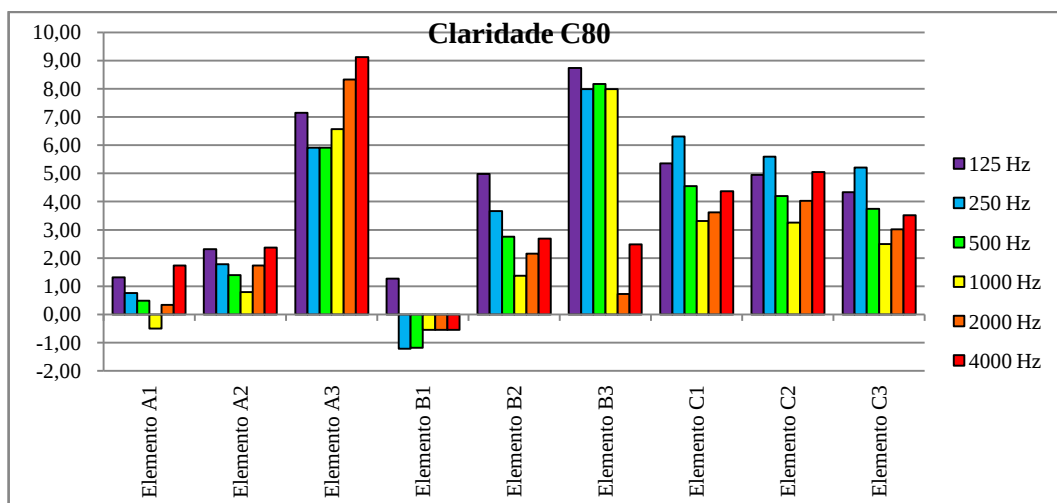


Figura 4.37: Clareza C80 para os elementos de análise, na faixa de frequência.

Nessa figura, verifica-se que o elemento A3 oferece condições de discernimento mais adequadas, pois os níveis de clareza são elevados para todas as frequências, sendo maiores para sons agudos. Esse dado mostra que o tratamento acústico²⁵ adotado surtiu efeito para a melhora da audibilidade, quando comparado com os demais ambientes, mas com deficiência em baixas e médias frequências.

A pior situação é verificada para o Elemento B1, aquele que possui toda a área recoberta por superfícies de baixa absorção acústica, tendo aumentada a quantidade de ondas refletidas. A superposição das ondas refletidas tardiamente é o que compromete a clareza, fator que conduziu ao baixo desempenho acústico do ambiente para todas as frequências. O segundo elemento com pior condição de Clareza é o A1.

A diferença no discernimento entre frequências distintas é característica de todos os elementos de análise. O elemento B3 tem desempenho evidenciado pela boa resposta a sons graves, em detrimento dos agudos, condição que se repete nos demais elementos da Unidade B e nos Elementos da Unidade C. Na Unidade A, o que prevalece é a Clareza de sons agudos.

Na Unidade C houve maior uniformidade entre o desempenho dos três elementos, que oferecem médios níveis de clareza, comparativamente aos demais elementos analisados.

4.4.4. Razão de Graves e Razão de Agudos

A Razão de Graves e a Razão de Agudos relacionam a presença dos sons de diferentes frequências nos elementos de análise, associando a percepção de Calor e Brilho sonoro. Esses atributos podem ser delineados por meio de projetos acústico-arquitetônicos que permitam

²⁵ Retomando que este é o único ambiente com algum tipo de intervenção com fins de desempenho acústico.

valorizar o tipo de instrumento ou o estilo musical a ser tocado nos ambientes. Alguns instrumentos, como trombone e saxofone tenor, possuem timbres mais graves e ambientes com Calor valorizam as execuções e favorecem a audição crítica dos instrumentistas. A mesma observação é válida para o Brilho em salas para instrumentos com timbres com predominância de agudos, como flauta e trompete. Já aqueles espaços que abrigam práticas de instrumentos com grandes extensões frequenciais, como piano, ou que são utilizados por diferentes tipos de instrumentos, devem prezar pelo equilíbrio entre calor e brilho, permitindo a apreciação adequada em todas as atividades. A Figura 4.38 mostra os valores obtidos para esses atributos nos nove elementos analisados.

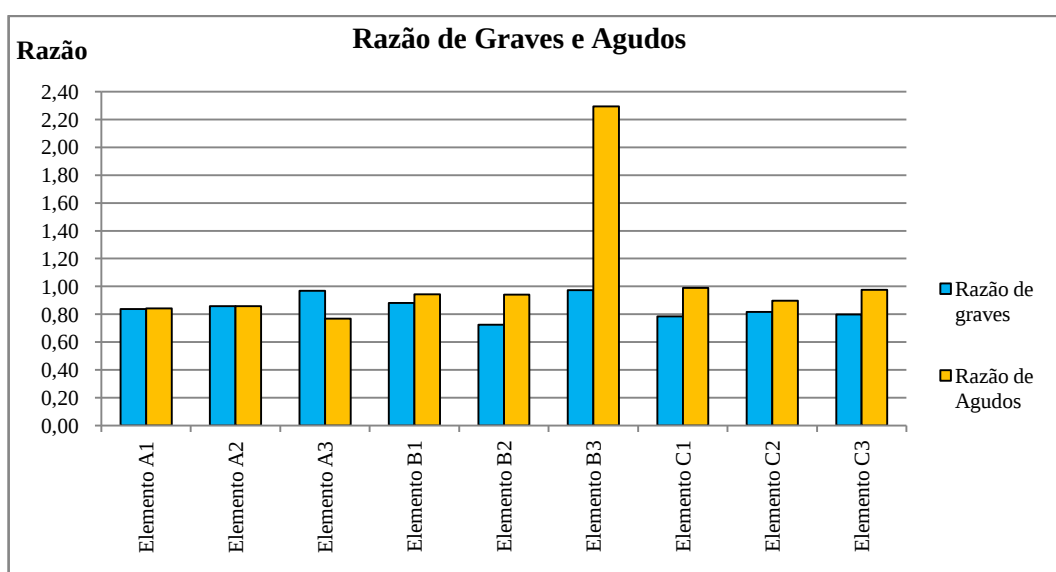


Figura 4.38: Razão de Graves e Razão de Agudos para os elementos de análise.

Os elementos A1 e A2 apresentaram equilíbrio entre os dois atributos. O elemento A3 mantém presentes no ambiente mais os sons graves que os agudos, indicando que as superfícies são melhores absorventes às altas frequências. Nesse espaço, os instrumentos de timbres mais altos tendem a ter a audibilidade defasada em favor dos graves, quando há prática de conjunto com grupos de diferentes instrumentos.

Nos demais elementos, a presença de agudos foi maior que a de graves, mostrando que os obstáculos e as superfícies são mais absorventes dos comprimentos de onda curtos. Destaca-se o caso do elemento B3, onde a presença de agudos supera em 136% a de graves, caracterizando o ambiente como excessivamente brilhante.

4.5. Níveis de Pressão Sonora (NPS)

A intensidade sonora num ambiente de prática musical necessita ser analisada conforme dois aspectos: os níveis sonoros em atividade, configurando a exposição sonora a que estão

sujeitos seus usuários, e os níveis de som residual, que implica a presença de interferências sonoras distintas da que deve ser dominante no ambiente.

Para averiguar o desempenho das salas nesse aspecto, foram realizadas medições em conformidade com as recomendações da NBR 10152 (ABNT, 1987).

4.5.1. Nível Sonoro em atividade

Os ambientes de prática musical são também ambientes de trabalho e, como tal, devem ser salubres e garantir a integridade de seus usuários. Considerando que os professores trabalham 8 horas diárias, utilizou-se para avaliação o valor parâmetro estabelecido para esse tempo de exposição pela NR15 (BRASIL, 2011).

Para análise das medições de nível de pressão sonora, devido à rotatividade das aulas e dos professores nas três unidades de análise, optou-se por proceder a agrupamentos dos dados, segundo as características e/ou especificidades das atividades realizadas nos ambientes em cada medição. Cada professor ministra aulas de um instrumento específico: assim o NPS varia conforme o instrumento tocado e o NPS médio que melhor representa a exposição é aquele obtido pelo agrupamento dos dados por instrumentos. Portanto, calculou-se a média por instrumento ensaiado ou ensinado no elemento de análise. Como o recorte da pesquisa englobou os instrumentos de sopro, apresentam-se e discutem-se a seguir os resultados obtidos para essa classe instrumental.

A Figura 4.39 mostra os resultados para a prática musical com saxofone. Em todas as salas onde houve essa atividade, os níveis ficaram acima do admissível para uma jornada de 8 horas diárias. A unidade C foi aquela em cujos ambientes os níveis sonoros foram os mais elevados, chegando a ultrapassar em 20dB o limite admitido, ou seja, 23% além do recomendado.

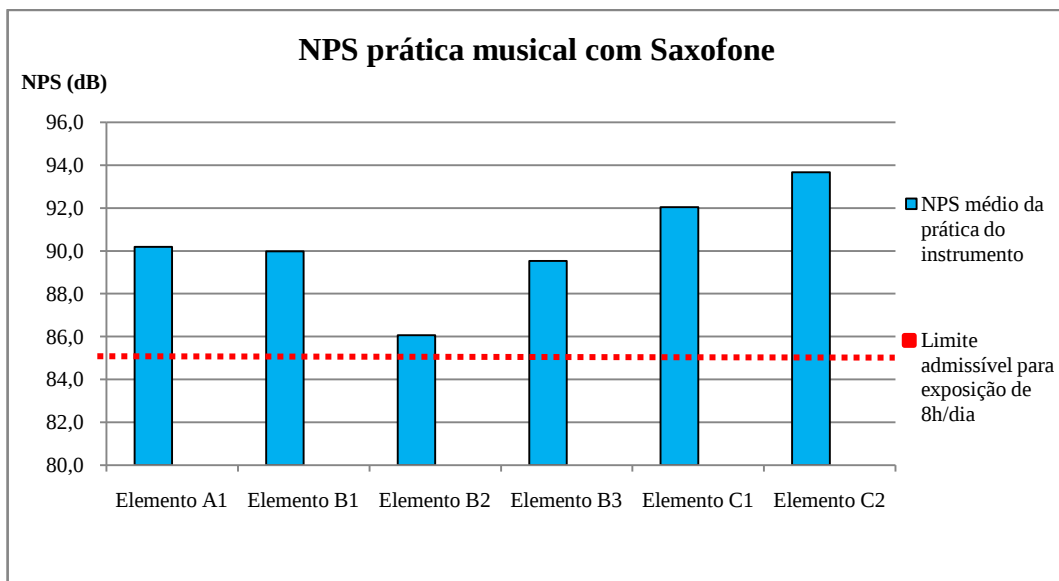


Figura 4.39: Nível Sonoro para prática de Saxofone.

Na prática musical com Clarineta, conforme se observa na Figura 4.40, se os ambientes fossem usados na condição contínua de exposição diária, então em três dos cinco elementos onde houve atividades com esse instrumento os NPS teriam sido além do estabelecido na NR15. Elementos com níveis não conformes localizam-se em distintas unidades de análise.

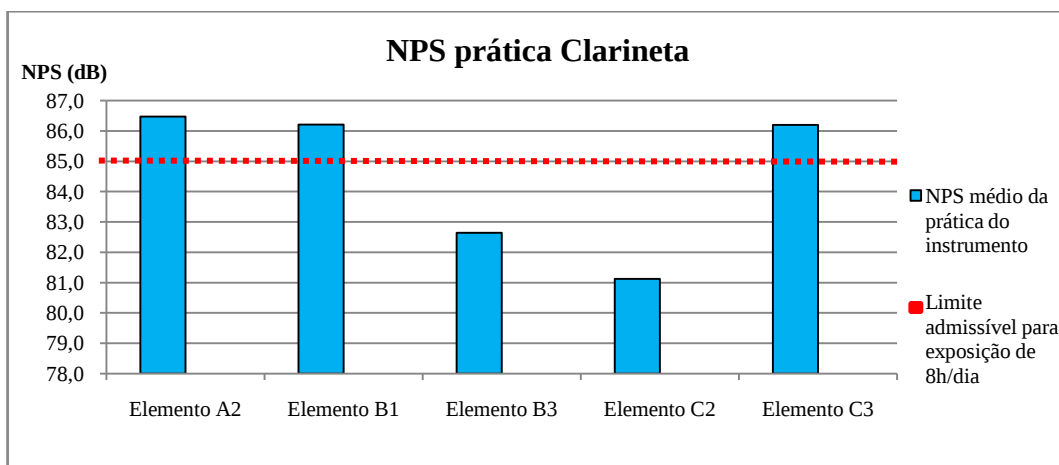


Figura 4.40: Nível Sonoro para prática de Clarineta.

Os níveis sonoros a que estão sujeitos os professores de flauta só superaram o limiar superior normalizado no elemento B3, como apresenta o Figura 4.41.

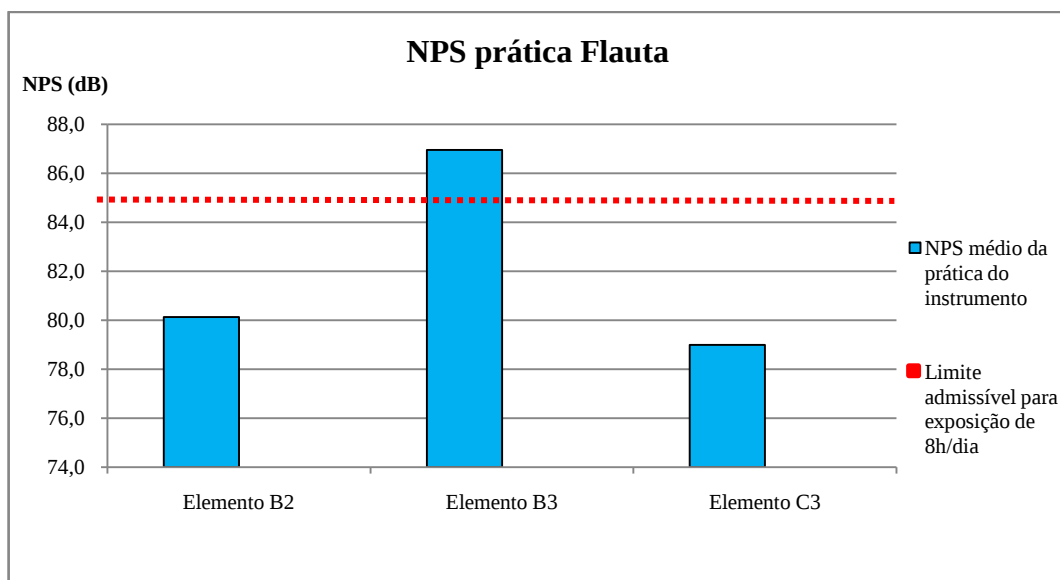


Figura 4.41: Nível Sonoro para prática de Flauta.

Trompete e trombone são instrumentos com menor procura pelos alunos, mas ainda assim presentes nas práticas de duas unidades analisadas. A Figura 4.42 mostra os níveis sonoros dessas duas práticas musicais.

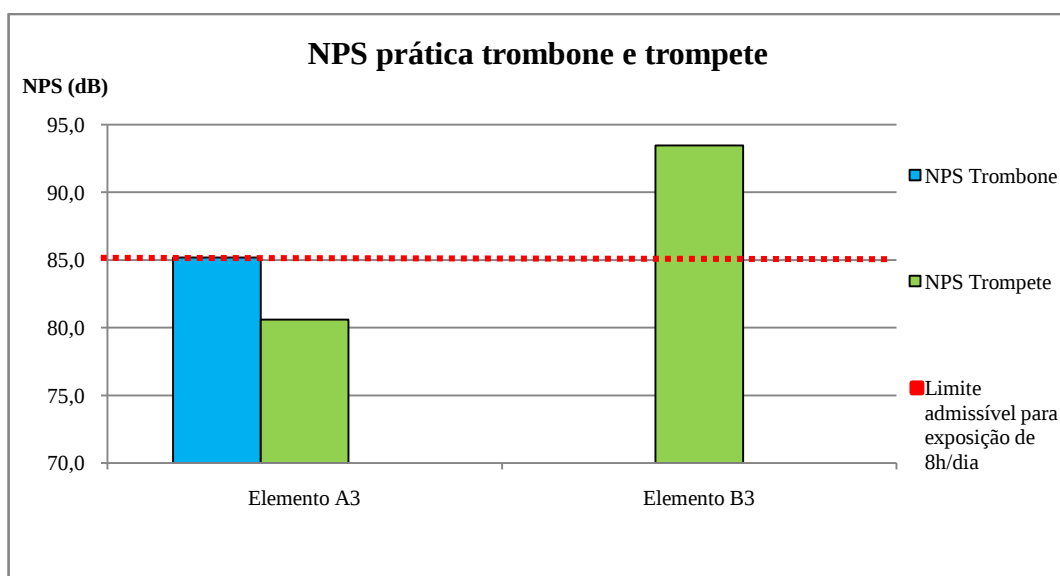


Figura 4.42: Nível Sonoro para prática de Trombone e Trompete.

Os níveis ficaram abaixo do admissível no Elemento A3, que possui tratamento absorvente nas superfícies. No B3, o NPS médio superou em 17dB a recomendação normativa para as condições de uso recomendadas para 8h/dia de exposição.

Após análise estatística, verificou-se que, mesmo em unidades e elementos de análise distintos, os níveis sonoros mantêm-se sob uma curva de normalidade, o que permite o tratamento dos dados para determinação de um valor único representativo por instrumento.

Assim, foram realizados os cálculos segundo o tipo de prática musical nos elementos de análise, cujos resultados são mostrados na Figura 4.43.

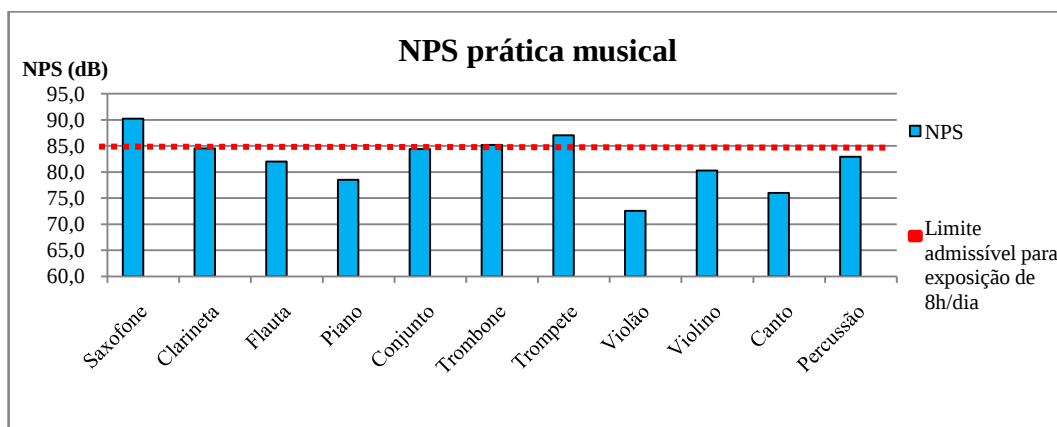


Figura 4.43: Nível Sonoro para prática musical.

Esses dados mostram que os indivíduos ligados à prática de instrumentos de sopro estão mais sujeitos a condições sonoras desfavoráveis à audição que os de instrumentos de corda, considerando-se que três das onze ocorrências de NPS dos instrumentos de sopro encontram-se acima de 85dB, enquanto que as dos demais instrumentos é da ordem de 76,8dB. Instrumentos de percussão também possuem prática caracterizada por NPS elevado, e demandam tratamento adequado dos ambientes onde são praticados no sentido de preservar a saúde auditiva dos instrumentistas e professores.

É necessário observar que o som gerado pela prática musical é, ao mesmo tempo, o objeto de estudo em um ambiente e uma possibilidade de interferência negativa em outro, caso não haja o adequado isolamento dos espaços.

4.5.2. Som Residual

As medições de nível sonoro também foram realizadas sem atividade na sala para que se determinasse o som residual proveniente tanto de salas próximas como de fora da escola. A Figura 4.44 apresenta os resultados obtidos por elemento de análise.

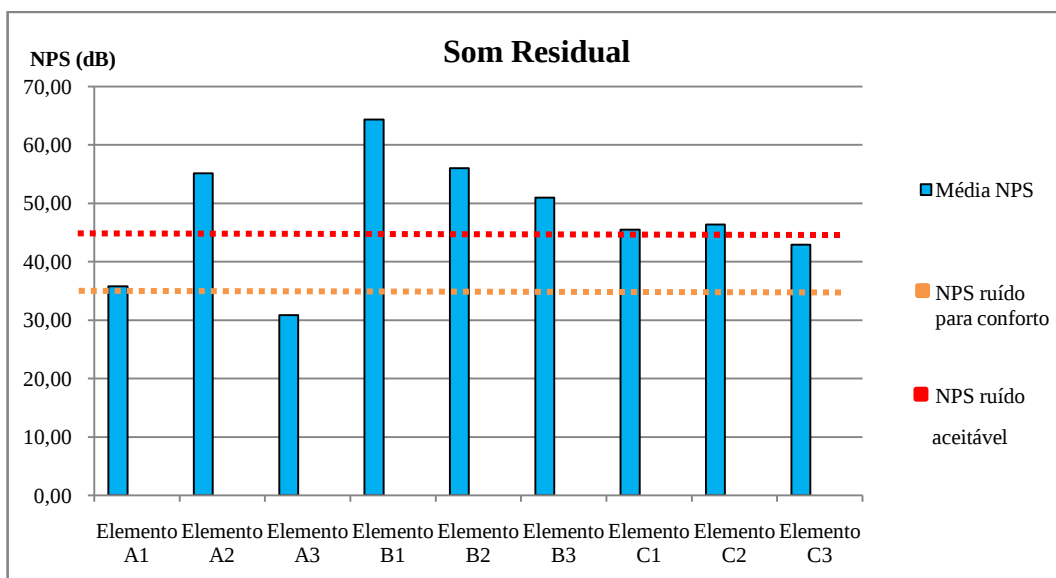


Figura 4.44: Nível de Som Residual para os elementos de análise em diferentes situações e horários.

A Unidade A apresenta os menores valores para NPS do som residual, principalmente nos elementos A1 e A3, sendo o último com os menores níveis dentre os elementos estudados e o único que atende ao nível para conforto auditivo recomendado pela norma técnica. No Elemento A1, constatou-se valor superando o limite de conforto, mas em conformidade com a norma quanto ao nível aceitável. Nessa unidade, a exceção foi o Elemento A2, com NPS médio de 55dB, devido a práticas musicais com instrumentos de percussão nas proximidades e também à conversação na recepção/estar.

A situação mais prejudicial à prática musical, devido a sons residuais, foi encontrada na Unidade B, onde os NPS permaneceram acima de 50dB, ou seja, em não conformidade com a norma, inclusive quanto ao nível aceitável. O elemento com maiores interferências de sons externos é o B1, devido à abertura sem vedações. O som residual nesse elemento é composto pela conversação no pátio da escola e de pessoas em trânsito nas proximidades da sala. Em seguida, o B2 mostra-se com maior NPS para sons de fora da sala, composto pela prática musical na sala adjacente e pela atividade recreativa na escola infantil vizinha à Unidade. Os níveis elevados no Elemento 3 devem-se também à conversa de transeuntes nas proximidades e à prática musical em outras salas próximas, cujo nível sonoro é amplificado pelo acúmulo de reflexões no corredor de ligação entre as salas.

Na unidade 3, os níveis de ruído foram não-conformes com a norma, com valores acima do aceitável em dois elementos: C1 e C2. No Elemento C3, os níveis de ruído ficaram acima do nível de conforto, mas conformes quanto ao nível aceitável. Os níveis elevados devem-se tanto ao ruído de tráfego de veículos quanto ao proveniente de prática musical nas salas

adjacentes. Entretanto, há uma particularidade quanto ao ruído nessa unidade, caracterizado por ruído eventual, e que foi excluída dos dados analisados para sons residuais: a passagem de composições férreas no entorno imediato da escola eleva os níveis sonoros provenientes de fora das salas para uma média de 76dB durante a passagem dos vagões e 105dB durante a passagem da máquina de tração do comboio, o que significa, respectivamente, 30dB e 60dB acima do limite aceitável, sendo no último episódio mais que o dobro do valor de referência. A passagem da máquina é rápida, mas o restante da composição, conforme a velocidade e o número de carros, podem variar de 2 a 10 minutos. Durante esse tempo, as aulas são prejudicadas, e normalmente interrompidas, pois nenhum dos instrumentos emite um som de intensidade que supere a da passagem da máquina, e o mascaramento produzido pela passagem do comboio impossibilita o discernimento necessário para a prática.

4.6. Perda por Transmissão Sonora (PTS)

As análises de perda por transmissão sonora mostram quais são as fragilidades dos ambientes à transmissão do ruído oriundo de fontes externas para dentro das salas de prática, assim como à manutenção do som da prática musical somente dentro do ambiente.

Para que fossem realizadas as análises, os planos envolventes dos elementos foram organizados de modo a se estabelecer a sistematização dos resultados. Os dados de composição dos fechamentos foram considerados para as avaliações de desempenho acústico, tanto para as vedações compostas quanto para as simples, de modo que um único valor de perda sonora na partição pudesse ser estabelecido para cada um. Os planos horizontais mantiveram a nomenclatura de seu componente: teto e piso. Os planos verticais foram numerados como indica a figura 4.45.

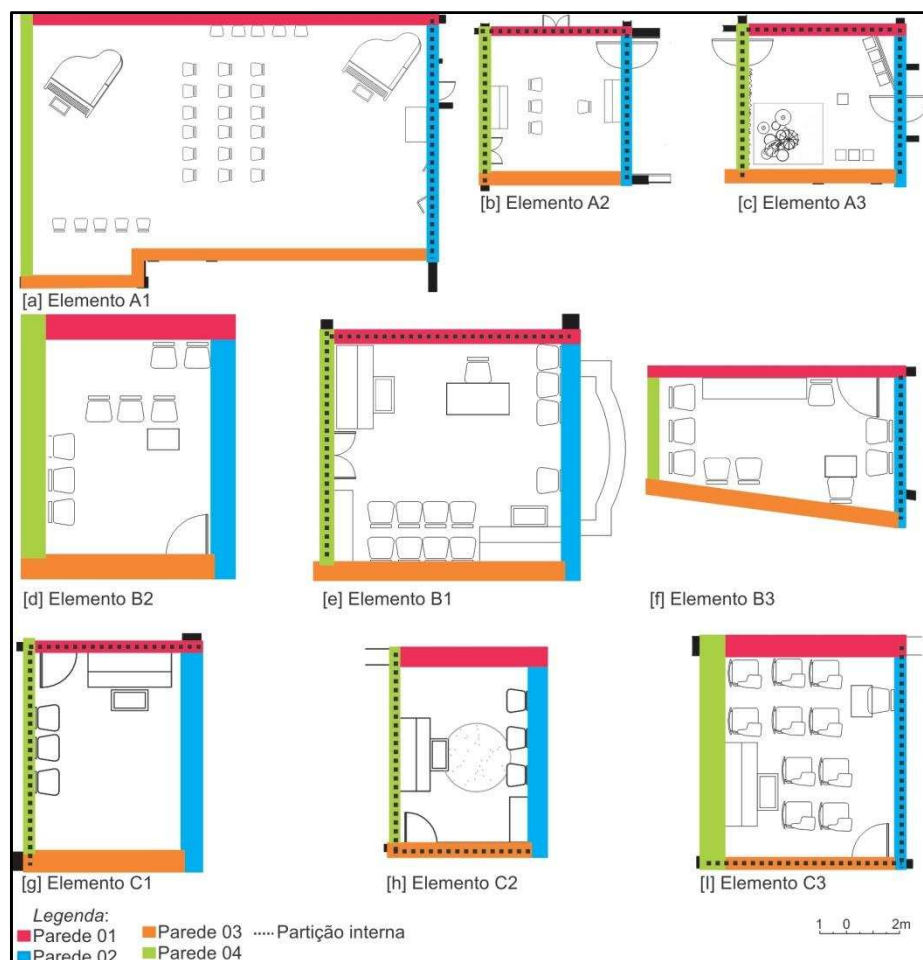


Figura 4.45: Organização das vedações verticais para análise de PTS.

A perda de transmissão sonora (PTS) em painéis é diretamente proporcional à massa e à frequência, ou seja, quanto maior a massa e mais agudos os sons maior a blindagem oferecida à sua passagem. Assim, a PTS num mesmo painel nas frequências analisadas será sempre menor para 125Hz e maior para 4000Hz. O quadro 4.5 mostra os resultados de perda de transmissão sonora por elemento de análise, sendo que os cálculos de perda sonora consideraram todas as janelas e portas fechadas. O componente piso somente foi incluído para casos de pavimentos suspensos.

Quadro 4.5: Perda por transmissão sonora nas unidades de análise

PERDA POR TRANSMISSÃO SONORA																						
Unidade A	Ambientes		PTS 125Hz (dB)	PTS 4000Hz (dB)	Unidade B	Ambientes		PTS 125Hz (dB)	PTS 4000Hz (dB)	Unidade C	Ambientes		PTS 125Hz (dB)	PTS 4000Hz (dB)								
	Elemento A1	parede 1	23,2	43,6		Elemento B1	parede 1	44,0	70,0		Elemento C1	parede 1	20,2	32,3								
		parede 2	18,3	35,5			Elemento B1	parede 2	33,4			59,8	Elemento C1	parede 2	29,9	50,0						
		parede 3	21,7	42,0				Elemento B1	parede 3			31,1		51,2	Elemento C1	parede 3	30,0	50,1				
		parede 4	28,1	49,1					Elemento B1			parede 4		43,0		70,0	Elemento C1	parede 4	35,0	56,5		
		teto	6,0	14,0								Elemento B1		teto		36,0		62,0	Elemento C1	teto	36,0	62,0
		piso												Elemento B1		piso					Elemento C1	piso
	Elemento A2	parede 1	35,4	60,9		Elemento B2					parede 1					36,0		57,0		Elemento C2		parede 1
		parede 2	40,6	68,5			Elemento B2				parede 2		26,5			46,6		Elemento C2				parede 2
		parede 3	47,0	83,0				Elemento B2			parede 3		29,4		49,5	Elemento C2						parede 3
		parede 4	38,2	65,7					Elemento B2		parede 4		22,2		39,2		Elemento C2					parede 4
		teto	6,0	14,0							Elemento B2	teto	25,0		48,0				Elemento C2			teto
		piso										Elemento B2	piso	25,0	48,0						Elemento C2	piso
	Elemento A3	parede 1	21,1	38,2		Elemento B3							parede 1	20,2	32,3					Elemento C3		parede 1
		parede 2	37,7	65,2			Elemento B3						parede 2	29,9	50,0			Elemento C3				parede 2
		parede 3	26,0	46,2				Elemento B3					parede 3	30,0	50,1	Elemento C3						parede 3
		parede 4	21,3	38,4					Elemento B3				parede 4	35,0	56,5		Elemento C3					parede 4
		teto	6,0	14,0							Elemento B3		teto	37,0	62,0				Elemento C3			teto
		piso										Elemento B3	piso								Elemento C3	piso

Nota: Dados embasados nos estudos de Bistafa (2006).

Na unidade A, o componente Teto, de madeira, possui baixa interferência no isolamento sonoro. No Elemento A1, a parede que subdivide os ambientes tem altura até o engradamento da cobertura. Contudo, nos elementos A2 e A3, o teto é um componente acusticamente com baixo desempenho à propagação do som produzido nas duas salas, já que há um átrio não vedado pela parede e o forro é o principal obstáculo para a propagação sonora.

O melhor desempenho das vedações verticais, quanto ao isolamento acústico, é do Elemento A3, com destaque para a vedação que o limita da área externa (Parede 03). Nos Elementos A1 e A2, as vedações possuem capacidade de isolamento semelhantes, entre 18dB e 40dB para baixas frequências e entre 35dB e 70dB para as elevadas, com exceção à Parede 02 do Elemento A2, que também delimita o elemento A3 e possui melhor isolamento devido ao tratamento adequado da abertura.

Na Unidade B, o desempenho das vedações foi melhor no Elemento B1, onde a espessura dos painéis é maior e duas das paredes não possuem aberturas. A abertura sem possibilidade de fechamento na Parede 02 causou decaimento de cerca de 10dB no desempenho desse plano. O elemento B2 foi o segundo com melhor isolamento do som, e o menor isolamento dos painéis verticais é na Parede 04, o que mais necessita de isolamento devido à prática musical no hall do pavimento. O teto, assim como na Unidade A, também é de madeira, mas usa madeira maciça em vez de lambris, e a maior espessura das peças permitiram que o componente, no caso do Elemento B2, fosse melhor.

Na Unidade C, o desempenho ao isolamento foi similar nos três ambientes estudados, os quais possuem também conformação semelhante. Apesar da espessura maior dos fechamentos pertencentes ao envelope da edificação, o melhor desempenho foi verificado nas divisórias internas e sem aberturas. As partições que menos isolam são aquelas internas com portas. Portanto, as aberturas de janelas e portas nessa unidade são as principais fragilidades no isolamento sonoro.

As paredes que são divisórias de ambientes internos, marcadas com a linha tracejada na figura 4.45, precisam ser eficientes contra o ruído de outras práticas musicais e para manter o som da prática dentro do próprio ambiente, proporcionando aos ambientes níveis de som residual em conformidade com a norma. As fontes internas às escolas caracterizam-se por serem de conversa entre grupos e da prática musical em salas próximas. A literatura referencia os níveis sonoros para a conversação entre 60dB e 75dB. Já a atividade musical, conforme dados apresentados na seção 4.5.1, tem média de 85,2dB, mas excepcionalmente atingiu 95dB nos casos dos instrumentos saxofone e trompete. O nível de som residual para conforto na tipologia analisada deve ser de 35dB, sendo aceitos valores até 45dB, ou pode-se aplicar o apresentado pelo Quadro 2.2, se forem conhecidas as frequências componentes do ruído.

Para verificação da perda por transmissão sonora nos elementos, duas análises foram realizadas: a capacidade de o ambiente conter o NPS da prática musical com maior intensidade, ou seja, 95dB, e de o nível sonoro médio da prática de instrumentos de sopro, de 86dB, a ponto de prover conformidade com os níveis de ruído recomendados normativamente. O quadro 4.6 mostra qual é a perda sonora requerida para as partições internas considerando as situações acima expostas, onde a perda sonora mínima equivale a adequar a sala ao nível sonoro máximo aceitável para som residual e a perda sonora ideal ser aquela que promove a adequação quanto ao NPS de ruído para conforto dos usuários, conforme as normas técnicas.

Quadro 4.6: Perda sonora necessária nas partições, conforme frequência.

Frequência (Hz)	Som residual [dB]		PTS necessária [dB] ¹		PTS necessária [dB] ²	
	Conforto	Aceitável	Conforto	Aceitável	Conforto	Aceitável
125	48	57	47	38	38	29
250	41	50	54	45	45	36
500	36	45	59	50	50	41
1000	31	41	64	54	55	45
2000	29	39	66	56	57	47
4000	28	38	67	57	58	48

Notas: ¹Considerando-se uma fonte sonora de 95dB

²Considerando-se a média dos instrumentos de sopro de 86dB, obtida em levantamentos

A figura 4.46 apresenta os resultados de PTS das partições internas em comparação com o PTS necessário. A perda mínima para adequação a 95dB é coincidente com a perda ideal para 86dB.

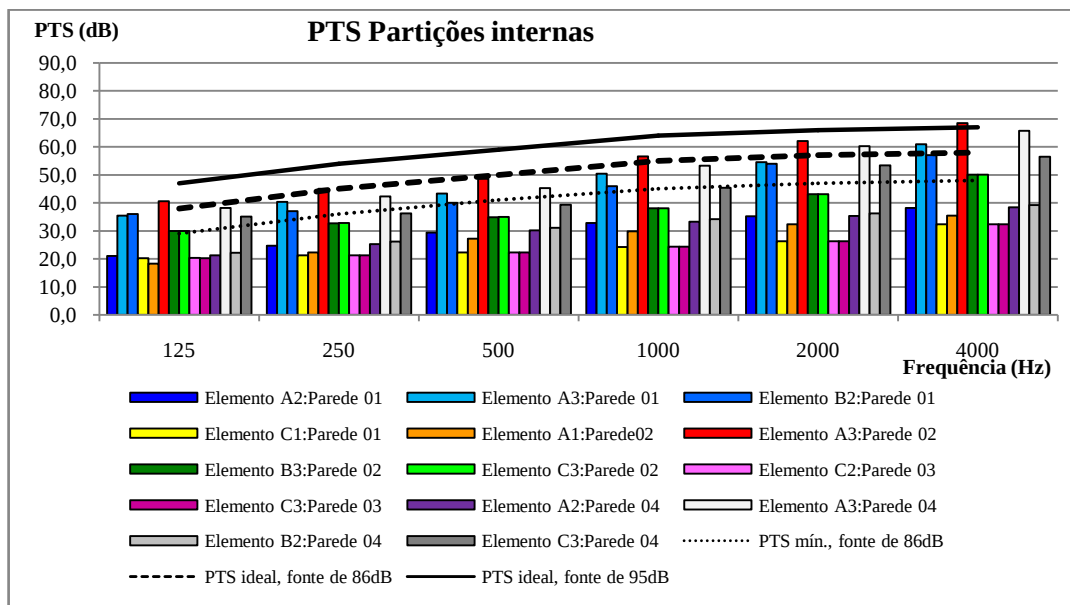


Figura 4.46: PTS em partições internas nas paredes classificadas como 01 e 02.

As partições internas da Unidade C são as que mais necessitam de atenção, por deficiências no isolamento, assim como as paredes que dividem as salas de aula da secretaria na Unidade A (Parede 02 do Elemento A1 e Parede 04 do Elemento A2). As vedações internas do Elemento A3 são aquelas que melhor isolam os ambientes.

Pela leitura da figura, constata-se que nenhuma partição interna dentre as três unidades estudadas possui capacidade de prover conforto ao usuário no caso do maior nível sonoro averiguado. Somente a Parede 02 do Elemento A3 possui perda sonora compatível com a situação de som residual dentro do limite de conforto dos usuários, mas apenas para frequências acima de 4000Hz. A análise para a perda sonora mínima das partições para a fonte de 95dB, mostra que somente as Paredes 02 e 04 do Elemento A3 atingem isolamento adequado; as demais salas não possuem isolamento adequado. Como o isolamento mínimo a 95dB coincide com o isolamento para conforto a 86 dB, destaca-se que somente essas duas partições restringem a passagem de som de modo suficiente para obter conforto auditivo para os valores de 95dB e 86dB de um fonte.

Caso a análise baseie-se no desempenho aceitável para o NPS médio da atividade, quatro partições se mostram adequadas a todas as frequências: as três divisórias internas do Elemento A3 e uma das paredes internas do Elemento B2. A parede 04 do Elemento C2, por ser mais

espessa²⁶, consegue isolar de forma adequada os sons de 125Hz para ruído aceitável e também os agudos, de 2000Hz e 4000Hz, sendo ineficaz quando se trata de isolar médias frequências. Todas as demais divisórias internas possuem desempenho insuficiente quanto ao isolamento sonoro para garantir que o nível de som residual nas salas, originário de fontes internas à escola, esteja em conformidade com a norma.

A mesma análise feita para isolamento de ruído externo considera que existem duas situações tipo: a primeira ocorre nas Unidades A e B, onde o ruído oriundo de fora da escola caracteriza-se por ser de tráfego de veículos (entre 80db e 90dB) e a segunda na Unidade C, onde, além do ruído de tráfego, observa-se o ruído proveniente da passagem de comboios ferroviários, com nível sonoro externo de 130dB na passagem da máquina e 90dB na passagem dos vagões. O quadro 4.7 mostra as perdas sonoras necessárias nos contextos existentes.

Quadro 4.7: Perda sonora necessária nos painéis do envelope das edificações.

Frequência (Hz)	Som residual [dB]		PTS necessária [dB] ¹		PTS necessária [dB] ²	
	Conforto	Aceitável	Conforto	Aceitável	Conforto	Aceitável
125	48	57	33	42	73	82
250	41	50	40	49	80	89
500	36	45	43	54	85	94
1000	31	41	49	59	89	99
2000	29	39	51	61	91	101
4000	28	38	52	62	92	102

Nota: ¹Fonte sonora de 90dB

²Fonte sonora=passagem de máquina ferroviária gerando 130dB externamente

Como há duas fontes externas distintas, a análise abordou separadamente as unidades. A figura 4.47 mostra os resultados de PTS para as unidades sujeitas somente ao ruído de tráfego.

²⁶ Por motivos construtivo-estruturais, e não com vistas ao desempenho acústico.

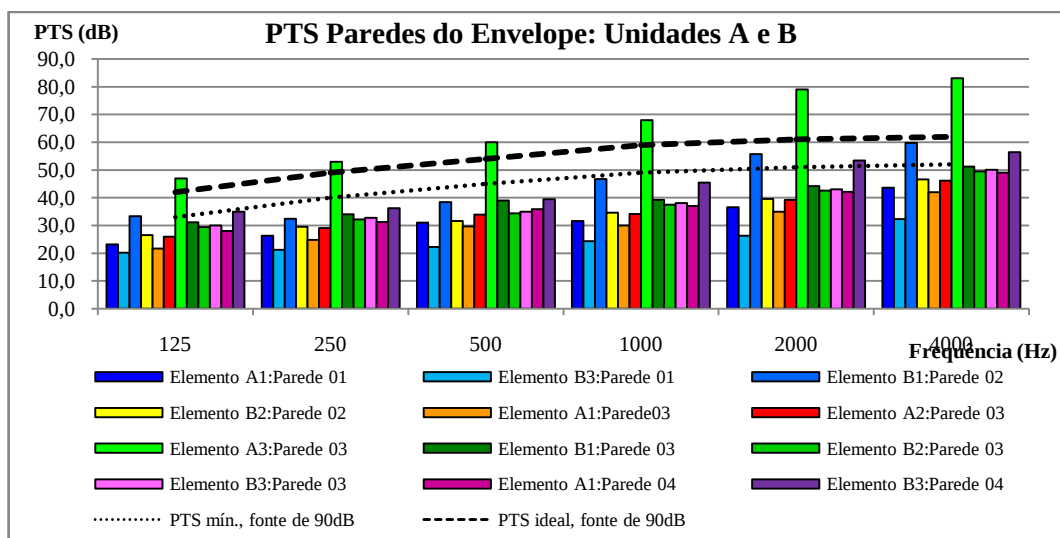


Figura 4.47: Perda sonora nas paredes do envelope das edificações nas Unidades A e B.

Nesse caso, somente a Parede 03 do Elemento A3 consegue isolar adequadamente o ambiente para prover conforto auditivo. A Parede 02 do Elemento B1, apesar de possuir elemento vazado, isola o suficiente para que o nível máximo aceitável de ruído seja atingido para altas frequências, desempenho similar ao da Parede 04 do Elemento B3. O isolamento de todas as demais vedações é insuficiente para garantir conformidade com as normas, qualquer que seja o parâmetro.

O caso da Unidade C é peculiar. O NPS da passagem da máquina ferroviária exige vedações de alto desempenho, o que significa PTS entre 73 e 92dB para que seja obtido um ambiente interno com o nível de ruído máximo aceitável. Nessa ocorrência, evidencia-se a não conformidade por transmissão aérea em todas as vedações, ou seja, não se está aqui considerando a influência das vibrações transmitidas por via estrutural. Na Unidade C, os valores usados para avaliar as vedações do envelope da edificação foram os da passagem dos vagões, que perduram por mais tempo que o ruído da máquina, conforme a figura 4.48.

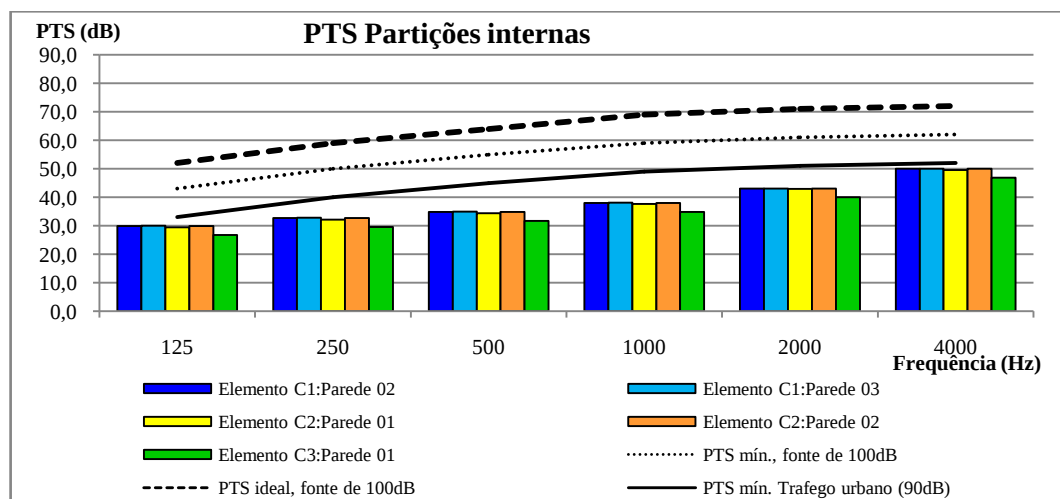


Figura 4.48: Perda sonora nas paredes do envelope das edificações na Unidade C.

Todas as vedações do envelope da edificação, nos elementos de análise, apresentam desempenho à perda sonora inferior ao necessário para que haja conformidade com os padrões normativos. Essa não conformidade é verificada qualquer que seja o nível sonoro proveniente de fora da edificação.

4.7. Acústica Geométrica

Como visto no referencial teórico, a geometria das salas é determinante do campo sonoro e pode ser origem de falhas acústicas, que prejudicam o êxito da atividade na sala.

Tomando a atividade de prática e ensino de música, assinala-se como coincidente a posição do ouvinte e da fonte, uma vez que o próprio instrumentista é quem precisa melhor ouvir o som. Para o ensino musical, professor e aluno precisam igualmente ouvir a fonte e distinguir suas matizes sonoras e, pelo padrão de uso em todos os elementos de análise pesquisados, a distância direta entre fonte e ouvinte²⁷, tem média de 2m e em nenhum caso supera 5m. Assim, sempre será possível a audição em nível adequado do som direto da fonte²⁸.

4.7.1. Eco Palpitante

A presença de eco palpitante no ambiente causa um ruído, caracterizado como zunido, enquanto houver prática musical devido às sucessivas reflexões em superfícies paralelas. Logo, o que condiciona a existência desse tipo de falha acústica é a elevada refletividade das superfícies aliada a paralelismo entre elas.

Dentre os nove elementos analisados, oito possuem superfícies paralelas e, desses, cinco possuem pares de paralelismo entre todas as superfícies. A inserção de componentes difusores é uma forma de atenuar os efeitos do paralelismo das superfícies e, portanto, as análises consideraram como não paralelas as superfícies que possuem tais componentes. Além disso, a absorção média do ambiente também é determinante para a ocorrência de ecos palpitantes. Usando a numeração dos componentes construtivos mostrada na figura 4.45, o quadro 4.8 apresenta as características de paralelismo dos elementos de análise e a absorção média de cada um deles.

²⁷ Nesse caso, o ouvinte passa a ser o professor.

²⁸ Considerando a perda de energia na propagação aérea das ondas sonoras.

Quadro 4.8: Condições para a presença de eco palpitante.

Elemento de análise	Energia sonora refletida (%)						Paralelismo		
	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Paredes 01 e 03	Paredes 02 e 04	Teto e Piso
Elemento A1	88,1/	89,5/	90,2/	92,4/	90,6/	90,6/	Sim	Sim	Não
Elemento A2	92,3/	93,1/	93,8/	94,7/	93,3/	92,3/	Sim	Sim	Sim
Elemento A3	83,7/	81,7/	78,2/	74,0/	69,5/	68,1/	Não	Não	Não
Elemento B1	96,1/	96,3/	96,3/	95,7/	95,7/	95,7/	Sim	Sim	Não
Elemento B2	88,0/	90,5/	92,1/	94,2/	93,1/	92,3/	Sim	Sim	Sim
Elemento B3	96,1/	96,6/	96,6/	96,6/	96,0/	94,2/	Não	Sim	Sim
Elemento C1	91,9/	90,5/	93,3/	95,2/	94,8/	93,8/	Sim	Sim	Sim
Elemento C2	92,4/	91,5/	93,7/	95,0/	94,0/	92,5/	Sim	Sim	Sim
Elemento C3	92,2/	90,9/	93,3/	95,1/	94,4/	93,7/	Sim	Sim	Sim

À exceção do Elemento A3, onde há maior absorção média, e das baixas frequências no Elemento A1, em todos os demais elementos de análise mais de 90% da energia sonora gerada retorna ao ambiente em forma de ondas refletidas. E, nesses elementos, sempre há presença de pelo menos dois casos de paralelismo entre superfícies, o que permite a inferência de que há potencial presença dos ecos palpitantes em oito dos nove elementos em análise.

4.7.2. Eco

A condição para a audição de eco é a chegada de sons consecutivos com intervalo maior ou igual a 50ms e a satisfação da exigência dos percursos das ondas, como posto em Nepomuceno (1994), é suficiente para garantir que ecos inexistam. Essa exigência é expressa na Figura 4.49.

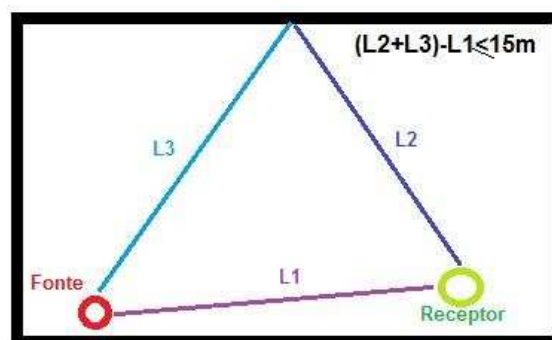


Figura 4.49: Percurso dos raios para verificação de eco.

Os resultados para satisfação da exigência dos percursos sonoros são apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4.9: Percurso dos raios para verificação de eco.

Elemento	L1 [m]	L2 [m]	L3 [m]	(L1+L2)-L3 [m]
A1	10,54	10,24	4,34	16,44
A2	2,89	3,06	2,78	3,17
A3	3,32	4,40	2,66	5,06
B1	2,90	1,43	1,17	3,16
B2	2,91	2,40	1,21	4,10
B3	1,05	2,96	1,10	2,91
C1	2,07	2,02	1,38	2,71
C2	2,24	1,74	1,06	2,92
C3	2,22	2,06	1,58	2,70

Conforme exposto no quadro, somente o Elemento A1 oferece condições para que haja ocorrência de ecos; os demais ambientes são isentos dessa falha acústica.

4.8. Opinião do Usuário

Tendo em vista que o conforto auditivo também possui caráter subjetivo, os questionários buscaram captar a percepção dos usuários quanto aos aspectos que pudessem estabelecer relacionamento do desempenho acústico e a sensação auditiva percebida nos ambientes.

4.8.1. Classificação dos ambientes segundo os usuários

Nos questionários, constou uma seção aberta, na qual os usuários de cada escola puderam elencar as melhores e piores salas e justificar suas opiniões.

Na Unidade A, 56% dos respondentes consideraram o Elemento A3 como o melhor da escola: a justificativa mais utilizada é dada pelo tratamento acústico do ambiente, o que promove a melhor audibilidade na sala. Para 38%, o elemento A2 foi considerado o melhor ambiente da escola, principalmente devido à qualidade estética do espaço e dos pianos da sala, assim como pela capacidade de público. O adjetivo ‘beleza’ foi recorrente para caracterização da escola e de suas salas. Como ponto negativo, os usuários ressaltaram a interferência, entre salas, do som gerado pela prática musical. A sala considerada em uso como pior para a prática, foi a indicada como S7 na figura 4.5. Essa indicação se deu pela interferência da conversa no ambiente de copa e cozinha e pelo trânsito de pessoas na sala como acesso ao ambiente S8.

Na Unidade B, os ambientes S20 (Elemento B2) e S21 da figura 4.8 foram aqueles com mais votos como melhores da escola. Respectivamente, 38% e 36% dos respondentes consideraram esses espaços como os mais adequados à prática. As justificativas incluíram dimensões das salas, beleza dos ambientes e materiais de composição do espaço. O segundo ambiente citado

como melhor foi o marcado como S17. Os dois piores espaços dessa Unidade, segundo os usuários, são os separados por tabiques, onde 45% dos usuários se declararam insatisfeitos, principalmente pelos níveis de ruído vindos da prática musical adjacente e das conversas nos arredores das salas. 19% dos indivíduos elegeram a sala S6 como a pior, pelas pequenas dimensões e grande reverberação e 9% colocaram a sala S1 (Elemento B1) como ruim pelo ruído de conversas nas proximidades da sala e sensação de clausura pelo baixo pé-direito.

Na unidade C, três ambientes foram considerados igualmente bons. Foram eleitos como melhores espaços da escola: Auditório (S1, na figura 4.9), com 36% dos usuários respondentes; Sala S13 com 33%; e sala S11 com 31%. A opção pela sala S1 foi justificada por suas dimensões e estética agradável, assim como pela qualidade sonora do piano. As salas S11 e S13 (Elemento C1), por serem as salas de prática localizadas do lado oposto ao da linha férrea. Como piores ambientes para a prática, foram colocados os Elementos C2 e C3, com respectivos 31% e 69% de rejeição quanto a conforto auditivo. A justificativa para tal insatisfação foi unânime: o ruído gerado pela passagem das composições férreas atrapalha e até interrompe as atividades de ensino e ensaio musical. Uma justificativa secundária para alguns usuários foi a dimensão dos ambientes, demasiadamente pequena.

4.8.2. Espaço físico

A avaliação quanto à beleza dos ambientes demonstra a satisfação do usuário em permanecer nos espaços, aspecto que pode qualificar o espaço como agradável para a prática, apesar do desempenho acústico. Como mostra a figura 4.50, os ambientes avaliados como de melhor aparência foram aqueles da Unidade A. Os de pior aparência foram os anexos da Unidade B. Os edifícios de valor histórico sempre tenderam a causar mais a impressão de beleza, com avaliações acima da média pelos usuários do espaço.

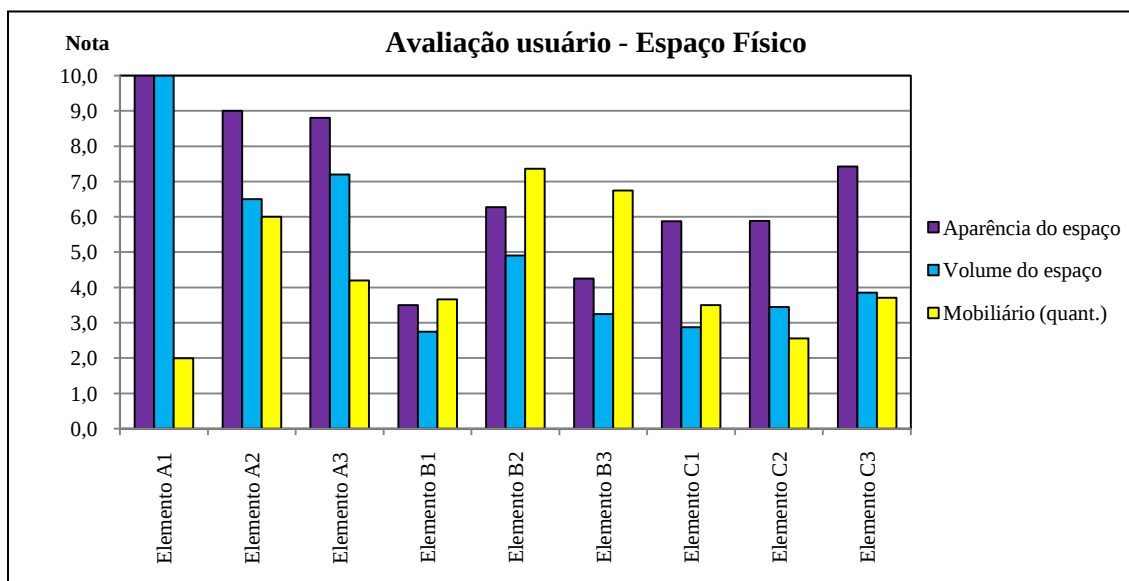


Figura 4.50: Espaço Físico, segundo avaliação dos usuários.

A adequação do volume do ambiente deve causar impressão de neutralidade. Os adjetivos de avaliação desse quesito foram grande e pequeno, ambos inadequados; portanto, quanto mais próximas da média 5 forem as notas, melhor a condição do espaço. Assim sendo, os ambientes com tamanho mais adequado à atividade foram os Elementos B2, C3 e A2.

Espaços que causam sensação de tumulto e obstrução excessiva do ambiente, interferem no desempenho da atividade. Essa é uma questão que se associa também à absorção sonora, já que o mobiliário interfere nesse aspecto. Somente os elementos B2 e B3 foram avaliados como cheios de móveis. Os demais mantêm um desvio de 2 pontos da média, o que se pode admitir como satisfatório, ainda. O único ambiente avaliado com pouco mobiliário foi o A1: as notas foram atribuídas não pela ausência de objetos que deem suporte à atividade, mas pela sensação de vazio causada pela relação entre dimensões do espaço e poucos móveis.

4.8.3. Som residual

Como mostrado no Capítulo 2, a medição do NPS de sons alheios às práticas musicais não é o único determinante do incômodo gerado por ele. Cada indivíduo percebe o ambiente sonoro de modo subjetivo. A Figura 4.51 mostra essa percepção nas unidades analisadas. A escala atribuía 10 como muito incômodo e 0 como imperceptível.

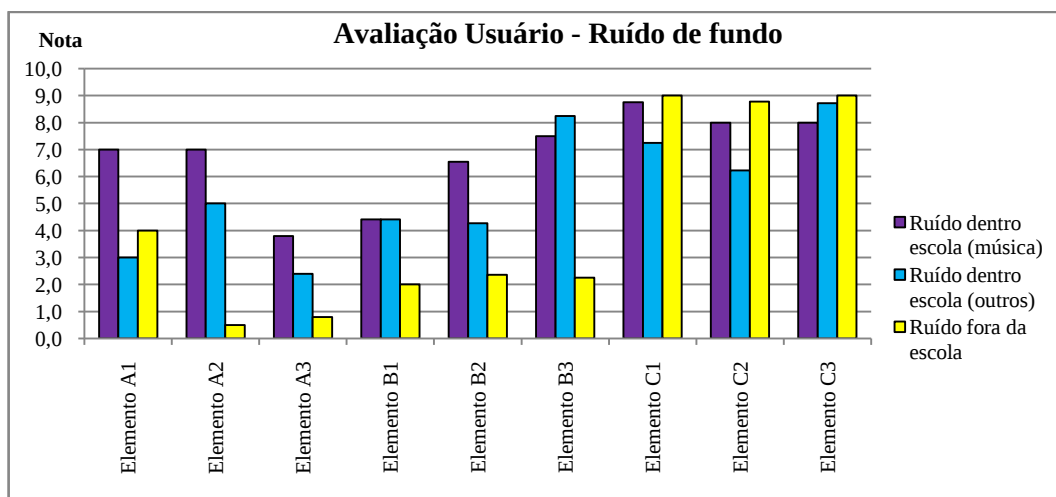


Figura 4.51: Som residual segundo avaliação dos usuários.

Os ruídos provenientes de outras práticas dentro da escola são os principais geradores de incômodo, especialmente nas Unidades A e B, nos elementos B2 e B3.

Em se tratando do incômodo gerado pelas outras fontes dentro da própria escola, tanto na Unidade A quanto na B os níveis de insatisfação foram maiores que o gerado pelos ruídos de fora da escola. O elemento B3 foi o pior avaliado quanto a esse quesito, avaliação que se associa à caracterização da sala como ruim na seção aberta dos questionários devido à conversação no corredor.

Já na Unidade C, os sons de fora da escola são os que geram maior incômodo auditivo aos usuários, perturbando mais que a energia sonora proveniente de outras práticas musicais, fontes com segunda pior avaliação em termos de insatisfação nessa unidade. Cabe lembrar que o ruído provocado pela passagem dos comboios na ferrovia foi ressaltado em todos os questionários no bloco de questões abertas, dado coerente com as respostas dadas posteriormente no bloco avaliativo. Comparativamente às outras unidades, a C é que possui ambiente com maior insatisfação quanto a sons residuais.

4.8.4. Atributos acústicos

Para o entendimento dos usuários, os atributos acústicos contemplados neste trabalho foram traduzidos em pequenas frases e palavras mais próximas do vocabulário e cotidiano dos indivíduos. Relacionam-se: reverberação a Vivacidade, percepção de graves a Calor, percepção de agudos a Brilho, Articulação a Clareza, uniformidade a Envolvimento, impressão de tamanho a Intimidade. Além deles, questionou-se sobre a percepção do som direto da fonte. Os resultados estão mostrados na Figura 4.52.

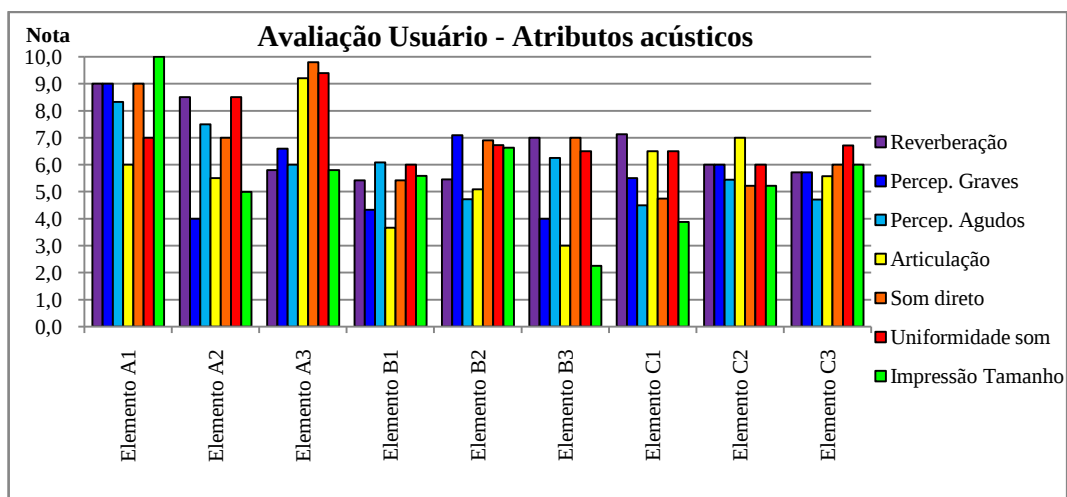


Figura 4.52: Atributos acústicos segundo avaliação dos usuários.

Para os três primeiros atributos, a nota da avaliação entre 4 e 6 é recomendada como equilibrada e, portanto, positiva. Qualquer aproximação de uma das extremidades denota algum tipo de insatisfação com o campo sonoro. Os elementos considerados mais vivos foram os A1, A2, B3 e C1, com médias acima de sete. Os demais elementos foram avaliados como equilibrados.

A quantidade de graves presentes nos Elementos A1, A3 e B2 foi considerada elevada pelos usuários e com presença equilibrada nos elementos restantes, enquanto que a presença dos sons agudos foi acima do intervalo médio para A1, A2 e B3.

Os atributos clareza, som direto e uniformidade foram avaliados em escala de péssimo a ótimo. Assim, quanto maiores as notas atribuídas a eles, maior a satisfação. Quanto à clareza, as melhores notas foram atribuídas ao Elemento A3 e àqueles da unidade C. Os usuários da Unidade B consideraram baixo o discernimento de detalhes da execução musical. Já o som direto da fonte foi avaliado entre regular e bom em todos os elementos, em particular no A3 e no A1. A uniformidade da distribuição também recebeu boa avaliação em todos os elementos, como notas sempre superiores a 6.

A impressão de tamanho da sala, relacionada à intimidade, também é considerada melhor quanto mais equilibrada for, com valores entre 4 e 6. Os elementos de análise A1 e B2 foram considerados pouco intimistas, com avaliações em notas 10 e 6,6. O único ambiente classificado como pequeno demais conforme a propagação sonora foi o Elemento B3, demonstrando a sensação de intensidade elevada do som e dificuldade no controle dessa intensidade.

4.8.5. Execução musical

Os usuários foram questionados, também, sobre sua satisfação quanto ao desempenho das salas para aspectos relacionados diretamente à prática musical. Os aspectos tratam do tripé constituinte da música: Melodia, Ritmo e Harmonia. A escala variou entre péssimo e ótimo, ou seja, quanto maiores as notas atribuídas melhor a satisfação.

Os aspectos associam-se também aos atributos e ou critérios acústicos. O ritmo é mais bem percebido e executado quanto mais adequados forem a clareza e o envolvimento. A dinâmica relaciona-se à intimidade e à absorção média das salas. Para a adequada percepção do timbre, é necessário o equilíbrio entre Razão de Graves e de Agudos e o envolvimento adequado. Além disso, dinâmica e timbre associam-se também ao componente musical Melodia. Já para o entrosamento entre os músicos que tocam em conjunto, a distribuição do som deve ser tal que permita a cada um ouvir-se bem, assim como aos companheiros. Logo, a geometria da sala deve propiciar um campo adequado, e envolvimento, intimidade e clareza precisam também estar adequados. Assim, o terceiro conceito básico da música foi abordado, pois entrosamento favorece a adequada execução da harmonia.

A Figura 4.53 resume a opinião dos usuários quanto à percepção dos componentes musicais. Evidencia que o Elemento A3 satisfaz melhor os usuários quanto a todos os aspectos incluídos. Mais que isso, promove equilíbrio entre esses aspectos. Com vistas a essa característica, o Elemento A1 é o segundo melhor avaliado, com notas que representam a satisfação e balanceamento dos quesitos. Ainda na Unidade A, o elemento A2 mostrou-se satisfatório especialmente para dinâmica e entrosamento, mas manteve notas em torno da média para percepção do ritmo e do timbre, o que indica o desequilíbrio do espaço para a prática.

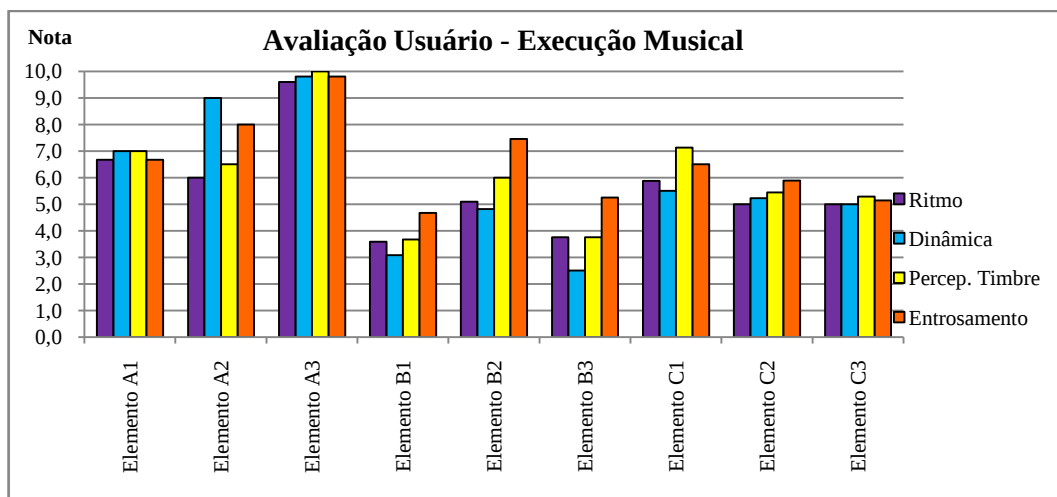


Figura 4.53: Execução musical segundo a avaliação dos usuários.

Os ambientes da Unidade C foram os que apresentaram maior uniformidade, e conseguem manter a neutralidade da satisfação dos indivíduos, com notas em torno da média. Os ambientes C2 e C3 foram avaliados como os mais equilibrados, enquanto que o C1 manteve maiores notas da avaliação, apesar da maior discrepância entre aspectos musicais distintos na mesma unidade.

A Unidade B foi a pior avaliada dentre as unidades e também aquela na qual o desequilíbrio entre aspectos musicais foi característica observada em todos os elementos. Todos os elementos foram mais bem avaliados quanto ao entrosamento, seguido pela percepção de timbre e ritmo. Contudo, as notas atribuídas aos elementos C1 e C3 foram baixas, abaixo da média cinco. Já o elemento C2 foi avaliado com notas sempre acima de cinco, apesar de não permitir o balanceamento entre os aspectos musicais.

4.9. Inter-relações: comportamento e uso vs. dados técnicos

É possível comparar os resultados de opinião dos usuários quanto ao volume e quantidade de móveis aos resultados obtidos na análise de conformação espacial para volume por pessoa e Índice de Obstrução, como ilustra a Figura 4.54. A percepção do usuário quanto ao volume é condizente com a avaliação técnica: os Elementos B1, B3 e os da Unidade C foram avaliados com notas baixas pelos usuários e, de fato, possuem volume inferior ao necessário para a prática de instrumentos de sopro.

A sensação de vazio da sala não está diretamente associada ao Índice de Obstrução. Os questionários mostram que os usuários estão satisfeitos com a quantidade de móveis em seis das nove salas analisadas. Nos elementos B2 e B3, a insatisfação é pelo excesso de móveis, onde o índice de obstrução é de 37% e 31%, respectivamente. O Elemento C3 com índice de obstrução 50%, o maior entre todos os elementos de análise, não foi avaliado como muito ocupado. A sensação de vazio da sala só foi demonstrada pelos usuários para o Elemento A1, que de fato possui a menor ocupação dentre todos os elementos, com 8%, valor que é muito próximo ao do Elemento A3, com 9%, e que foi avaliado pelos usuários como satisfatório. Esses resultados mostram que a sensação de vazio ou tumulto de uma sala tem caráter mais subjetivo que ligado propriamente à obstrução. A utilidade dos móveis e equipamentos à atividade, mesmo que obstruam grande parte do piso, caracteriza ambientes que causam sensações de ocupação devida, como acontece no Elemento C3, onde todas as carteiras e móveis são largamente aproveitados nas aulas. Do mesmo modo, observa-se que o tratamento de paredes e incremento estético do espaço com cortinas e elementos decorativos causa

sensação de espaço cheio, mesmo que o Índice de Obstrução seja baixo, como acontece no Elemento A3, que possui figuras decorativas nas paredes e objetos pendurados no teto.

Quadro Figura 1.1: Estrutura metodológica da pesquisa.

Atributo	Análise Técnica	Satisfação Usuário	Resultado
Volume da sala por instrumento	Insuficiente		=
Índice de obstrução	Inadequado		≠

Os resultados relativos ao nível de ruído mostram que o incômodo gerado não está diretamente relacionado ao nível medido, conforme ilustra a Figura 4.55. O maior nível de som residual medido foi no elemento B1, onde a abertura para ventilação sem fechamento nenhum permite que todo o som de conversação nas proximidades da sala seja percebido em seu interior. Porém os níveis de insatisfação não foram elevados, independentemente do tipo de fonte de ruído. A sensação de isolamento pela localização da sala dentro da escola e o mascaramento pelo ruído do ventilador, que é sempre constante e não possui nuances que atraiam a atenção dos usuários, levam a essa diferença entre o incômodo e o nível medido. O mesmo fenômeno não acontece nas demais salas dessa Unidade, com níveis medidos de ruído também elevados e presença constante do ventilador ligado. No caso dos Elementos B2 e B3, o ruído do ventilador não é suficiente para mascarar a nitidez da prática musical em salas adjacentes e da conversação no corredor, o que conduz os usuários a avaliarem essas salas como ruidosas.

Quadro 4.10: Inter-relação - nível de ruído.

Atributo		Análise Técnica	Satisfação Usuário	Resultado
RUÍDO	Elemento B1	Níveis Elevados		≠
	Elementos B2 e B3	Níveis Elevados		=
	Elementos da Unidade C	Nível de médio a elevado		=
	Elemento A1	Nível adequado		≠
	Elemento A2	Nível elevado		≠
	Elemento A3	Nível adequado		=

Os elementos que mais geram insatisfação quanto ao ruído são os da Unidade C, especialmente quanto ao ruído externo à escola. Na aferição física desse ruído, os níveis não foram elevados e em não conformidade com a norma, mas não em proporção que justifique tamanho incômodo. Isso porque o que gera o desconforto nessa Unidade é a atividade ferroviária, cujos níveis sonoros não são considerados na técnica de verificação do ruído por motivos metodológicos. Com efeito, o nível de ruído da passagem de comboios ferroviários justifica insatisfação de 90%. Sobre o ruído de fonte externa à escola, observa-se que a implantação é determinante da condição de satisfação nas unidades A e B. Aqueles sons de fora da escola não se configuram como problemas, pois, no primeiro caso, há a implantação em terreno longe da malha urbana, no segundo a implantação no próprio terreno favorece a não interferência desse tipo de som.

Verifica-se que o maior incômodo se dá pela prática musical em salas próximas, mesmo que o nível sonoro medido do ruído não seja elevado, como ocorre no Elemento A1. Esse tipo de ruído é aquele que mais gera desconcentração nas aulas.

Acusticamente, quanto ao calor e ao brilho das salas, os usuários nem sempre percebem claramente a condição física existente, como ilustra a Figura 4.56. Todas as salas da Unidade C apresentam maior presença das frequências elevadas, mas os usuários avaliaram como maior a presença de graves, ainda que a diferença entre eles seja pequena. A mesma ocorrência aparece no Elemento B2, com maior discrepância na avaliação dos usuários entre graves e agudos. Os usuários consideraram muito brilhantes os elementos A2, B1 e B3, condição que é alinhada com os resultados técnicos nos dois últimos casos, mas não no primeiro. O elemento A3 também causa nos indivíduos sensação compatível à de seu desempenho, com maior calor que brilho. O fato de os usuários terem um parâmetro de comparação, como acontece na Unidade A devido ao elemento A3, leva os usuários a serem mais exigentes com os outros espaços, e pequenas discrepâncias, que por vezes não são percebidas por alunos de outras unidades, tornam-se claras. Essa é a justificativa para que o elemento A2 tenha sido considerado muito brilhante, pois, após tocar no Elemento A3, os sons agudos parecem mais evidentes do que efetivamente o são no elemento A2.

Quadro Figura 4.53: Execução musical segundo a avaliação dos usuários.

Atributo		Análise Técnica	Satisfação Usuário	Resultado
Calor e brilho	Elemento A1	Equivalente	Mais graves	≠
	Elemento A2	Equivalente	Mais agudos	≠
	Elemento A3	Mais graves	Mais graves	=
	Elementos da Unidade B	Mais agudos	Mais agudos	=
	Elementos da Unidade C	Mais agudos	Mais graves	≠

Quanto à clareza da comunicação, a avaliação dos usuários também é compatível com os dados medidos. O ambiente com maior discernimento, Elemento A3, também foi aquele considerado pelos usuários como melhor para a percepção da articulação e ritmo. Assim também os ambientes onde há sobreposição de notas e sons foram avaliados pelos usuários como pouco claros para a percepção sonora.

Pela aferição do decaimento inicial, os Elementos A1 e B1 apresentam-se como menos intimistas e envolventes enquanto os Elementos A3, B3 e os da Unidade C possuem o melhor desempenho nesses atributos. Pelos questionários, verifica-se que os usuários classificam como mais envolventes os espaços A3 e A2, e na Unidade B o B9. Entretanto, todos os elementos foram bem avaliados nesse sentido. Já quanto à intimidade, somente o Elemento A1 foi considerado pouco intimista. O que se observa é que os usuários associam diretamente a dimensão das salas à intimidade, mesmo esse seja um atributo relacionado ao comportamento do som. Por isso, o elemento B1, que também é pouco intimista, não foi avaliado pelos usuários como tal, pois as dimensões são pequenas. De fato, a dimensão do ambiente está associada com intimidade e envolvimento, uma vez que o EDT é função do volume das salas, mas depende também dos materiais de constituição, acabamento das superfícies e elementos de distribuição das ondas sonoras.

Na opinião dos usuários sobre a qualidade das salas quanto a aspectos de execução musical, percebe-se que as salas com melhor avaliação são aquelas com algum tipo de intervenção com intenção acústica ou com a aplicação de materiais como madeira e tapetes. Os dados mostram, também, a relevância das condições psicológica e cultural na avaliação acústica dos espaços pelos usuários.

Além dos dados expostos, os questionários abordaram também a avaliação quanto ao condicionamento e isolamento das salas, que prescinde da existência de conhecimento prévio dos respondentes acerca do assunto. Esses dados, entretanto, não puderam ser utilizados como expressão da satisfação dos indivíduos uma vez que o viés averiguado expressou o desconhecimento dos músicos quanto à diferenciação de condicionamento e isolamento acústico, bem como ao reconhecimento da influência dos componentes construtivos no comportamento sonoro.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inquietação quanto à integração das soluções arquitetônico-construtivas, com as necessárias condições ambientais para o adequado desempenho acústico em espaços adaptados para a prática musical, foi o ponto de partida motivador da pesquisa. As escolas de música, particularmente pelas demandas de desempenho acústico, apresentaram-se como tipologia de interesse para o estudo, ainda mais quando se observa que a maior parte dessas escolas está implantada em espaços originalmente projetados para outras finalidades que não a prática musical.

5.1. Conclusões

As discussões e análises apresentadas nesta pesquisa conduzem às conclusões apresentadas a seguir.

O projeto, a implantação, o edifício

- ❖ Um primeiro aspecto que chamou a atenção é que a estrutura administrativa e o caráter público ou privado das escolas de música produziram diferentes interferências no processo de projeto e execução de obras nas escolas de música estudadas, com impacto direto no desempenho acústico desses espaços.
- ❖ O processo de adaptação das edificações para a implantação das escolas de música, assim como as decisões que conduziram à escolha do local, foi conduzido prioritariamente por razões que desconsideraram as peculiaridades acústicas da atividade.
- ❖ As diferenças na interferência do ruído externo à escola entre a Unidade C (onde há atividades ruidosas nas adjacências) e as Unidades A (isolada da malha urbana) e B (com prédios que se voltam para dentro do próprio terreno da escola) nas atividades musicais reforçam o quanto a escolha da localização da edificação influi diretamente no ruído a que estará submetida e, como consequência, na atividade desenvolvida.
- ❖ Os resultados da avaliação de comportamento e opinião dos usuários permitiram destacar que a opção pela implantação das escolas de música em edifícios históricos melhoram as relações de uso e de permanência dos indivíduos nos espaços, devido às sensações causadas pela estética e valor cultural desses edifícios.

Ainda, quanto a este tópico, destaca-se especialmente que:

- ❖ Pôde-se constatar que o volume dos ambientes nas edificações de valor histórico apresentou-se adequado à prática musical de distintos instrumentos, adequação esta que se condiciona à tomada de decisões apropriadas por parte da administração das escolas quanto ao número de alunos por turma, conforme o instrumento praticado.
- ❖ Os resultados de desempenho acústico obtidos no Elemento A3 (única sala com intervenções de caráter acústico) permitiram verificar que há viabilidade de execução de processos de adaptação da edificação às peculiaridades acústicas da atividade-fim, sem que seja descaracterizado o edifício de valor histórico ou que sejam causados danos permanentes ao patrimônio.

O som residual e o ruído

- ❖ Comprovou-se, pelas medições acústicas, que a prática de instrumentos de sopro e de percussão é a que produz maior intensidade sonora, sendo também a que necessita de ambientes com melhor desempenho no isolamento sonoro e dissipação da energia para garantir a saúde auditiva dos usuários.
- ❖ Salas que não foram alvo de intervenções (adequação por meio de reforma), para garantir desempenho acústico no isolamento dos ambientes, mostraram-se inadequadas tanto quanto aos ruídos de fontes nas adjacências das salas, quanto à manutenção do som produzido pela prática dentro da própria sala.
- ❖ Confirmou-se que sons que podem ser discernidos pelos usuários, como a prática musical e a nítida audição de conversa nas adjacências, são mais incômodos que sons contínuos e constantes, como os ruídos rosa.

Também, quanto a este tópico, destaca-se especialmente que:

- ❖ Foi possível constatar a ineficácia da constituição das paredes internas das salas no isolamento sonoro para os níveis de pressão típicos da atividade musical, o que reforça a necessidade de priorizar o tratamento desse componente construtivo no projeto de adaptação de edifícios à prática musical.

O ambiente sonoro

- ❖ A predominância da presença de sons agudos sobre a de graves caracterizou os ambientes que não passaram por adaptações de cunho acústico para a prática musical.

- ❖ A comparação do campo sonoro existente nos ambientes estudados reforçou que a presença de componentes construtivos de composição do ambiente sonoro, como irregularidades nas superfícies, difusores e defletores, assim como o não paralelismo das superfícies, melhora a uniformidade do campo sonoro.
- ❖ O caso da abertura sem vedação para fins de ventilação no Elemento B1 reforça a necessidade de integração entre decisões arquitetônicas para atendimento do usuário em todas as suas necessidades. A abertura que busca promover conforto térmico é responsável pela facilidade de transposição de ruídos oriundos do exterior da sala.

Também, quanto a este tópico, destaca-se especialmente que:

- ❖ A utilização de elementos e componentes que possam conferir flexibilidade as características acústicas dos ambientes são soluções para salas com práticas musicais distintas, já que se evidenciou a particular necessidade de ambientes de acordo o instrumento musical executado. Tal fato explicita uma demanda projetual que indica importante tendência no cenário da arquitetura atual, uma vez que a acústica vem a somar outras tendências de flexibilidade.
- ❖ Observou-se que os componentes construtivos essenciais para provimento do envolvimento e da intimidade sonora foram as paredes e o teto.
- ❖ Há necessidade de correção das superfícies de todos os elementos analisados para a adequação do Tempo de Reverberação à atividade desenvolvida. Destaca-se, nesse caso, que o Elemento A3 não requer tratamento caso a cortina seja mantida recolhida durante a prática musical.

O usuário

- ❖ A formação dos músicos quanto à consciência do espaço na performance musical mostrou-se falha, fato que se pode constatar pela ausência de respostas dadas na aplicação do questionário, em questões com conteúdo próprios da acústica ambiental. A existência de pelo menos um ambiente que seja acusticamente adequado à prática musical nas escolas pode permitir o desenvolvimento dos alunos quanto à percepção do ambiente sonoro, devido à possibilidade de comparação entre ele e os ambientes que não atendem aos requisitos acústicos necessários.
- ❖ As respostas dadas nas questões abertas do questionário aplicado mostraram que o aspecto psicológico interfere na percepção do ambiente sonoro. Ambientes com

aplicação de materiais que possuem ‘boa reputação’ acústica causam sensação de adequação do ambiente, assim como a colocação de elementos para distribuição de ondas, mesmo que tecnicamente os ambientes estejam inadequados para a prática musical.

5.2. Recomendações para adequações nas escolas estudadas

5.2.1. Recomendações gerais

As recomendações de caráter geral podem ser aplicadas a todas as escolas de música estudadas objetivando a melhoria do ambiente sonoro nas salas de prática musical.

- Projeto acústico de condicionamento e isolamento e implementação adequada em pelo menos uma sala por escola.
- Aumento das superfícies absorventes nas salas usando componentes construtivos e artefatos que sejam de fácil colocação e remoção, uma vez que todos os ambientes possuem, por característica, a prática de instrumentos musicais distintos.
- Inserção de componentes difusores e defletores nas salas conjugados aos elementos de absorção.
- Avaliação da possibilidade do uso de protetores auriculares, adequados à faixa de frequência típica da atividade, durante a jornada de trabalho dos professores e funcionários expostos a Níveis Sonoros elevados, quando a regulamentação específica assim exigir.

5.2.2. Recomendações Específicas

Essas recomendações visam ao suprimento das necessidades específicas das escolas de música analisadas.

Unidade A

- Colocação de componentes no teto do Elemento A1 que permitam controlar o volume da sala.
- Substituição das portas ou colocação de componente agregado à porta que permita o controle das frestas e da propagação de ruídos.
- Colocação de material isolante entre o forro e o ático a fim de controlar a propagação de ruídos pelo ático.

Unidade B

- Redução do efeito reverberante do revestimento cerâmico do Elemento B1 mediante tratamento da superfície com material com área e coeficiente de absorção que permitam adequar, por exemplo, o tempo de reverberação, e que valorizem o comportamento acústico (desempenho e conforto) dos ambientes.
- Colocação de elemento na abertura sem vedação que permita a utilização da abertura conforme as necessidades térmicas mas também as acústicas.
- Substituição da porta dos Elementos B2 e B3 ou colocação de componente agregado à porta que permita o controle das frestas e da propagação de ruídos.
- Adequação espacial e acústica dos ambientes com tabiques.

Unidade C

- Colocação de componente agregado às janelas que permita o controle das frestas e da propagação de ruídos.
- Agregação de componente nas vedações do envelope, voltadas para a linha férrea, permita a dissipação da energia sonora por via aérea, originária da atividade ferroviária.
- Substituição das portas internas por outras com melhor vedação das frestas e com a adequada capacidade de isolamento acústico.

5.3. Recomendações para trabalhos futuros

Considerando-se o que se pôde constatar nesta pesquisa, sugerem-se temas para futuros trabalhos, que possam ser complementares a este estudo:

- Realização de estudos com a abordagem metodológica desta pesquisa, noutras escolas de música, também implantadas em espaços adaptados.
- Determinação das condições arquitetônico-construtivas ideais a cada tipo ou agrupamento de instrumentos musicais.
- Diagnóstico do emprego de conceitos e estratégias que buscam adequar o desempenho ambiental, em particular quanto ao caso de instalações destinadas ao ensino e à prática musicais, como uma contribuição para o processo de projetos e obras em tais ambientes construídos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas buscando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
- _____. **NBR 10152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.
- _____. **NBR 13369**: Cálculo simplificado do nível de ruído equivalente contínuo (Leq). Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- _____. **NBR 15575**: Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Rio de Janeiro, 2008.
- ANDRADE, M. **Introdução à estética musical**. São Paulo: Hucitec, 1995.
- AZEVEDO, A. V. **Teatros e auditórios**: acústica e arquitetura. Rio de Janeiro: H.Sheldon, 1994.
- BARRIENTOS, M. I. G. G.; QUALHARINI, E. L. Retrofit de construções: metodologia de avaliação. In: I Conferência latino-americana de construção sustentável, 2004, São Paulo. In: X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** São Paulo: Antac, 2004. 11p.
- BEZERRA, I. M. T. O. **Conforto ambiental no processo de reutilização de edifícios históricos tombados**. Campinas, 2003. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- BISPO, A. C. M.; OITICICA, M. L. G. R.; TELES, V. R. Qualidade acústica em um teatro: Estudo de Caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais ...** Maceió:UFAL, 2005.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- BRASIL, Lei 11769, 18 de agosto de 2008 . Altera a Lei no 9.394, de 20 de dezembro de 1996, Lei de Diretrizes e Bases da Educação, para dispor sobre a obrigatoriedade do ensino da música na educação básica. Distrito Federal, **Diário Oficial da União**, 2008.
- BRASIL, Ministério do Trabalho. NR 15: atividades e operações insalubres. Distrito Federal, **Diário Oficial da União**, atualizado 2011.
- BRASIL. Lei 8313: Lei Rouanet de Incentivo à Cultura. Diário Oficial da União, Distrito Federal, **Diário Oficial da União** 1991.
- CARDOSO, B.; MASCARENHAS, M. **Curso Completo de teoria musical e solfejo**. São Paulo: Irmãos Vitale, 1996.
- COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

CROITOR, E.P.N. **A gestão de projetos aplicada à reabilitação de edifícios**: estudo da interface entre projeto e obra. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CUNHA, E. S. **Compreender a escola de música como uma Instituição**: um estudo de caso em Porto Alegre – RS. (Tese Doutorado em música) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo: Nobel, 1982. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.

FREIHEIT, R. Solving acoustic problems in rehearsal rooms. In: **SBO Magazine**, abril, 2002. Disponível em: <<http://www.sbomagazine.com/7542/archives/april-2002/upfront-solvingacoustic-problems-in-rehearsal-spaces/>>. Acesso em: abr. 2012.

FUCCI AMATO, R. Canto coral como prática sociocultural e educativo-musical. In: **Opus**, Goiânia, v. 13, n. 1, p. 75-96, jun. 2007.

GIMENEZ, A; LACATIS, R; CERDÁ, S.; et.al. Historical and Chronological evolution of the concert hall acoustics parameters. **Journal Acoustics. Society of. America**. 123, 3198 (2008)

GRANADO JR, M. V. **Acústica Arquitetônica**: Subsídio para projetos de salas para palavra falada (Teatro de palco italiano). São Paulo, 2002. Tese (Doutorado em Arquitetura)-

HIDAKA, T.; BERANEK, L.; et.al. Acoustical design of the Tokyo Opera City concert hall, Japan. **Journal Acoustics. Society of. America**. Vol.107,340-354. 2000.

HODGES, D. A.; MACE, S. T.; PHILLIPS, S. L.; SHOEMAKER, J. Environmental factors in susceptibility to noise-induced hearing loss in student musicians. In: **Medical problems of performing artists**, n23, p20, 2008.

HUMMES, J. M. Porque é importante o ensino de música? Considerações sobre as funções da música na sociedade e na escola. In: **Revista ABEM**, Porto Alegre, n. 11, setembro, 2004.

IAZZETTA, F. H ; FIGUEIREDO, F. L., MASIERO, B. S. Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical. **Anais do IV Congresso Ibero-Americano de Acústica**, Guimarães, Portugal, CD127 ROM: id83, pp 1-8 (2004).

JEON, J. Y.; SEO, C. K.; KIM, Y. L.; LEE, P. J. Wall difuser designs for acoustical renovation of small performing spaces. In: **Applied Acoustics**, doi:10.1016/j.apacoust.2012.01.003, 2012.

JOLY, I. Z. L. Música e educação especial: uma possibilidade concreta para promover o desenvolvimento de indivíduos. **Revista do Centro de Educação**. Santa Maria, v.28, n.3, 2003.

KÄHÄRI, K.; ZACHAU, G. EKLÖF, M.; MÖLLER, C.. The influence of music and stress on musicians' hearing. In: **journal of sound and vibration**, n 277, p. 627-631, 2004.

KEMP, W. Music education suites. In: **National Clearinghouse for Educational Facilities**, maio, 2000.

KINSLER, L. E.; et al. **Fundamentos de Acústica**. México: Limusa, 1992.

KOSKINEN, H.; TOPPILA, E.; OLKINUORA, P. Facilities for music education and their acoustical design. In: **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**. Vol 16, n 1, 2010.

KRONENBURG, R. Typological trends in contemporary popular music performance venues. In: **Arts Marketing: An international journal**, v.1, Ed.2, p. 136-144, 2011.

KURAKATA, K.; MIZUNAMI, T.; MATSUSHITA, K. Sensory unpleasantness of high-frequency sounds. In: **Acoustical Science and Technology**, n 34, p.26-33, 2013.

LAMBERTY, D.C. Music Practice Rooms. In: **Journal of Sound and Vibration**, n. 69, p. 149-155, 1980.

LEME, G. R.; BELLOCHIO, C. R.. Professores de Escolas de Música: um estudo sobre a utilização de tecnologias. In: **Revista da ABEM**, v.17, p.87-96, setembro 2007.

LIMMESAND, P. K.; SIGMUND, O. Room acoustics in rehearsal rooms and public areas in the new Norwegian National Opera House. In: **Proceedings of 20th International Congress on Acoustics**, ICA, Australia, Sydney, 2010.

LOPES, R. K. **Relações e influências da aplicação da acústica no processo de projeto de arquitetura contemporânea**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil/Arquitetura e Urbanismo) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010).

MARROS, F. **Caracterização acústica de salas para a prática e ensino musical**. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MATRAS, J. **O som**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORD, J. **Architectural Acoustics: Principles and design**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999

MEYER, J. **Acoustics and the Performance of music**: manual for acousticians, audio engineers, musicians, architects and musical instruments maker. Traduzido do alemão para o inglês por Uwe Hansen. Nova York: Springer, 2009.

MORAES, D. Metaprojeto como modelo projetual. In: **Strategic Design Research Journal**, v.3, p. 62-68, maio/agosto, 2010.

MORAES, V. T. F.; QUELHAS, O. L. G. A metodologia do processo de retrofit e os limites da intervenção. In: **VII Congresso Nacional de Excelência em gestão**. ISSN 19849354, agosto, 2011.

MOREIRA, D. C.; KOWALTOWSKI, D.C.C. O programa Arquitetônico. In: KOWALTOWSKI, D. C. C et al. (org) **O processo de Projeto em Arquitetura: da teoria à tecnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

NAPOLITANO, M. **História e Música**. Belo Horizonte: Autêntica, 2002.

NEPOMUCENO, L. A. **Elementos de Acústica Física e Psicoacústica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1994.

NOGUEIRA, F.F. **Análise Paramétrica do Campo Acústico de Escritórios Panorâmicos** (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ORNSTEIN, S.; ROMÉRO, M. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: Nobel, 1992.

ORNSTEIN, S.; BRUNA, G.; ROMÉRO, M. **Ambiente Construído e Comportamento: A Avaliação Pós-Ocupação e a Qualidade Ambiental**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

PEREIRA, L. C. A.; SOEIRO, N.S.; MELO, G.V. Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios: uma comparação entre os softwares Raynoise e Odeon. In: **Anais I workshop vibrações e acústica da região Norte**, Tucuruí, 2011.

PEREIRA, M. C. M.; AMARAL, S. T. Música pela música: a lei 11769/08 e a educação musical no Brasil. In: **Revista eletrônica ETIC**, v.6, No 6, 2010. Disponível em: <<http://intertemas.unitoledo.br/revista/index.php/ETIC/article/view/2455/1979>>., Acesso em: abril 2012.

PEREIRA, T. C. B. et al. Análise das condições acústicas em sala de aula climatizada de ambiente universitário. **Anais Encontro Nacional de Eng. de Produção**. Florianópolis, 2004

PHILLIPS, S.L.; MACE, S. Sound level measurements in music practice rooms. In: **Music Performance Research Journal**, vol. 2, 2008.

POLKKI, V.; LOKKI, T. Visualisation of edge diffraction. In: **acoustics research letters**, DOI 10.1121/1.1605131; jul 2003

POMPOLI, R.; PRODI, N.; FARNETANI, A. A note on the acoustics of orchestra rehearsal rooms. In: **Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics**, ISRA, Austrália, Melbourne, 2010.

QUALHARINI, E.L., Retrofit de construções: metodologia de avaliação. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 10, 2004, São Paulo. Construção Sustentável. São Paulo, 2004.

RADLEY, J.S. Review of objective room acoustics measures and future needs. In: **Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics**, ISRA, Melbourne, Austrália, 2010.

RIBEIRO, R.S.; CARDOSO, I.A.; SANTOS, L.C. A importância da acústica no processo de aprendizagem. In: **Revista Acústica**. 2008.

RIDUAN, O. Designing small practice music room for sound quality. In: **Proceedings of 20th International Congress on Acoustics**, ICA, Austrália, Sidney, 2010

ROCHA, L. S. **Acústica e educação em música: estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto**. (Dissertação de mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RYHERD, E. Acoustic design of music rehearsal rooms. In: **Physics Today**, agosto, Nova Iorque, 2008.

SAMPAIO, J.C.S.; ROMCY, N.M.S.; SOMBRA, P.L.; BARROS NETO, J.P. Modelo de retroalimentação do processo de projeto a partir de informações sobre a satisfação de clientes. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.11, n.4, p. 129-149, out/dez 2011

SANTOS, U. P. et al. **Ruído: Riscos, Patologia e Preservação**. São Paulo: Editora Hucitec, 1994.

SCHMID, A. L. Adequação acústica dos espaços para a música: Seleção de exemplos históricos de música e arquitetura como apoio à aprendizagem. 135.4, Ano 12, julho 2011. In: **Revista Vitruvius**, disponível em <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.135/4008>>. Acesso em: abril 2012a.

SCHMID, A.L. et al. Ensino de música: há salas adequadas? In: **Ciência Hoje**, v. 49, Jan/fev, 2012b.

SILVA, E. **Uma introdução ao projeto arquitetônico**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 1998.

SILVA, M. A. A música e o aprendizado coletivo: princípio da arte com ação efetiva. In: **Revista do Grupo de Estudos e Pesquisa em Ecologia Sonora**. Maranhão, Ed. 3, 2011.

SILVA, Marco Aurélio A. A música e o aprendizado coletivo: princípio da arte com ação efetiva. **Revista do grupo de estudos e pesquisa em ecologia sonora**. Maranhão, Ed. 3, 2011.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica**. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1971.

SKALEDANCE, S.; ZEPIDOU, G.; NESTORA, C. Improving the acoustics for classical musicians. In: **Proceedings of 20th International Congress on Acoustics**, ICA, Australia, Sidney, 2010.

SKALEVIK, M. Reverberation time: the mother of all room acoustic parameters. In: **Proceedings of 20th international congress on acoustics**, ICA, Sidney, Australia, 2010.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M.G.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica**. São Carlos: EdUFSCar, 2011.

SZALAPAJ, Peter. **Contemporary Architecture and the Digital Design Process**. Amsterdam: Elsevier, 2005.

TAKAHASHI, V. F. M. **Influência das características arquitetônicas na qualidade acústica de salas de concerto**. (Dissertação Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

UENO, K.; TACHIBANA, H. Cognitive modeling of musicians' perception in concert halls. In: **Acoustic Science and Technology**, n 26, 2005.

WENGER. **Acoustic problems and solutions for rehearsal rooms**. 2000. Disponível em: <<http://www.wengercorp.com/Construct/docs/Acoustic%20Problems-Solutions.pdf>> . Acesso em: abril 2012.

WENGER. **An acoustic primer for music spaces**. 2003. Disponível em: <<http://www.wengercorp.com/Lit/Wenger%20Acoustics%20Primer.pdf>>. Acesso em: abril 2012.

WENGER. **Build us into your plan**. 2010. Disponível em: <<http://www.wengercorp.com/Construct/docs/Wenger%20New%20Const%20Brochure.pdf>>. Acesso em: abril 2012

YOSHIDA, J.; CHAKI, Y. Influence of the frequency of sound pressure level on subjective loudness for a certain length of noise. In: **Acoustical Science and Technology**, n 34, p.19-25, 2013.

APÊNDICES

Apêndice A: Modelo dos questionários aplicados

QUESTIONÁRIO						
Data:	Horário:	Gênero:	()Fem. ()Masc.	Idade:	Função:	()Aluno ()Professor
Tempo de experiência:		Instrumento/ canto:				
Sobre as salas da Escola						
Indique, em ordem decrescente, as três melhores salas da escola para prática musical:						
Sala:	Prédio:	Por que:				
Sala:	Prédio:	Por que:				
Sala:	Prédio:	Por que:				
Indique, em ordem decrescente, as três piores salas da escola para a prática musical:						
Sala:	Prédio:	Por que:				
Sala:	Prédio:	Por que:				
Sala:	Prédio:	Por que:				
Sobre a sala que você tem aula agora, durante o período das práticas musicais					Identifique a Sala:	
1. Quando está na sala, as janelas permanecem	() Abertas	Por que:				
	() Fechadas					

(Continua)

(Continuação)

2. Quando está na sala as portas permanecem	() Abertas	Por que:												
	() Fechadas													
3. Cite dois principais pontos positivos da sala	a)													
	b)													
4. Cite dois principais pontos negativos da sala	a)													
	b)													
5. Expresse sua percepção desta sala quanto aos seguintes aspectos (avale dando a nota conforme a escala ao lado):		Avaliação												
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5.1. a aparência do espaço.		Feio												Bonito
5.2. o volume do espaço:		Pequeno												Grande
5.3. à quantidade de móveis:		Poucos												Muitos
5.4. à influência de práticas musicais de outras salas:		Nulo												Intenso
5.5. ao ruído gerado por outras fontes de dentro da escola:		Nulo												Intenso
5.6. aos ruídos provenientes de fora da escola:		Nulo												Intenso
5.7. Como você atribuiria a influência dos itens ao lado na qualidade da sua percepção sonora durante a prática musical:	Piso	Pouca												Muita
	Teto	Pouca												Muita
	Paredes	Pouca												Muita
	Portas	Pouca												Muita
	Janelas	Pouca												Muita
	Móveis	Poucos												Muita
	Geometria da sala	Pouca												Muita

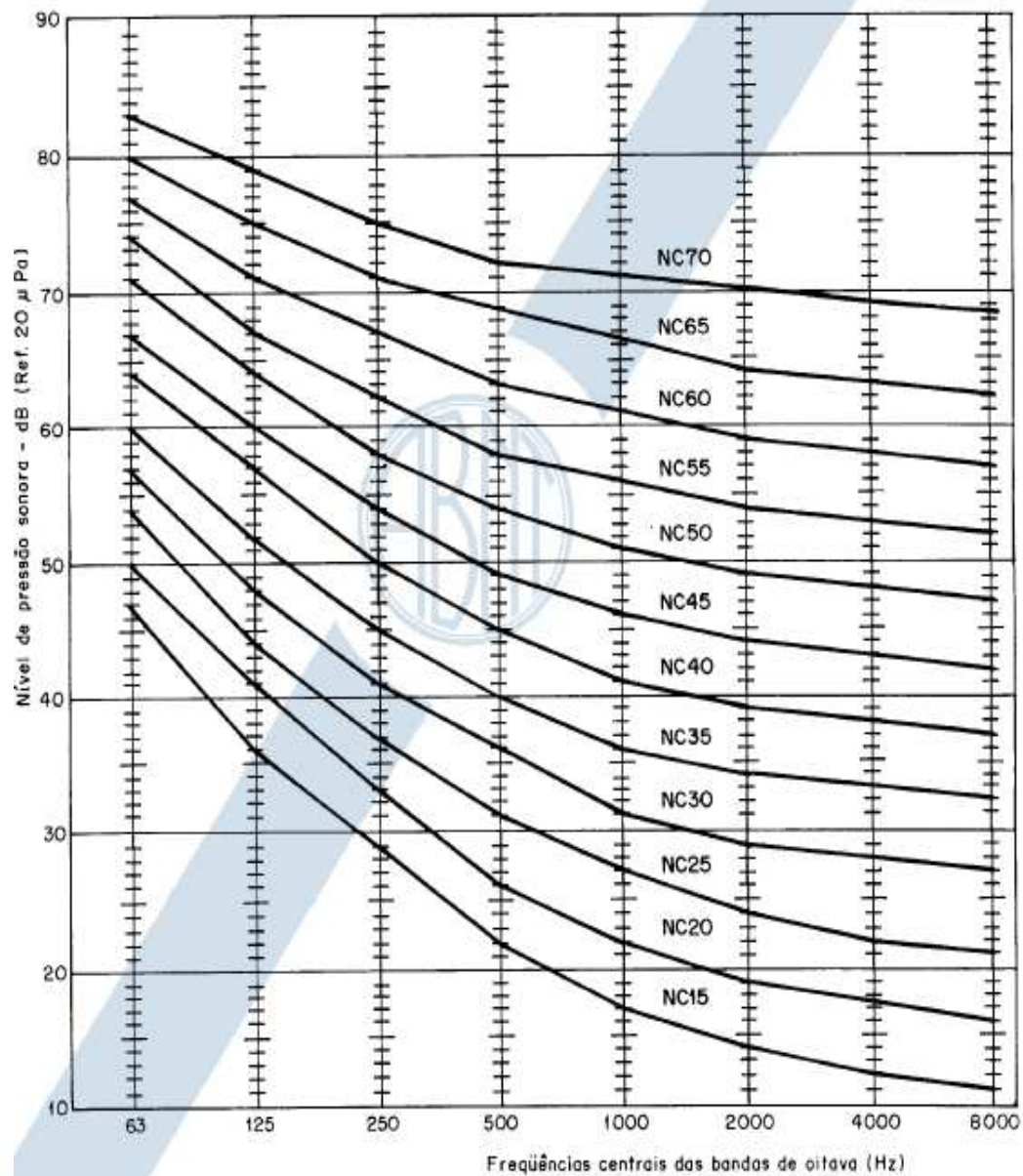
(Continua)

(Continuação)

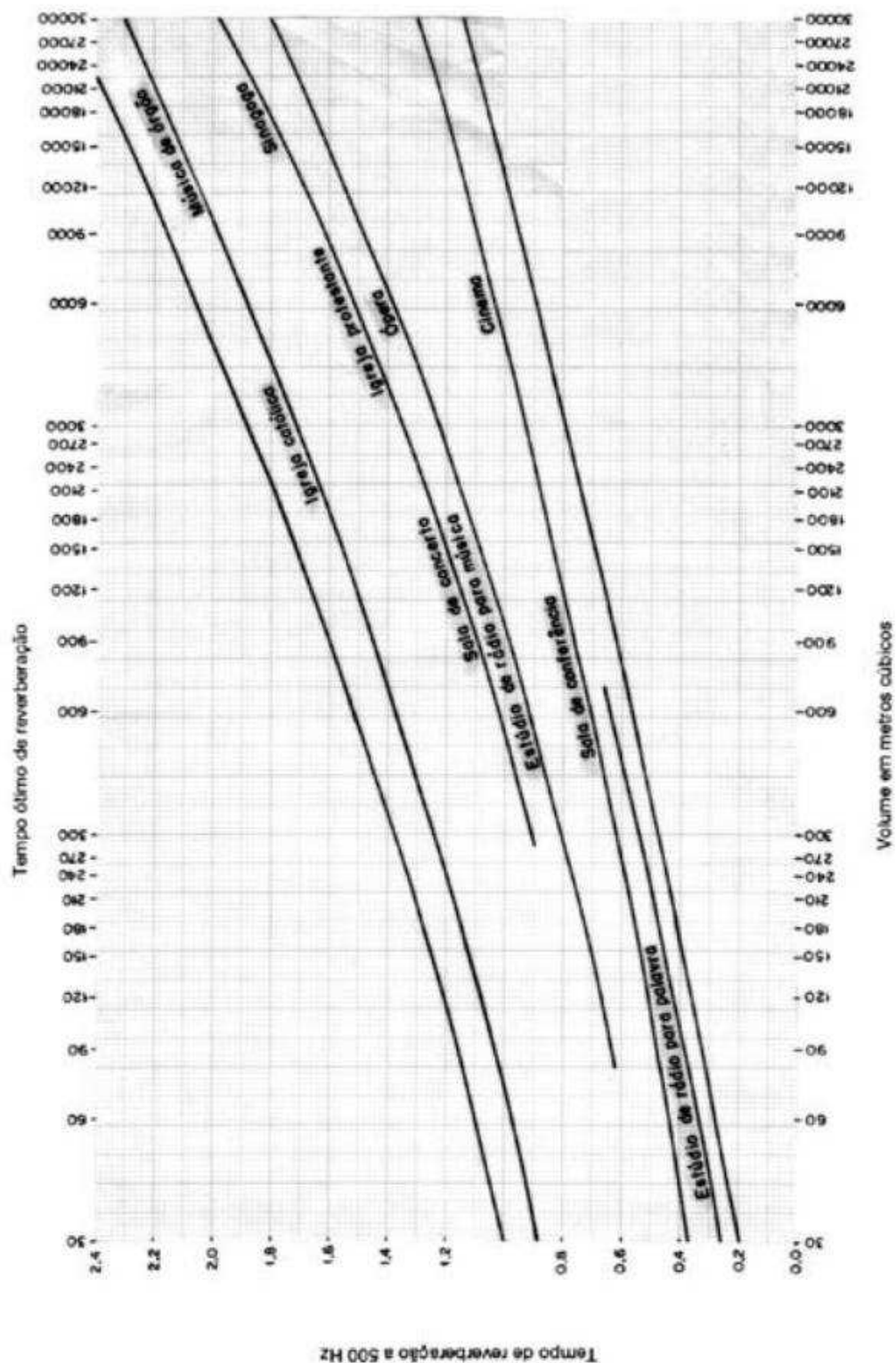
5.8. Como você qualificaria a influência dos itens ao lado no isolamento sonoro durante as práticas musicais:	Piso	Pouca													Muita
	Teto	Pouca													Muita
	Paredes	Pouca													Muita
	Portas	Pouca													Muita
	Janelas	Pouca													Muita
	Móveis	Pouca													Muita
5.9. Qualifique o comportamento do som na sala de acordo com:	Ritmo	Ruim													ótimo
	Dinâmica	Ruim													ótimo
	Percepção do timbre	Ruim													ótimo
	Entrosamento entre músicos	Ruim													ótimo
5.10. Qualifique a sala quanto aos seguintes atributos de som:															
Reverberação na sala		Seca													Viva
Percepção (realce, dosagem) de sons graves		Ausência													Excesso
Presença de sons agudos		Pouca													Muita
Percepção da articulação e separação das notas		Péssima													Ótima
Audição do som que sai diretamente dos instrumentos		Péssima													Ótima
Uniformidade de distribuição do som na sala		Disforme													Uniforme
Impressão do tamanho da sala pelo som		Pequena													Grande

ANEXOS

Anexo A: Curvas de avaliação de ruído – NBR 10152



Anexo B: Tempo de Reverberação ótimo – NBR 12179 (ABNT, 1992).



Fonte: Bolt Beranek and Newman

