

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas

**Avaliação da vibração das pregas vocais e inteligibilidade
de fala sob a influência de diferentes características
acústicas de salas de aula**

Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo

Projeto de Tese a ser submetido à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Max de Castro Magalhães
Co-Orientadora: Prof. Dra. Juliana Nunes Santos

Belo Horizonte
2015

R114a

Rabelo, Alessandra Terra Vasconcelos.

Avaliação da vibração das pregas vocais e inteligibilidade de fala sob a influência de diferentes características acústicas de salas de aula [manuscrito] / Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo. – 2015. vi, 91 f., enc.: il.

Orientador: Max de Castro Magalhães.

Coorientadora: Juliana Nunes Santos.

Tese (doutorado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 77-91.

Bibliografia: f. 71-76.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Cordas vocais - Teses. 3. Acústica - Teses. I. Magalhães, Max de Castro. II. Santos, Juliana Nunes. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 624(043)

**"AVALIAÇÃO DA VIBRAÇÃO DAS PREGAS VOCAIS E INTELIGIBILIDADE DE FALA
SOB A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE SALAS DE
AULA"**

Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Doutor em Engenharia de Estruturas".

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Max de Castro Magalhães
DEES - UFMG (Orientador)

Profa. Dra. Juliana Nunes Santos
UFVJM (Coorientadora)

Prof. Dr. Marcelo Greco
DEES - UFMG

Prof. Dr. Estevam Barbosa de Las Casas
DEES - UFMG

Profa. Dra. Ana Cristina Cortês Gama
FONO - UFMG

Prof. Dr. Eduardo Bauzer Medeiros
DEMEC - UFMG

Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli
UNICAMP

Belo Horizonte, 21 de agosto de 2015

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos

A Deus, por permitir tantas bênçãos em minha vida e por me rodear de pessoas de bem.

Ao Prof. Max Magalhães pela orientação, pelos grandes ensinamentos a mim passados, por toda atenção e dedicação durante toda a elaboração deste trabalho e pela compreensão nos meus momentos de dificuldade.

À Prof. Juliana Nunes pelo incentivo e exemplo de garra, dedicação e fé acima de tudo. Por todo cuidado e auxílio durante toda a pesquisa e por estar sempre disponível.

À Prof. Ana Cristina Cortes pelo auxílio na pesquisa e por todos ensinamentos.

Ao Prof. Estevam Las Casas por me incentivar a buscar o doutorado, pelo seu exemplo de competência e por sempre apoiar nossos projetos e nos contagiar com sua alegria.

Aos meus pais, que são minha maior fonte de inspiração, dedicação e amor, por sempre me apoiarem e me encorajarem a correr atrás de meus sonhos.

Ao meu esposo Diogo, por todo amor e companheirismo, por me incentivar e fazer acreditar que tudo sempre é possível.

Ao meu irmão Gustavo, por todo carinho, companheirismo e por me alegrar sempre.

Aos colegas da pós graduação pela amizade e por dividirem comigo aprendizados, dificuldades e vitórias.

Aos profissionais e alunos das escolas participantes da pesquisa e às voluntárias que participaram das avaliações por doarem um pouco do seu tempo com todo carinho e compreensão.

À bolsista Ana Carolina Fonseca por seu companheirismo e por não medir esforços para auxiliar na pesquisa.

À Capes pelo auxílio e concessão da bolsa de estudos. À Fapemig pelo auxílio financeiro na compra de materiais de pesquisa.

RESUMO

Objetivo: O principal objetivo desta pesquisa é avaliar a inteligibilidade de fala e a vibração de pregas vocais sob a influência de diferentes características acústicas de salas de aula.

Metodologia: estudo transversal descritivo com análise do desempenho de estudantes em teste de inteligibilidade em 18 salas de aula de 9 escolas públicas do município de Belo Horizonte e avaliação de voz de mulheres na faixa etária entre 22 e 50 anos. Foi realizada medição dos parâmetros acústicos de Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}), Ruído de Fundo (L_{90}), Tempo de Reverberação (T_{30}) e STI (*Speech Transmission Index* ou Índice de Transmissão da Fala). Foi aplicado um teste de inteligibilidade de fala em 273 estudantes das 18 salas de aula avaliadas, com média de idade de 9,4 anos, sendo 45,4% do sexo masculino. Os resultados do teste de inteligibilidade de fala foram relacionados aos valores dos parâmetros acústicos por meio do teste T de Student. Foi também realizada análise do uso da voz com e sem a presença de ruído em sala de aula por meio da investigação dos seguintes parâmetros vocais: Dose cíclica, Frequência fundamental, Nível de intensidade da voz e Porcentagem de fonação. A amostra de mulheres para avaliação vocal foi constituída de 30 mulheres com idade entre 22 e 50 anos. Foi utilizado para coleta de dados o medidor vocal VoxLog, composto por um microfone, um acelerômetro fixado no pescoço da participante e de uma unidade portátil que armazenou os dados fonatórios no período de duas horas.

Resultados: O ruído de fundo (L_{90}) variou de 45,6dB(A) a 64,3dB(A) e o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) das salas de aulas vazias e mobiliadas variou de 54,5dB(A) a 70,4dB(A). O tempo de reverberação, a partir da média das frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz, variou de 0,69s a 2,09s. O STI variou de 0,47 a 0,70. As crianças apresentaram melhores resultados no teste de inteligibilidade de fala nas salas de aula com menor ruído, menor tempo de reverberação e maior STI, sendo essas associações com significância estatística ($p < 0,05$). Os parâmetros vocais: Dose cíclica, Frequência Fundamental, Nível de intensidade da voz e Porcentagem de fonação tiveram seus valores aumentados na presença de ruído.

Conclusão: A maioria das salas de aula não atendeu às recomendações das normas regulamentadoras para bom desempenho acústico. Pôde-se perceber também que os parâmetros acústicos influenciaram diretamente a inteligibilidade de fala dos estudantes, sendo que o ruído contribuiu para diminuição da compreensão da mensagem oral, o que pode trazer consequências negativas para o percurso escolar e inserção social do futuro profissional. Além disso, o grande esforço vocal identificado por meio dos resultados da análise vocal evidenciam que o ruído excessivo e as condições acústicas inadequadas podem trazer consequências negativas para a saúde vocal dos indivíduos expostos. Novas medidas de controle de ruído e orientação para alunos e professores quanto à diminuição do ruído presente nas salas e os cuidados com a voz são indispensáveis. Os efeitos do ruído sobre a voz e a inteligibilidade foram comprovados e devem ser evitados.

Palavras-Chave: Acústica; ruído; vibração; inteligibilidade de fala; disfonia; saúde escolar fonação, pregas vocais

ABSTRACT

Aim: The main objective of this study was to evaluate speech intelligibility and the vibration of vocal folds in order to assess the relationship with the acoustical characteristics of classrooms. **Method:** Cross-sectional study with analysis of students performance on tests of intelligibility and vocal production of teachers in 18 classrooms in nine public schools in the city of Belo Horizonte and evaluation of 30 women aged between 22 and 50 years. The acoustic parameters equivalent sound pressure level (L_{eq}), reverberation time (T_{30}) and STI (Speech transmission index) were measured. A speech intelligibility test was performed with 273 students, 45.4% of whom were male, in 9 of the evaluated schools, with an average student age of 9.4 years. The results of the speech intelligibility test were compared to the values of the acoustic parameters by a t-test. The analysis of the use of the voice was performed with and without the presence of noise in the classroom to check the dose parameters, fundamental frequency, voice level, percentage of speech and phonation time. The sample of women to voice assessment consisted of 30 women aged between 22 and 50 years. The vocal VoxLog meter was used in the two-hour period, for data collection. It consists of a microphone, an accelerometer fixed on the participant's neck and a portable unit that stores the data phonation. **Results:** The background noise (L_{90}) varied from 45.6dB(A) to 64.3dB(A). The L_{eq} value of empty and furnished classrooms varied from 54.5dB(A) to 70.4dB(A). The reverberation time, based on the average frequencies of 500, 1.000, and 2.000 Hz, varied from 0.69s to 2.09s. The STI varied from 0.47 to 0.70. Children demonstrated better results in speech intelligibility tests conducted in classrooms with less noise, a lower reverberation time, and larger STI values. These associations were all statistically significant ($p < 0.05$). Vocal parameters of dose, fundamental frequency, voice level, percentage of speech and phonation time had their values increased with the presence of noise. **Conclusion:** The majority of classrooms do not meet the recommended regulatory standards for good acoustic performance. Acoustic parameters have a direct influence on the speech intelligibility of students. Noise contributes to a decrease in their understanding of orally presented information, which can lead to negative consequences for their education and their social integration as future professionals. In addition, the great vocal effort identified by the results of voice analysis show that excessive noise and inadequate acoustic conditions can have negative consequences for the vocal health of exposed individuals. New noise control measures and orientation for students and teachers in terms of decreasing of noise present in the classrooms and take care of voice are essential. The effects of noise on voice and intelligibility were confirmed and should be avoided.

Keywords: acoustics; noise; vibration; speech intelligibility; dysphonia; school health; phonation, vocal cords

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Relação entre os parâmetros avaliados no estudo	24
Figura 3.2: Pontos de posicionamento do microfone nas salas de aula (L_{eq} e L_{90})	26
Figura 3.3: Pontos de posicionamento do microfone nas salas de aula (T_{30})	28
Figura 3.4: Pontos de posicionamento dos balões nas salas de aula (T_{30})	28
Figura 3.5: Sala de aula durante medição do ruído de fundo e L_{eq}	29
Figura 3.6: Medidor de nível de pressão sonora posicionado (medição do ruído de fundo e L_{eq})	29
Figura 3.7: Microfone omnidirecional TIPO 1 BSWA TECH modelo MA 211 durante medição do T_{30} e STI	30
Figura 3.8: Placa NationalInstruments e notebook utilizados para medição do T_{30} e STI	30
Figura 3.9: Pontos de posicionamento dos alunos e autofalante nas salas de aula para teste de inteligibilidade	31
Figura 3.10: Pontos de medição do ruído de fundo	34
Figura 3.11: Coleta de dados de voz de uma das participantes	36
Figura 3.12: Equipamento Voxlog	36
Figura 3.13: Tela do software Voxlog onde são inseridos os dados de cadastro de cada participante para gravação da voz.....	36
Figura 3.14: Tela do software Voxlog onde são apresentados os resultados da análise vocal de cada participante	37
Figura 3.15: Tela do software Voxlog onde são apresentados os resultados da análise vocal de cada participante em gráficos	37
Figura 3.16: Medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2	38
Figura 3.17: Medidor de nível de pressão sonora DEC-490	38
Figura 3.18: Medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2	38
Figura 3.19: Posicionamento dos equipamentos e das participantes durante avaliação de voz.	39
Figura 4.1: Ruído de fundo (L_{90}) medido em salas de aula	43
Figura 4.2: Ruído medido em salas de aula	44
Figura 4.3: Distribuição dos valores de nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte	44

Figura 4.4: Sinal de resposta impulsiva de uma sala de aula, capturado pela placa NI 9233	45
Figura 4.5: Tempo de reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte	46
Figura 4.6: Tempo de reverberação (Média de 500, 1000 e 2000Hz)	47
Figura 4.7: Distribuição dos valores de tempo de reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte	48
Figura 4.8: Speech Transmission Index das 18 salas de aula avaliadas	49
Figura 4.9: Distribuição dos valores de Speech Transmission Index em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte	49
Figura 4.10: Relação entre os valores de Speech Transmission Index e Tempo de Reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte	51
Figura 4.11: Comparação da dose vocal nas 4 situações acústicas avaliadas	60
Figura 4.12: Comparação da frequência fundamental (F_0) nas 4 situações acústicas avaliadas	61
Figura 4.13: Comparação do nível de intensidade nas 4 situações acústicas avaliadas	61
Figura 4.14: Comparação da porcentagem de fonação nas 4 situações acústicas avaliadas ...	62

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 2.1: Valores de STI segundo a norma (IEC 60268-16)	11
Tabela 2.2: Comparação das normas regulamentadoras de acordo com os níveis aceitáveis para os parâmetros acústicos avaliados	12
Tabela 4.1: Dados geométricos das 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)	42
Tabela 4.2: Ruído de fundo (L90) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)	43
Tabela 4.3: Nível de pressão sonora equivalente (Leq) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)	44
Tabela 4.4: Tempo de Reverberação (T ₃₀) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)	47
Tabela 4.5: Speech Transmission Index (STI) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)	49
Tabela 4.6: Índice de inteligibilidade de fala por faixa etária de 273 estudantes (Belo Horizonte)	52
Tabela 4.7. Associação entre os valores de L _{eq} , T ₃₀ e STI e o resultado dos estudantes no teste de inteligibilidade de fala (Belo Horizonte, 2012)	52
Tabela 4.8. Questionário aplicado aos professores (Belo Horizonte, 2012)	54
Tabela 4.9. Parâmetros vocais nas 4 situações acústicas avaliadas de 27 mulheres sem queixas vocais	59
Tabela 4.10. Correlação entre os parâmetros vocais e as diferentes situações acústicas considerando presença e ausência de ruído	62
Tabela 4.11. Correlação entre os parâmetros vocais e as diferentes situações acústicas considerando presença e ausência de tratamento acústico	63
Tabela 4.12 – Comparação dos resultados de parâmetros vocais em diferentes estudos	66

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1.1 – Descrição do problema.....	3
1.2 – Justificativa e contribuição para o conhecimento.....	4
1.3 – Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivos Específicos	5
REVISÃO DE LITERATURA.....	6
2.1 Introdução.....	6
2.2 Parâmetros acústicos	7
2.2.1 – Ruído de Fundo	7
2.2.2 - Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq).....	7
2.2.3 - Tempo de Reverberação (T ₃₀)	8
2.2.4 - STI (<i>Speech Transmission Index</i>) ou Índice de Transmissão da Fala	10
2.3 - Normas que definem parâmetros de medição e análise de características acústicas de salas de aula.....	11
2.4 - Efeitos auditivos e extra-auditivos do ruído sobre o ser humano	13
2.5–Parâmetros Vocais	17
2.5.1 – Fisiologia vocal.....	19
2.6 – Efeitos do ruído sobre a voz do ser humano	21
METODOLOGIA	23
3.1 –Introdução	23
3.2 – Análise do desempenho acústico de salas de aula	24
3.2.1 – Ruído de Fundo.....	25
3.2.2 – Nível de Pressão Sonora Equivalente (L _{eq})	25
3.2.3 – Tempo de Reverberação (T ₃₀).....	26
3.2.4 – Índice de Transmissão da Fala ou <i>Speech Transmission Index</i> (STI).....	29
3.3 Avaliação qualitativa da percepção do ruído pelos professores	30
3.4 Avaliação da inteligibilidade de fala pelos alunos.....	30
3.5– Medição dos parâmetros vocais.....	32
3.6– Análise de Dados	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO	41

4.1–Parâmetros acústicos	42
4.1.1 - Ruído de Fundo (L_{90})	42
4.1.2 – Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})	43
4.1.3 - Tempo de Reverberação.....	45
4.1.4 - <i>Speech Transmission Index</i> (STI) ou Índice de Transmissão da Fala	48
4.2–Testes de inteligibilidade de fala e parâmetros acústicos	51
4.3 – Questionários dos professores	54
4.4 – Avaliação dos parâmetros vocais e sua relação com o ruído	58
CONCLUSÕES	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS.....	71

1

INTRODUÇÃO

O ruído em salas de aula é um tema muito discutido atualmente devido aos riscos à saúde e às possíveis interferências que ele pode causar nas atividades escolares (Dreossi e Momensohn-Santos, 2005, Zwirtes, 2006; Klatte et al, 2010). Sabe-se que situações de aprendizagem adequadas dependem de boas condições acústicas (Oliveira, 2006; Zwirtes, 2006).

O ruído é um fator que interfere na comunicação oral, pois compete com a voz do professor comprometendo a inteligibilidade da fala, sendo capaz de prejudicar tanto os alunos quanto os professores (Dreossi e Momensohn-Santos, 2004). Estes profissionais necessitam aumentar seu volume de voz para serem compreendidos e ao mesmo tempo o esforço dos alunos para compreender a mensagem falada é muito maior (Dreossi e Momensohn-Santos, 2004; Gonçalves et al, 2009). A Organização Mundial de Saúde alerta que um ambiente ruidoso acarreta prejuízos ao desempenho humano e causa danos à saúde geral do indivíduo. Os efeitos observados vão desde fadiga, nervosismo, reações de estresse, ansiedade e falhas de memória até irritabilidade (WHO, 1980).

Entre os danos causados pelo ruído competitivo em sala de aula podem-se citar prejuízos físicos, emocionais e educacionais. Podem ocorrer alterações dos limiares de audição, zumbido, cansaço, esforço maior para concentração, perda de parte do conteúdo ensinado, esforço vocal e ininteligibilidade de fala (Dreossi e Momensohn-Santos, 2004).

É importante conhecer as características do ruído para verificar quais sons de fala podem ser mais prejudicados. Deve-se observar se o ruído é mais agudo ou mais grave, se é intermitente ou contínuo. Ao analisar o ruído que atinge a escola, deve-se observar tanto o ruído externo à edificação quanto aquele advindo do próprio ambiente escolar e da própria sala de aula. Entre os ruídos externos, pode-se citar o ruído de tráfego, locais vizinhos como serralherias, oficinas e feiras. Já como ruído interno pode-se observar atividades de educação física ou recreativas, ruídos de áreas de circulação, ruídos gerados em cozinhas, refeitórios, lanchonetes, ruído ocasionado pelos alunos e professores na própria sala de aula ou em salas vizinhas, ventiladores, ar condicionado, retro-projetores, impressoras, arrastar de pés e carteiras, vozes (Dreossi e Momensohn-Santos, 2005).

Para que consiga aprender, a criança deverá voltar sua atenção para o estímulo principal e desprezar o estímulo competitivo. Para isso, necessita do processamento auditivo das informações recebidas (Dreossi e Momensohn-Santos, 2005). Ou seja, não basta ter os limiares para audição dentro da normalidade, é necessário que o sinal acústico seja transformado em uma mensagem com significado, sendo para isso interpretado e analisado (Ramos e Pereira, 2005). O ruído pode ser muito prejudicial em todo este processo da audição e compreensão do que é dito em sala de aula.

Em relação ao professor, no dia a dia de trabalho, muitas situações o levam ao uso inadequado e abusivo da voz o que pode causar distúrbios vocais (Alves et al, 2009). Em artigos de revisão de literatura relata-se que os fatores que podem influenciar no adoecimento vocal podem ser ambientais (o ruído, a poeira, pó de giz e a fumaça) e organizacionais (excesso de cobrança no trabalho e falta de material), associados a situações de estresse, despreparo vocal em um contexto desfavorável, pouco conhecimento sobre os cuidados com a voz e os fatores relacionados ao próprio professor e sua saúde (problemas respiratórios, influências hormonais, idade, medicações, tabagismo, falta de hidratação) (Ferreira et al, 2009; Alves et al, 2009). Todas essas condições podem levar o professor ao uso inadequado e abusivo da voz, comprometendo sua saúde vocal e podendo levar a disfonias (Alves et al, 2009).

A realidade no Brasil mostra que os aspectos acústicos da edificação não são considerados nos projetos de construção, muitas vezes por problemas de financiamento, e quando são necessárias ações corretivas posteriores, estas sempre têm custos mais elevados e soluções mais difíceis. Além disso, a legislação sobre a acústica das edificações escolares no

Brasil ainda é muito inexpressiva e valores mínimos exigidos para os parâmetros acústicos geralmente não são cumpridos ou mesmo fiscalizados pelos órgãos responsáveis.

Muitos dos problemas do ruído em sala de aula podem ser maiores devido à acústica inadequada da sala. Parâmetros acústicos como o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), tempo de reverberação e STI (*Speech Transmission Index* ou Índice de Transmissão da Fala) podem ser utilizados para avaliar se uma sala está dentro dos padrões ideais para uma boa condição acústica para a aprendizagem.

Para que novas medidas sejam tomadas e legislações mais específicas para salas de aula sejam criadas, são necessários estudos científicos que comprovem a real situação das salas de aula brasileiras. Alguns estudos já vêm sendo realizados no Brasil, no entanto, se limitam à medição de alguns parâmetros acústicos, sem relacioná-los à performance do estudante ouvinte aprendiz e do professor.

A investigação de fatores relacionados ao processo de ensino-aprendizagem e aos distúrbios vocais dos professores pode auxiliar no planejamento de ações por parte de gestores, educadores e fonoaudiólogos, já que muitas queixas de dificuldades na aprendizagem ou de problemas vocais podem ser agravados ou ocasionados pela exposição ao ruído excessivo (Nascimento e Lemos, 2012).

Sendo assim, a presente pesquisa avaliou as características acústicas das salas de aula, assim como a interferência destas características na produção vocal dos professores e na compreensão de fala dos estudantes.

1.1 – Descrição do problema

Percebe-se nos últimos tempos, alunos com dificuldades escolares e o processo de aprendizado prejudicado, ao mesmo tempo, professores que se queixam de sintomas vocais devido ao esforço vocal, com carga adicional de estresse no ambiente de trabalho (Gonçalves et al, 2009). Sendo assim, a relação entre as condições acústicas das salas de aula, inteligibilidade de fala e esforço vocal dos professores deve ser melhor investigada. Novas pesquisas que relacionam o ruído com o desempenho de alunos e professores são necessárias, pois as pesquisas anteriores realizadas em escolas brasileiras geralmente não mostram a relação entre todos estes fatores: o ruído, a inteligibilidade de fala dos alunos e o esforço vocal dos professores quantificado através da medição dos níveis de vibração das pregas vocais. Para se investigar a fundo o ambiente escolar e as consequências do ruído para os

indivíduos expostos, é necessário o levantamento de todos esses aspectos correlacionados. Os professores apresentam muitas queixas vocais que, se forem melhor avaliadas durante seu período de trabalho, poderão ser melhor solucionadas. Necessita-se de um olhar mais criterioso sobre o ambiente escolar para se verificar a real influência do ruído sobre alunos e professores, e buscar soluções para os impactos do ruído sobre os mesmos.

1.2 – Justificativa e contribuição para o conhecimento

A presente pesquisa investigou as condições de ensino-aprendizagem de forma objetiva, avaliando tanto os alunos quanto os professores sob a influência das características acústicas das salas de aula. Os estudantes participaram de avaliações da inteligibilidade de fala, realizadas por meio de investigações qualitativas (questionários) e quantitativas (medição do índice de transmissibilidade da fala - STI). Já os parâmetros vocais dos professores foram avaliados por meio dos níveis de vibração de suas pregas vocais “in situ”. Finalmente, todas essas avaliações podem ser relacionadas com as características acústicas do ambiente, ou seja, da sala de aula. A investigação e correlação desses fatores é uma novidade que certamente irá contribuir para o conhecimento e melhoria das condições de trabalho dos profissionais da educação e aprendizagem dos alunos.

Este tipo de avaliação geralmente é feita em laboratórios acusticamente tratados apenas simulando o ruído da sala e os professores geralmente só são avaliados objetivamente em clínicas de fonoaudiologia. Além disso, o equipamento utilizado para avaliação da vibração das pregas vocais é uma novidade nos estudos de fonoaudiologia e acústica no Brasil, o que permitirá uma avaliação mais aprofundada dos aspectos vocais dos professores e sua relação com o ruído da sala de aula. Devido à grande demanda vocal, a dose vocal que sobrecarrega o sistema de voz dos professores deve ser avaliada e quantificada. No presente estudo, os participantes foram avaliados na sala de aula, possibilitando conhecer o ambiente e o ruído a que todos estão expostos e como esses fatores interferem nas atividades e na fadiga vocal dos professores para que novas ações de abordagem do problema possam ser propostas.

1.3 – Objetivos

O principal objetivo deste projeto foi avaliar a inteligibilidade de fala dos estudantes e diferentes parâmetros vocais de mulheres sob a influência de diferentes características acústicas de salas de aula.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Avaliar as características acústicas de salas de aula de escolas municipais de Belo Horizonte a partir de identificação das suas características físicas, como geometria, materiais absorvedores, espaços adjacentes, e medição de parâmetros acústicos como o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), ruído de fundo (L_{90}), tempo de reverberação (T_{30}) e *Speech Transmisson Index* (STI) ou Índice de Transmissão da Fala.
- Avaliar o desempenho dos estudantes em testes de compreensão de palavras que avaliam a inteligibilidade de fala nas salas de aula.
- Analisar a percepção dos professores em relação ao ruído presente em sala de aula.
- Verificar a relação entre os resultados das medições dos parâmetros acústicos e o desempenho dos alunos nos testes de inteligibilidade.
- Verificar a relação entre os resultados das medições dos parâmetros acústicos e a percepção do ruído pelos professores.
- Avaliar dose vocal cíclica, frequência, intensidade e porcentagem de fonação de mulheres em sala de aula e verificar possível relação com as características acústicas das salas de aula.
- Verificar a interferência do ruído na voz de mulheres e sua relação com sintomas vocais autorreferidos.

2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Introdução

Para a produção de qualquer som existem dois requisistos indispensáveis que são uma fonte de energia e um elemento vibratório (Zemlin, 2000). A maioria das atividades humanas envolve vibração e entre elas pode-se incluir a fala (Rao, 2008). Neste caso, a principal fonte de energia é o ar que vem dos pulmões. O fluxo de ar então se transforma em som em quase todos os locais do trato vocal a partir das pregas vocais. Os indivíduos conseguem falar devido à vibração das pregas vocais e demais estruturas do trato vocal (Zemlin, 2000). A vibração compõe-se de movimentos que se repetem, ou seja, movimentos oscilatórios (Rao, 2008). As vibrações geradas pelas pregas vocais têm três parâmetros que podem ser analisados: frequência, intensidade e duração. Quando a fala é produzida, as vibrações do trato vocal vão se modificando nas estruturas que vão desde as pregas vocais até a abertura da boca (Zemlin, 2000).

Quando a voz ou qualquer outro som é produzido em uma sala de aula, ocorrem vários fenômenos que dependem da acústica da sala e a dissipação do som vai depender da sua forma, da correta propagação do som, do volume e do material das superfícies que a compõem (Bistafa, 2006).

O som em um local fechado chega até o ouvinte de forma direta e também de forma indireta, após reflexões que sofre ao incidir sobre as superfícies do local. Como o percurso do

som refletido é maior, ele demorará mais tempo para atingir o ouvinte e não será tão intenso quanto o som direto (Bistafa, 2006).

Em um ambiente de ensino é muito importante o controle do nível de ruído, pois a voz do professor deve ser claramente ouvida, devendo estar acima do ruído de fundo. Um aumento do ruído de fundo causará maior mascaramento da fala e diminuirá a inteligibilidade (Building Bulletin 93, 2004).

O som da fala na conversação resulta, normalmente, em um nível de pressão sonora de cerca de 60dB, à distância de um metro à frente do falante. Quando o indivíduo fala o mais alto possível, sem forçar a voz, este nível sobe para 70dB. Ao gritar, a voz é emitida em torno de 80dB (Building Bulletin 93, 2004).

2.2 Parâmetros acústicos

No presente trabalho foram considerados os seguintes parâmetros para caracterização da acústica das salas de aula:

2.2.1 – Ruído de Fundo

O parâmetro L_{90} é um nível estatístico e é muito utilizado para representar o ruído de fundo. O parâmetro de nível estatístico faz o cálculo da porcentagem do tempo em que determinado nível sonoro foi excedido durante o período de medição. O L_{90} é o nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição (Bistafa, 2006).

2.2.2 - Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})

O L_{eq} é o nível que representa a quantidade de energia sonora existente em um período de tempo, ou seja, é uma média temporal do nível de pressão sonora em determinado ambiente. Comumente utiliza-se na medição a ponderação A, que corrige os níveis para o resultado se assemelhar à forma do ouvido humano perceber o som - $L_{eq}(A)$. A escala então será designada dB(A), para diferenciar do nível sem ponderação, dado por dB. O nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) é dado pela fórmula abaixo:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p(t)}{10}} dt \right] (dB), \quad (2.1)$$

em que $L_p(t)$ é o nível sonoro no instante t , e T é o intervalo de tempo de registro. Quando $L_p(t)$ é o nível sonoro A-ponderado, a unidade de (L_{eq}) será dB(A) (Bistafa, 2006).

Quando se encontra o L_{eq} tendo por base medições com um medidor de nível sonoro e se faz N leituras de níveis sonoros em intervalos de tempo iguais, como neste estudo, usa-se a fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right) = 10 \log \left(\sum_{i=1}^N f_i 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right), \quad (2.2)$$

sendo n_i o número de leituras do nível sonoro L_{pi} , e f_i a fração do tempo em que o nível sonoro assumiu o valor L_{pi} , dado por $f_i = n_i/N$ (Bistafa, 2006).

2.2.3 - Tempo de Reverberação (T_{30})

O tempo de reverberação é uma medida do grau de reverberação em um espaço e igual ao tempo necessário para um som decair em 60dB após cessada a fonte sonora (ISO 3382-2, 2008). O tempo de reverberação é expresso em segundos (s). De acordo com a ANSI S12.60-2010 – Part 1, o tempo de reverberação máximo permitido em bandas de oitava nas frequências de 500, 1000 e 2000Hz(s) em espaços de aprendizagem desocupados e mobiliados é de 0,6s em núcleos de aprendizagem fechados com volume $\leq 283\text{m}^3$ e de 0,7s em volumes $>283\text{m}^3$ e $\leq 566\text{m}^3$. Para volumes superiores a estes valores, a norma não apresenta nenhuma exigência em relação ao tempo de reverberação.

O tempo de reverberação é um importante parâmetro acústico para avaliação de salas de aula porque indica a percepção sonora do ouvinte em relação ao ambiente. O tempo de reverberação baixo geralmente é ideal para salas de aula (Yang e Hodgson, 2006) Quando se apresenta com valores elevados, torna-se difícil distinguir os sons e compreender a fala. Isto ocorre porque as sílabas vão se sobrepor e interferir na inteligibilidade (Acoustical Society of America, 2002; Building Bulletin 93, 2004). O tempo de reverberação longo é inadequado para locais como salas de aula, pois o som refletido vai permanecer como forma de reverberação por mais tempo do que o ideal, interferindo no som direto e reduzindo a inteligibilidade (Bistafa, 2006). Além disso, um tempo de reverberação muito longo fará com

que sons indesejáveis como arrastar de cadeiras e movimentos dos pés, também permaneçam por mais tempo na sala, aumentando os níveis de ruído (Klatte et al, 2010). Estudo anterior mostrou que em salas de aula com tempo de reverberação alto, os professores relataram maior incômodo ao ruído interno da sala do que outros ruídos quando comparados a salas com tempos de reverberação médio e curto (Kristiansen et al, 2011).

O tempo de reverberação deve ser ajustado de acordo com o uso do ambiente avaliado. Quando o local é utilizado para a fala necessita-se de um tempo de reverberação mais baixo do que ambientes destinados para a música (Bistafa, 2006). Para caracterizar o tempo de reverberação de uma sala, é necessário considerar várias frequências, mas as mais importantes para a fala são as bandas de frequência de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz.

Para que fosse avaliado o tempo de reverberação (T_{60}) com decaimento de 60dB após cessada a fonte, o nível de pressão sonora necessário para que tal decaimento ocorresse seria muito alto, em ambientes com elevado nível de ruído de fundo, dificultando as medições. Por isso, é muito usual nas medições do tempo de reverberação e também permitido pela norma ISO 3382-2 (2008), a medição de T_{20} (decaimento de 20dB) ou T_{30} (decaimento de 30dB) e depois este valor é extrapolado para o valor do decaimento de 60dB (ISO 3382-2, 2008).

Para obtenção do tempo de reverberação pode-se usar a equação de Sabine, que é uma fórmula empírica (Bistafa, 2006):

$$T_{60} = \frac{0,163V}{A} \quad (2.3)$$

onde T_{60} é o tempo de reverberação (s), V é o volume da sala (m^3), e A é a área de absorção sonora (m^2 Sabine). A é dado pelo produto da área de dada superfície pelo coeficiente de absorção sonora (α) do material.

Pode-se observar, a partir da equação (2.3) acima, que o cálculo do tempo de reverberação é função de dois parâmetros: absorção sonora e volume da sala. A absorção é determinada pelo tipo de material que compõe a sala e seus coeficientes de absorção.

A absorção sonora de Sabine é expressa por (Bistafa, 2006):

$$A = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n = \sum_{i=1}^n S_i \alpha_i \quad (2.4)$$

onde A é a absorção da sala (m^2 Sabine), S_n é a área de superfície interna de determinado material “n” (m^2) e α_n é o coeficiente de absorção de determinado material “n”.

Para a medição do tempo de reverberação é necessário um impulso que pode ser gerado a partir de uma fonte omnidirecional com ruído constante ou pode-se utilizar fontes de ruído explosivo, como estouro de balões ou tiro de arma. Os balões são frequentemente utilizados pela sua portabilidade e baixo custo. Foi realizado um estudo por Pätynen et al (2011) para avaliar a efetividade do estouro do balão para medição de parâmetros acústicos. Os autores avaliaram o estouro de sete diferentes modelos de balão do tamanho médio, em diferentes cores e foi analisada a repetibilidade dos estouros. Os balões foram enchidos normalmente pela boca, por um único indivíduo treinado musicalmente para instrumentos de sopro. Foram definidos o diâmetro e tensão da superfície do balão com margem de erro de 1 cm. Foram avaliados o espectro de radiação e diretividade do impulso. Foram estourados mais de 160 balões numa câmara anecóica usando um microfone esférico. Os resultados se mostraram com desvio maior do que o exigido pela ISO 3382-2 (2008) apenas nas frequências abaixo de 500Hz, em relação à diretividade. Além disso, apenas os balões maiores apresentaram resultados de acordo com a norma na banda de oitava de 1000Hz. Sendo assim, na presente pesquisa, procurou-se usar balões grandes.

2.2.4 - STI (*Speech Transmission Index*) ou Índice de Transmissão da Fala

O STI (*Speech Transmission Index* – índice de transmissão da fala) é uma medida que varia de 0 a 1 e é usado para expressar a qualidade de transmissão da fala em relação à inteligibilidade em um canal de transmissão de fala. O STI pode ser medido na sala de aula principal desocupada e ser ajustado para o STI da sala ocupada, em diferentes posições na sala de aula durante atividades variadas em salas de aula adjacentes (Greenland e Shield, 2011).

O STI é um parâmetro acústico que define a inteligibilidade da fala em um ambiente a partir de uma avaliação subjetiva que varia de 0 a 1 de acordo com a classificação da norma IEC 60268-16 (2011) mostrada na Tab. 2.1 abaixo:

Tabela 2.1: Valores de STI segundo a norma (IEC 60268-16)

Valor de STI	Qualidade da inteligibilidade da sala
0,75 a 1	Ótimo
0,60 a 0,75	Bom
0,45 a 0,60	Razoável
0,30 a 0,45	Ruim
0 a 0,30	Inaceitável

2.3 - Normas que definem parâmetros de medição e análise de características acústicas de salas de aula

A ANSI S12.60-2010 - American National Standard: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools, 2010 é uma norma americana organizada pelo American National Standards Institute (ANSI). Ela define padrões para os parâmetros de nível de pressão sonora equivalente e tempo de reverberação de salas de aula.

A NBR 10152 (1987) foi elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e estabelece procedimentos técnicos para a execução de medições de nível de pressão sonora em ambientes internos às edificações e limites aceitáveis de níveis sonoros de acordo com a funcionalidade do ambiente. No Brasil não há ainda normas regulamentadoras específicas para acústica de salas de aula.

O Building Bulletin 93: “Acoustic Design of Schools – A Design Guide” (2004), documento do Reino Unido sobre design acústico de escolas, elaborado pelo Departamento de Educação de Londres, é baseado nas normas inglesas de acústica (BS EN ISO 140-4:1998; BS EN ISO 717-1:1997; BS EN ISO 140-3:1995; BS EN ISO 20140-10:1992; BS EN ISO 140-7:1998; BS EN ISO 717-2:1997; ISBN 0 11 753 642 3: 2003; BS EN 60268-16:1998; BS EN 60804:2001; BS EN ISO 3382:2000). O Building Bulletin 93 (2004) fornece as metas de desempenho para o cumprimento do Requirement E4 from Part E of Schedule 1 of The Building Regulations 2000. Ele se apresenta como um guia de apoio para a construção de escolas que ajuda a atender os requisitos necessários, desde a escolha da localização até especificações para alunos de ensino especial.

A IEC 60268-16 – Internacional Standard: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (2011) regulamenta os métodos para medição e análise do parâmetro STI (Speech Transmission Index). Foi revisada pela International Electrotechnical Commission (IEC) na Suíça em 2011.

Já a International Standard ISO 3382-2 Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, define a metodologia de medição do parâmetro tempo de reverberação e foi elaborada em 2008 pela International Organization for Standardization (ISO) e publicada na Suíça.

Os parâmetros acústicos avaliados na presente pesquisa têm seus níveis aceitáveis apresentados na Tab. 2.2.

Tabela 2.2: Comparação das normas regulamentadoras de acordo com os níveis aceitáveis para os parâmetros acústicos avaliados.

Documento	L_{eq}	Ruído de Fundo (L_{90})	T_{60}	STI
Building Bulletin 93 (2004) Inglaterra	35dB	-----	Escolas primárias: <0,6s Escolas secundárias: <0,8s nas frequências de 500,1000 e 2000Hz	>0.60
ANSI S12.60 Parte 1 (2010) EUA	-----	35dB(A)	Estes são os valores máximos permitidos: Sala volume <283m ³ : 0,6s Sala volume <566m ³ : 0,7s	-----
NBR 10.152 (1987) Brasil	40 - 50dB(A)	-----	-----	-----
IEC 60268-16 (2011) Suíça	-----	-----	-----	0 a 0,30 Inaceitável 0,30 a 0,45 Ruim 0,45 a 0,60 Razoável 0,60 a 0,75 Bom 0,75 a 1 Ótimo

O parâmetro acústico L_{eq} é regulamentado pelas normas Building Bulletin 93 (2004) e NBR 10.152 (1987). A norma inglesa Building Bulletin determina que o valor aceitável para salas de aula é de 35dB(A), enquanto a norma brasileira NBR10.152 determina o valor de 40 a 50dB(A), sendo que 40dB(A) seria o nível de conforto e 50dB(A) o nível máximo aceitável

para a finalidade. O valor adequado do ruído de fundo também é de 35dB(A) de acordo com a norma americana para salas de aula ANSI S12.60 (2010). Já o T_{30} ideal em escolas primárias e com volume de até 283m³, como é o caso desta pesquisa, é de 0,6s de acordo com o Building Bulletin 93 (2004) e ANSI S12.60 (2010). O STI é regulamentado pela norma IEC 60268-16 (2008), que define uma escala de valores para caracterizar a inteligibilidade de um local de acordo com avaliação deste parâmetro acústico (Tab. 2.2).

2.4 - Efeitos auditivos e extra-auditivos do ruído sobre o ser humano

Quando ocorre exposição a níveis altos de ruído (ruído audível), o primeiro efeito fisiológico decorrente desta exposição é a perda de audição, geralmente iniciando pelas bandas de frequência de 4 a 6KHz. Esta é a mudança temporária de limiar e o nível original de audição geralmente é recuperado. Porém, se a exposição ao ruído é repetida várias vezes, antes mesmo da recuperação do seu limiar original, a perda temporária poderá se tornar permanente e também se ampliar para frequências abaixo e acima da faixa de 4 a 6KHz. Nestes casos as células nervosas do ouvido são danificadas e a perda auditiva se torna irreversível (Gerges, 2000). Existem limites de tolerância ao ruído determinados pela Norma Regulamentadora nº 15 do Ministério do Trabalho (NR15) que determina que em um nível de ruído a 85dB, a exposição é de no máximo 8 horas.

Outro sintoma frequente em indivíduos com perdas auditivas induzidas pelo ruído é o zumbido. Ele se manifesta mesmo na ausência de uma fonte sonora real, gerando este tipo de som (Bistafa, 2006).

Alguns efeitos não auditivos do ruído no corpo humano também são conhecidos como os que se manifestam na função cardiovascular (hipertensão, variações da pressão sanguínea ou dos batimentos cardíacos, alteração do diâmetro dos vasos sanguíneos). Além disso, longos períodos de exposição ao ruído podem causar sobrecarga do coração levando a secreções anormais de hormônios e tensões musculares. Essas alterações no organismo podem se manifestar na forma de mudanças de comportamento como nervosismo, fadiga mental, frustração, prejuízo no desempenho do trabalho. Podem ocorrer também queixas de dificuldades mentais e emocionais que podem levar a irritabilidade, fadiga, mal-ajustamento em situações diferentes e conflitos sociais entre operários expostos ao ruído. Podem ocorrer ainda sobressaltos ou alteração do ritmo da respiração, causados por elevados níveis de ruído. O ruído se torna grande fator de estresse generalizado. Fora do trabalho, podem ocorrer

efeitos relacionados ao sono, conversação, relaxamento, concentração podendo causar algum impacto psicológico e prejudicar a saúde mental (Gerges, 2000; Bistafa, 2006).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde, o nível sonoro de 50dB(A) pode incomodar, porém o organismo consegue se adaptar a esse ruído. A partir de 55dB(A) o ruído pode causar estresse leve e desconforto. A exposição a um nível sonoro de 70dB(A) pode levar a desgaste do organismo e aumentam os riscos de infarto, derrame cerebral, hipertensão arterial, infecções e outras patologias. O nível de 80dB(A) pode levar a liberação de endorfina no organismo o que causa sensação de prazer momentâneo e o nível de 100dB(A) pode levar a perdas permanentes da audição.

Em artigo de revisão de literatura, os pesquisadores relatam que as crianças têm mais dificuldade de compreender a fala no ruído do que adultos e de fazer uso das pistas visuais e auditivas para separação de sinal ruído. Sendo assim, o ruído e a reverberação interferem mais na sua percepção de fala. Além disso, tarefas como memória de curto prazo, leitura e escrita também pode ficar prejudicadas (Klatte et al, 2013).

Alguns trabalhos vêm sendo realizados para avaliação do ruído em salas de aula e sua interferência nas atividades escolares.

Em estudo realizado em João Pessoa (PB) foi verificado o nível de pressão sonora em 37 salas de aula e o desempenho vocal de 37 professores. Destes, 94,6% afirmaram que é necessário aumentar a intensidade de voz para haver inteligibilidade de fala. Os níveis de pressão sonora variaram entre 46,60dB(A) e 87,90dB(A) e o desempenho vocal dos professores esteve entre 49,01 e 83,75dB(A). Os autores concluíram que o baixo rendimento acústico faz com que o professor necessite falar com mais esforço provocando fadiga. Das salas de aula avaliadas, 97,30% encontravam-se fora dos limites exigidos pela NBR 10.152 (Gonçalves et al, 2009).

Foi realizada revisão de literatura sobre os temas processamento auditivo, percepção de fala, acústica em sala de aula e noções básicas de ruído e os autores concluíram que a escola se encontra sob forte impacto de ruídos diversos que se tornam opositores à aprendizagem. Acrescentam ainda que os fonoaudiólogos podem atuar não só no diagnóstico de alterações, mas em programas de conservação auditiva com atuação preventiva (Dreossi e Momensohn-Santos, 2005).

Eniz e Garavelli (2006) afirmam que o ambiente escolar é um local para a produção cultural e formação do cidadão, e pode, muitas vezes, se tornar ruidoso pela própria atividade de alunos e professores. Citam ainda que as crianças em fase de aquisição de linguagem e

escrita são as mais vulneráveis aos efeitos do ruído, pois podem não compreender bem o que foi dito pelos professores. Entre os problemas causados pelo ruído, citam a falta de concentração, baixa produtividade, interferência na comunicação e dificuldades na aprendizagem de crianças e adolescentes. A pesquisa avaliou o ruído em 10 escolas do Distrito Federal e o valor de L_{eq} medido com a sala desocupada durante o período letivo variou entre 50 a 71dB(A) com valor médio de 60dB(A).

Greenland e Shield (2011) avaliaram as condições acústicas de 42 salas de aula de alunos de 5 a 11 anos em 12 escolas primárias do Reino Unido. Quando o ruído foi medido com a sala de aula vazia e a escola também vazia, as salas tiveram L_{eq} menor do que 35dB, como preconizado pelas normas internacionais. Porém, quando o ruído foi medido com a sala de aula vazia e com atividades ocorrendo nas salas adjacentes, observaram grande aumento do ruído. Ressaltaram que a fonte dominante de ruído intrusivo são essas atividades nas demais salas de aula. A média do L_{eq} nesses casos variou de acordo com a atividade nas salas vizinhas, sendo de 47dB durante a aula quando uma pessoa (professor ou aluno) estava dando uma instrução, 53dB quando os estudantes estavam trabalhando independentes, em pares ou em grupos conversando em suas carteiras e 57dB quando os estudantes estavam trabalhando em atividade que incluía movimento em torno das carteiras.

Foi realizado estudo para simular uma sala de aula. Um total de 16 configurações diferentes de campo sonoro foram criadas com diferentes combinações de fala e ruído sendo os valores de diferença fala-ruído de 0 e 5dB e os valores de T_{60} utilizados foram 0; 0,2; 0,4 e 0,8s além de duas posições de fonte de ruído (ruído 1 e ruído 2). Para avaliar a inteligibilidade de fala foi utilizado o “Modified Rhyme Test (MRT)”, que consiste em listas de palavras gravadas por um falante do sexo masculino, que foram tocadas através de fone de ouvido para cada aluno separadamente. Participaram da pesquisa 28 adultos com idade entre 36 e 48 anos. Os resultados mostraram que o tempo de reverberação ótimo foi zero ou próximo de zero quando a fonte de ruído estava mais longe do que o alto-falante. O tempo de reverberação de zero ou maior que zero foi ideal quando a fonte de ruído estava entre o ouvinte e o orador. Quando a diferença fala-ruído é desfavorável, alguma reverberação é necessária para aumentar o sinal de fala (Yang e Hodgson, 2006).

No estudo de Klatte et al (2010) realizado em Oldenburg (Alemanha) foi avaliado o ruído em sala de aula. Foram aplicados testes de palavras e figuras e orientações orais para avaliação da compreensão auditiva em crianças e adultos. As crianças foram mais prejudicadas pelo ruído do que os adultos. Foram simuladas duas salas virtuais com tempos

de reverberação de 0,47s e 1,1s. O Tempo de reverberação não interferiu na percepção de fala no silêncio, mas provocou prejuízos a todas as faixas etárias quando havia ruído de fundo. Já em relação à compreensão auditiva, o ruído prejudicou apenas as crianças e em maior grau no primeiro ano de escolaridade (média e 7 anos) do que no terceiro (média de 8,9 anos). Os testes de fala foram gravados em laboratório com a leitura feita por um orador profissional do sexo feminino. Foram apresentados a 66dB(A) em sala por um alto-falante posicionado na frente da sala simulando o professor (Klatte et al, 2010).

Já em um estudo realizado na Grécia o ruído foi medido em 18 salas do jardim da infância os níveis de ruído para as salas desocupadas variou de 48,2 a 59,6dB(A). Os autores ressaltam que uma melhoria nas condições das salas de aula pode levar a uma melhor acústica e auxiliar a criança a atingir seu potencial máximo de aprendizagem (Chatzakis et al, 2013).

Yang e Bradley (2009) avaliaram crianças do ensino fundamental de escolas do Canadá utilizando testes com material de fala apresentado às crianças com fones de ouvido simulando variações do tempo de reverberação de salas de aula. Seus resultados sugerem que para que crianças do ensino fundamental tenham um ambiente acústico necessário para a inteligibilidade de fala adequada, o tempo de reverberação deveria estar entre 0,3 e 0,9s.

Um estudo com 419 professores de 10 escolas secundárias de Copenhagen (Dinamarca) buscou identificar os fatores determinantes do incômodo causado pelo ruído. As escolas foram selecionadas para verificar os contrastes existentes em relação aos valores de tempo de reverberação. O tempo de reverberação foi classificado como Curto (0,41 a 0,45s), Médio (0,51 a 0,55s) e Longo (0,62 a 0,73). A partir das respostas de um questionário constatou-se que, segundo os professores, os determinantes para o ruído na escola são o alto número de crianças na sala, idade jovem das crianças, baixa senioridade dos professores. Nas salas com tempo de reverberação alto, os professores tiveram score maior de incômodo ao ruído interno da sala do que outros ruídos quando comparados a salas com tempos de reverberação médio e curto. O ruído que mais incomoda os professores é o ruído vindo das crianças na sala e de outras salas de aula ou corredor. A maioria dos professores (60%) classificou o ruído de tráfego como não perturbador. O ruído de ventiladores e outros equipamentos da escola também foi classificado como não perturbador por 54% dos professores (Kristiansen et al, 2011).

Em pesquisa realizada nos prédios didáticos da Universidade Federal do Paraná construídos em épocas diferentes foi medido o tempo de reverberação de cada sala e foram feitas simulações referentes ao tempo de reverberação e STI para verificar a influência de

diferentes materiais de acabamento sobre esses parâmetros. Os pesquisadores concluíram que as salas de aula construídas na década de 60 apresentaram valores de tempo de reverberação mais próximos dos recomendados pelas normas internacionais do que as salas construídas no ano 2000. Nessas últimas a inteligibilidade foi classificada como ruim. As salas mais antigas são muito melhores do ponto de vista da acústica do que as salas construídas mais recentemente (Zannin et al, 2009).

Em avaliação do nível de ruído em 140 salas de aula de 16 escolas de Londres a média do L_{eq} nas salas desocupadas foi de 47,0dB e para as mesmas salas ocupadas foi de 72,1dB. Além disso, foi avaliado o parâmetro de L_{90} e a média para salas desocupadas foi de 36,9dB e das salas ocupadas foi de 54,1dB. O ruído dentro das salas de aula era, em geral, dominado pelo ruído das crianças e depende da atividade desenvolvida (Shield e Dockrell, 2004).

Para avaliar o ruído em salas de aula de escolas e suas consequências para o ensino foi medido o nível de ruído em 5 escolas da Malásia e 44 professores e 150 alunos reponderam a um questionário. Os valores de L_{eq} variaram entre 69,48dB(A) e 74,68dB(A) e foram medidos entre 7:30h e 12:30h. A pesquisa concluiu que o nível de ruído encontrado está além do preconizado pela organização mundial de saúde (35dB(A)) e pode prejudicar o processo de ensino aprendizagem e a saúde humana. Tanto os professores do sexo feminino quanto masculino se mostraram afetados pelo ruído e os alunos do sexo feminino se mostraram mais afetados pelo ruído (Seetha et al, 2008).

Em Santa Catarina 5 salas de aula de escolas estaduais de ensino fundamental foram avaliadas e os resultados mostraram valores de L_{eq} variando entre 56,8dB(A) e 70,5dB(A) e valores de tempo de reverberação para as frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz entre 1,15s e 1,68s (Losso, 2003).

2.5-Parâmetros Vocais

Os parâmetros vocais mais estudados recentemente são definidos como:

- Intensidade (loudness) ou Nível de Voz: é a intensidade vocal, dada em dB. Este aspecto vocal dá a sensação psicofísica de som forte ou fraco. A intensidade vocal média geralmente se encontra em torno de 65dB e depende diretamente da resistência que a glote oferece à passagem de ar (Libardi et al, 2006). A glote pode gerar aumento de pressão subglótica, aumentando a intensidade. (Behlau, 2004).

- Frequência Fundamental (F_0): A frequência fundamental média para mulheres adultas tem uma distribuição média entre 150 e 250Hz. A frequência fundamental é definida como o número de vibrações ou ciclos por segundo (Hz) produzidos pelas pregas vocais, é diretamente proporcional à tensão das pregas vocais ou à pressão subglótica e inversamente proporcional à massa e largura das pregas vocais (Behlau, 2004).

- Porcentagem de Fonação: trata-se da porcentagem de vibração das pregas vocais no tempo de gravação, dada em %, ou seja, a porcentagem do tempo de gravação em que as pregas vocais estiveram em vibração fonatória (Cantarella et al, 2014).

- Dose vocal cíclica ou índice de carga vocal (*Vocal Loading Index*): Definida como a quantidade total de períodos oscilatórios completos realizados pelas pregas vocais em um determinado intervalo de tempo (Carroll et al, 2006), ou seja, o número de ciclos de vibração das pregas vocais, em unidades de mil. A dose vocal ou ciclo de dose é dada pela equação(Rantala e Vilkman, 1999):

$$D_c = \frac{1}{1000} \int_0^{t_m} k_v F_0 dt \text{ ciclos} \quad (2.5)$$

onde k_v é 1 para presença de voz e 0 para ausência de voz e F_0 é a frequência fundamental em Hz. Como o número de ciclos é muito alto, este parâmetro é adaptado para medir a dose em unidade de mil ciclos.

- Dose temporal: A dose temporal D_t , também conhecida como tempo de acumulação vocal, quantifica o tempo que as pregas vocais passam vibrando. Este valor é definido por:

$$D_t = \int_0^{t_p} k_v dt \quad (2.6)$$

onde t_p é o tempo de desempenho, ou seja, o tempo em que o indivíduo utiliza a sua voz, por exemplo, duas horas por dia falando ou cantando.

- Dose da distância vibracional D_d : quantifica a distância total acumulada pelo trato vocal durante vibração. O parâmetro é definido por:

$$D_d = 4 \int_0^{t_p} k_v A F_0 dt \quad (2.7)$$

onde A é amplitude de vibração das pregas vocais no topo e base.

2.5.1 – Fisiologia vocal

As pregas vocais experimentam significativas tensões todos os dias. O esforço mecânico inclui tensão de tração, tensão de cisalhamento, impacto durante a colisão, contração ativa máxima em músculos da laringe, estresse por inércia e aerodinâmico (pressão). Foi estimado o estresse mecânico nos tecidos das pregas vocais e calcula-se que a tensão de tração pode atingir o maior valor (em torno 1,0 MPa), o estresse contrátil é próximo a 100 kPa e estresse aerodinâmico é relativamente pequeno (1-10 kPa). O estresse por inércia e o estresse por impacto são maiores do que o estresse aerodinâmico, e menores do que o estresse contrátil (Titze, 1994).

As maiores tensões mecânicas devido à vibração das pregas vocais são as tensões de tração, que aumentam o pitch (frequência). A maior parte do esforço por tensão ocorre, portanto, em altas frequências (Titze, 1994).

Embora a tensão de tração no sentido ântero-posterior, que ocorre nas fibras longitudinais do ligamento vocal pelo músculo cricotireoideo, seja maior, o estresse que pode causar o maior dano é relacionado às forças de colisão e aceleração associadas com a vibração (Titze, 1994; Carroll et al, 2006). A colisão excessiva e aceleração podem ser responsáveis pelo maior dano tecidual, mesmo não sendo as maiores tensões. Isto porque atuam perpendicularmente ao ligamento, à direção das fibras de sustentação de carga de tecido e são aplicadas diretamente ao tecido da mucosa (Titze, 1994). Desta forma, os tecidos mais macios da lâmina são expostos e absorvem a maior parte do estresse por impacto.

Os nódulos vocais, por exemplo, ocorrem bilateralmente no ponto de tensão máxima de impacto (Titze, 1994). Este tipo de lesão é bastante comum em professores e, geralmente, está relacionado a comportamento vocal inadequado e esforço vocal (Behlau, 2004). Entre os fatores relacionados ao aparecimento de nódulos vocais, pode-se citar uso da voz em grande intensidade ou por longo período de tempo, em frequência fundamental muito grave, em condições acústicas adversas, durante exercício físico, com velocidade de fala aumentada, ataques vocais e ressonância de foco baixo (Behlau, 2004). É muito comum os nódulos aparecerem após um período de alterações no comportamento vocal, com episódios de melhora e piora da voz dependendo do uso vocal.

Pode-se dizer que o estresse aerodinâmico é muito pequeno em comparação com as tensões de tração e tensões máximas de contração dos músculos da laringe e, provavelmente, não representariam risco de dano (Titze, 1994).

Acredita-se ainda que o ligamento proporciona uma espécie de proteção para os demais tecidos das pregas vocais mais propensos a lesões. Pausas realizadas durante os períodos de uso da voz, como por exemplo, para respirar ou deglutir, podem auxiliar na recuperação imediata da musculatura (Titze, 1994; Carroll et al, 2006). Pesquisadores afirmam que, em relação a cantores, fatores genéticos, ambientais e hormonais podem contribuir para uma recuperação mais fácil depois de uma sobrecarga vocal. Porém, mesmo os cantores mais treinados podem sentir cansaço ou sofrer lesões ao longo do tempo (Carroll et al, 2006). O mesmo pode ocorrer em relação ao uso da voz por professores. Variações individuais sempre ocorrem, mas o uso prolongado da voz em grandes sobrecargas, sem os devidos cuidados, geralmente, acarreta em alguma consequência para o sistema vocal do indivíduo. Danos aos tecidos das pregas vocais podem ocorrer a partir de qualquer das tensões mecânicas descritas (Titze, 1994).

Quanto maior a pressão subglótica e a frequência fundamental, maior o estresse por impacto das pregas vocais (Titze, 1994). Isto quer dizer que, quanto mais o indivíduo eleva seu tom de voz, tentando falar com mais intensidade, e eleva também a frequência fundamental, maior é o impacto entre as pregas vocais.

Muitas vezes, o esforço vocal combinado com carga vocal prolongada, pode resultar em desordens vocais. Os distúrbios de voz derivam de uma variedade de condições patológicas, com efeitos que vão desde a uma perturbação suave da qualidade vocal até a perda completa das funções normais da fala. Os professores são uma das categorias mais afetadas por problemas vocais (Carullo et al, 2013). A maioria das desordens vocais são causadas por condições crônicas e recorrentes e ocorrem por uso incorreto da voz ou devido a pobres condições acústicas nos ambientes de uso da voz. O impacto destes problemas vocais pode afetar a comunicação e trazer consequências sociais, profissionais e pessoais (Carullo et al, 2013).

Dados preocupantes têm sido divulgados em relação à prevalência de distúrbios vocais em professores. Nos Estados Unidos, país com maior índice desses distúrbios, o custo social com dos problemas de voz em professores, incluindo dias de afastamento do trabalho e tratamentos, chega em torno de 2,5 milhões de dólares anualmente (Verdolini e Raming, 2001). Pesquisadores de vários países têm percebido alta prevalência de distúrbios vocais em professores em comparação com a população em geral. É a classe profissional que mais procura otorrinolaringologistas por problemas de voz (Verdolini e Raming, 2001). Apesar de já ser conhecido o risco para este tipo de desordem vocal em profissionais que usam sua voz

como instrumento de trabalho, não há ainda nenhuma regulamentação de segurança do trabalho para prevenção deste problema (Gaskill et al, 2012). Ainda são necessários estudos mais aprofundados sobre a dose vocal para determinar, por exemplo, qual seria a dose ocupacional a ser considerada insalubre, a partir de avaliações de tempo, níveis de pitch e loudness, dose vocal (Gaskill et al, 2012). Para que se consiga desenvolver a saúde ocupacional em profissões que exigem o uso da voz, é necessário demonstrar por meio de estudos os distúrbios vocais que vêm ocorrendo, como a voz tem sido usada e a relação destes fatores com o ambiente de trabalho (Rantala et al, 2002).

2.6 – Efeitos do ruído sobre a voz do ser humano

Em um local ruidoso, o falante precisará falar em intensidade mais forte e se esta demanda se torna contínua, pode provocar desgastes nas estruturas responsáveis pela fonação e produzir alterações vocais ao longo do tempo. Podem ocorrer rouquidão e lesão das pregas vocais (Guidini et al, 2012).

A investigação do ambiente de trabalho do professor pode identificar fatores que podem estar provocando as alterações vocais como o nível de pressão sonora durante as atividades (Guidini et al, 2012). Os principais fatores de risco para alterações vocais na prática docente geralmente estão relacionados a condições desfavoráveis no ambiente de trabalho ou ausência de capacitação para uso adequado da voz profissionalmente (Vieira et al, 2007).

Um estudo em Araraquara (SP) observou o ruído medido em salas de primeiro ano do ensino fundamental e avaliou 10 professoras com média de idade de 40 anos. Foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora para medir o ruído sem e com os alunos em sala e também a voz das professoras, que foram gravadas durante 1 minuto de aula expositiva. O ruído nas salas de aula na ausência dos alunos variou de 40,6 a 50,6 dB(A) e na presença dos alunos variou de 45,06 a 65,02 dB(A). Os níveis de pressão sonora da voz das professoras variaram entre 52 dB(A) e 68 dB(A), chegando a 7,48 dB(A) acima do ruído ambiental que foi medido durante as aulas. Os dados da avaliação perceptivo-auditiva da voz das professoras mostraram que 50% delas apresentaram grau moderado de alteração vocal e 20% grau discreto, de acordo com a escala GRBASI. Houve correlação positiva entre os níveis de pressão sonora com e sem as crianças e a intensidade vocal das professoras. Muitas professoras apresentaram vozes alteradas (Guidini et al, 2012).

Estudos já comprovaram a eficiência de novos equipamentos em que a voz do professor pode ser gravada por várias horas durante o uso da voz no trabalho e esses dados são posteriormente analisados. Trata-se de um armazenador vocal portátil que utiliza um acelerômetro para medir a vibração que ocorre no pescoço durante a fonação. O aparelho permite avaliar importantes parâmetros e mecanismos vocais como tempo de fonação, nível de pressão sonora, frequência fundamental e periodicidade (Cheyne et al, 2003; Popolo et al, 2005; Hillman et al 2006; Nix et al 2007). Em um desses trabalhos foram avaliados 99 professores e concluíram que o equipamento é muito eficiente para este tipo de pesquisa, pois consegue mostrar o uso da voz pelo professor (Cheyne et al, 2003). Este equipamento, também chamado de dosímetro, permite avaliar o uso da voz em diferentes profissões, ambientes e situações (Tizte et al, 2007).

Estudos recentes sugerem a avaliação da dose vocal dos indivíduos expostos a grande demanda vocal a fim de avaliar parâmetros relacionados à dose vocal como tempo acumulado de fonação, porcentagem de tempo de fonação, ciclo de dose e distância da dose. O ciclo de dose mede o número total de ciclos de vibração das pregas vocais em um período de tempo. A distância da dose considera tempo, frequência e intensidade vocal e mede a distância viajada pela prega vocal na sua volta para a linha média da laringe em cada ciclo vibratório, ou seja, a amplitude do movimento é calculada e tem-se um acumulado no período de tempo avaliado. Todos estes parâmetros podem ser medidos por um dosímetro. Este equipamento capta a vibração das pregas vocais em um período de tempo em que ele é colocado no pescoço do indivíduo, em contato com a pele, abaixo da proeminência da cartilagem tireoidea (Gaskill et al, 2013).

Como a pesquisa da dose vocal é recente, não se tem ainda parâmetros definidos para a dose vocal típica ou inadequada, o que mais uma vez comprova a necessidade de estudos nesta área. É necessária a investigação em diferentes populações. Conhecer a dose vocal e sua relação com a fadiga vocal de profissionais da voz é importantíssimo para que seja possível promover e preservar a saúde vocal e auxiliar nas pesquisas iniciais desta área de estudo (Gaskill et al, 2013).

3

METODOLOGIA

3.1 –Introdução

No capítulo de metodologia são descritos todos os procedimentos para coleta de dados da pesquisa bem como os equipamentos utilizados. Para uma melhor compreensão de todo o contexto escolar e a interferência do ruído sobre a comunidade envolvida neste ambiente, foram necessárias várias etapas de estudo interrelacionadas. Primeiramente, foi avaliada a parte física, constituída pelas salas de aula e a estrutura da escola. Em seguida, os alunos das salas de aula estudadas foram avaliados a partir de um teste de inteligibilidade de fala para que fosse percebido o quanto os alunos conseguem entender do que os professores dizem em sala de aula. E, finalmente, foi realizado um teste de voz em mulheres da mesma faixa etária das professoras, com diferentes níveis de ruído, para que fosse possível observar o esforço vocal nas diferentes situações acústicas e qual a interferência do ruído na voz. Todas as etapas citadas estão interligadas. O ruído presente no ambiente escolar e a acústica das salas de aula estão intimamente ligadas à compreensão do conteúdo estudado e à saúde vocal dos professores (Fig. 3.1). Os parâmetros acústicos de T_{60} , L_{eq} , L_{90} e STI podem influenciar na inteligibilidade de fala dos alunos e na emissão vocal dos professores o que pode levar a dificuldades escolares e distúrbios vocais.

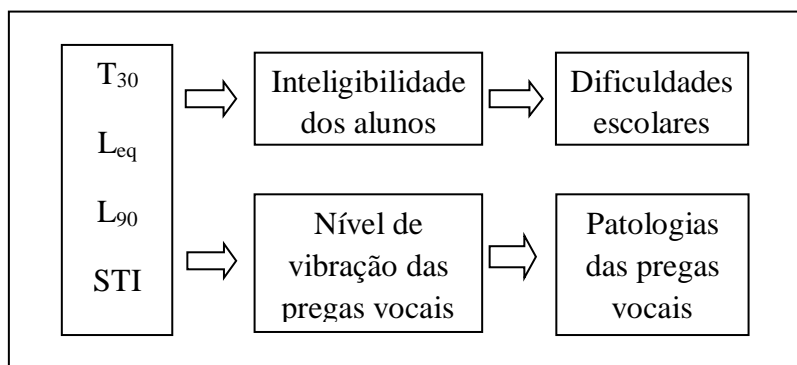


Figura 3.1: Relação entre os parâmetros avaliados no estudo.

3.2 – Análise do desempenho acústico de salas de aula

Trata-se de estudo transversal descritivo com análise do desempenho acústico de salas de aula do município de Belo Horizonte. Foram selecionadas 9 escolas da rede pública do município de Belo Horizonte. As escolas foram escolhidas buscando-se diferentes características de construção, localização em diferentes regiões da cidade e em diferentes tipos de via (rua, avenida, rodovia). Buscou-se abranger diferentes situações encontradas nas escolas do município. Em cada escola foram avaliadas duas salas de aulas. A amostra foi constituída por 9 escolas e 18 salas de aula.

Foi feito contato com representantes da Secretaria Municipal de Educação e diretores das escolas para apresentação do projeto, seus objetivos e repercussões. O gestor local concordou com a realização do estudo no município e assinou carta de autorização para a realização da pesquisa nas escolas municipais de Belo Horizonte (Anexo 1). O estudo foi aprovado pela Secretaria Municipal de Educação e pelo Comitê de Ética e Pesquisa da UFMG sob o Protocolo 352/2012. Os responsáveis pelas crianças convidadas a participar do estudo e os professores que responderam ao questionário assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (Anexo 2 e 3) concordando em participar.

A acústica das salas de aula foi avaliada a partir de observação das características das salas e medição dos seguintes parâmetros acústicos: Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}), Ruído de Fundo (L_{90}), Tempo de Reverberação (T_{30}) e Índice de Transmissão da Fala ou *Speech Transmisson Index* (STI). Os instrumentos utilizados nas medições estavam com seus certificados de calibração dentro do prazo de validade e foram transportados para os locais de medição em caixas especiais. Todos os parâmetros acústicos foram medidos pela própria pesquisadora sob supervisão do engenheiro professor orientador.

Para os parâmetros acústicos foram utilizados os critérios descritos a seguir.

3.2.1 – Ruído de Fundo

O ruído de fundo (L_{90}) foi medido durante 1 hora em intervalos de 1s. Foi utilizado medidor de nível de pressão sonora digital com data-logger da marca Instrutherm modelo DEC-490 (Figs. 3.5 e 3.6). As medições foram realizadas nas bandas de frequências de oitavas de 63Hz a 8KHz. As medições foram feitas com as salas de aula vazias e mobiliadas, com atividades escolares ocorrendo normalmente nas salas de aula adjacentes. O medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1,2m do chão, 0,5m de objetos móveis e 1m das paredes e objetos fixos (Fig. 3.2) (ANSI S12.60, 2010). Foi escolhida a posição de fundo da sala próximo à janela, considerada a pior situação ou o local mais ruidoso da sala. Para escolher a posição de maior nível de ruído, vários pontos foram testados. Utilizou-se curva de ponderação A e equipamento no modo *fast* (ANSI S12.60, 2010).

3.2.2 – Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})

O L_{eq} foi medido utilizando um medidor de nível de pressão sonora digital com data-logger da marca Instrutherm modelo DEC-490 com microfone tipo 2 (Figs. 3.5 e 3.6). As medições foram realizadas nas frequências de 63Hz a 8KHz, em intervalos de 1 seg entre as medições, com as salas de aula vazias e mobiliadas, com atividades escolares ocorrendo normalmente nas salas de aula adjacentes. Foram coletados os dados durante 1 hora e o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1,2m do chão, 0,5m de objetos móveis e 1m das paredes e objetos fixos (ANSI S12.60, 2010) (Figs. 3.2). Foi escolhida a posição de fundo da sala próximo à janela, considerada a pior situação ou o local mais ruidoso da sala (Fig. 3.2). Para escolher a posição de maior nível de ruído, vários pontos foram testados. Utilizou-se curva de ponderação A e equipamento no modo *fast*. As medições foram baseadas na norma ANSI S12.60. Para análise dos dados foram utilizados os programas Microsoft Excel e SPSS 16.0.

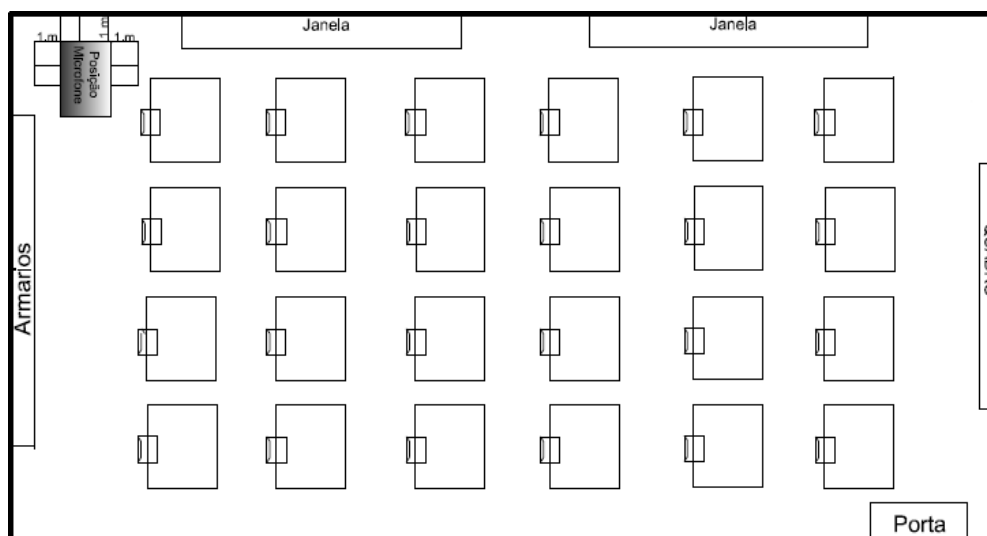


Figura 3.2: Ponto de posicionamento do microfone nas salas de aula (L_{eq} e L_{90})

As medições do ruído de fundo (L_{90}) e L_{eq} foram realizadas em diferentes turnos para se avaliar a maior variação possível de situações de ruído. Durante estas medições foi feita contagem de veículos na via mais próxima para se avaliar a interferência do volume do tráfego de veículos no ruído medido.

3.2.3 – Tempo de Reverberação (T_{30})

O tempo de reverberação foi avaliado utilizando método de ruído impulsivo a partir de estouro de balões em seis combinações diferentes de microfone e fonte, conforme o Método de Engenharia (“Engineering method”) da ISO 3382-2 (2008) e foram analisadas frequências nas bandas de oitava de 125Hz a 4KHz de acordo com o método. O *Engineering method* é utilizado para verificar performance de construções. A norma ISO 3382-2 (2008) permite a utilização de dois métodos diferentes: o ruído interrompido, em que o sinal é emitido por uma fonte omnidirecional, e o método de resposta impulsiva em que pode-se utilizar como fonte do sinal tiros de pistola, aumento repentino de ruído, silvos. Ambos os métodos de medição têm o mesmo valor esperado. Optou-se por utilizar o método de resposta impulsiva com estouro de balões por ser mais prático e rápido, além de ser preciso (Pätynen et al, 2011). O sinal provocado pelo balão deve ser capaz de produzir um nível de pressão sonora que garanta uma curva de decaimento começando em pelos menos 45dB acima do ruído de fundo e estes critérios foram observados durante as medições e análise dos sinais (ISO 3382-2, 2008).

Microfones omnidirecionais tipo I (BSWA TECH modelo MA 211 e PCB - Piezoeltronics) foram utilizados nos testes, posicionados a uma altura de 1,2m do chão (Fig. 3.7). O balão foi estourado a 1,5m do chão, simulando a altura da boca do professor. Os dados foram captados pela placa de aquisição National Instruments (NI 9233/ NI 9234) (filtro anti-aliasing já incluído na placa) utilizando o software Matlab (Fig. 3.8). O conversor A/D utilizado (NI 9233) pode operar com frequência de amostragem (f_s) de até 50.000 amostras/s. O tempo total de medição foi de 4s. Para a captação, utilizou-se janela retangular (que é uma função cujo valor é igual a 1 no intervalo 0(zero) -1(um) e igual a zero fora deste intervalo). Esta função, ou janela retangular, seleciona uma porção do sinal original (pressão sonora em Pa) que será analisado e dá para cada ponto o mesmo peso (ou seja, mesma ponderação). Este tipo de janela é recomendado para os sinais de excitação (impulso) e resposta impulsiva (Bendat e Pierson, 2000).

Foi utilizada taxa de amostragem f_s igual a 25.000 amostras/s, já que a frequência máxima de interesse (f_{max}) foi de 8.000 Hz.

A pressão sonora de excitação (estouro do balão) foi elevada o suficiente, ou seja, bem acima do ruído de fundo. Todo o sistema de aquisição de dados foi calibrado. Após a captação do sinal, o mesmo foi armazenado em um arquivo o qual foi lido pelo software WinMLS para o cálculo do T_{30} . No software WinMLS, as respostas impulsivas foram filtradas em bandas de oitava. Em seguida, curvas de decaimento foram obtidas e o T_{30} calculado (Lundeby et al, 1981; ISO 3382-2, 2008).

Para cada medida o software WinMLS calculou os parâmetros SNR (*signal to noise range*) e EDR (*effective decay range*). Para o cálculo do SNR, a estimativa do ruído de fundo é baseada utilizando o valor final correspondente a 10% da curva da resposta impulsiva. Já o parâmetro EDR, descreve a faixa da curva de decaimento disponível para análise (ISO 3382-2, 2008). Estes coeficientes fornecem importantes informações sobre a qualidade das medições e dos parâmetros calculados (Lundeby et al, 1981; ISO 3382-2, 2008).

As posições de microfone foram escolhidas respeitando as exigências da norma (ISO 3382-2, 2008) que define que o microfone deve estar a uma distância em torno de 1 m de superfícies refletoras incluindo o chão e também não estar próximo da posição do balão para evitar influência do som direto (ISO 3382-2, 2008).

Os pontos de medição utilizados foram (Fig. 3.2 e 3.3):

Posição F1= Fonte (balão) no canto direito ao fundo da sala

Posição F2= Fonte (balão) no canto esquerdo ao fundo da sala

Posição F3= Fonte (balão) no canto esquerdo à frente da sala

Posição R1= Receptor (microfone) no canto esquerdo à frente da sala

Posição R2= Receptor (microfone) no canto direito ao fundo da sala

Posição R3= Receptor (microfone) no canto esquerdo ao fundo da sala

As seis combinações destes pontos de microfone e fonte utilizadas para as medições foram F1R1, F1R3, F2R1, F2R2, F3R2, F3R3.

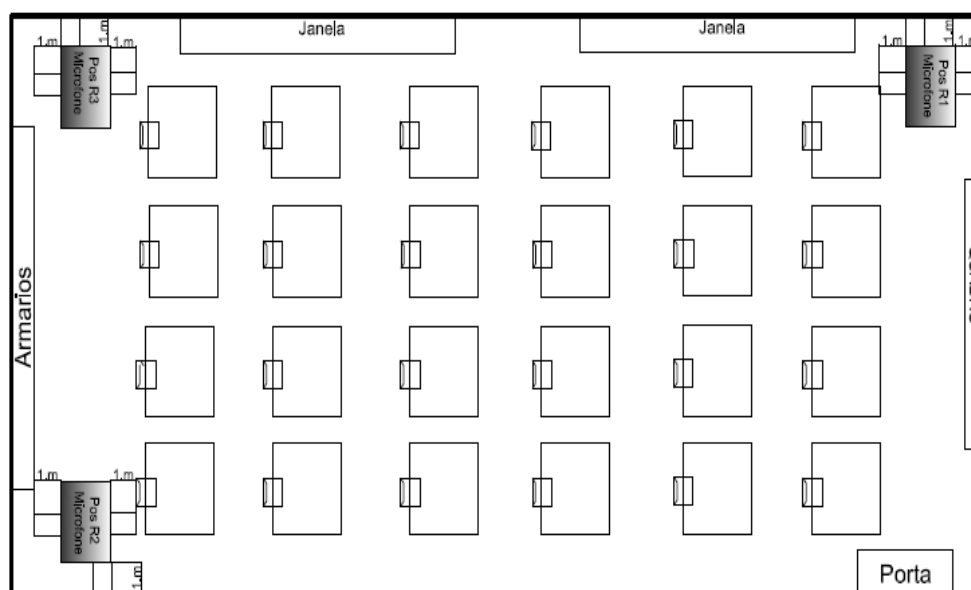


Figura 3.3: Pontos de posicionamento do microfone nas salas de aula (T_{30}).

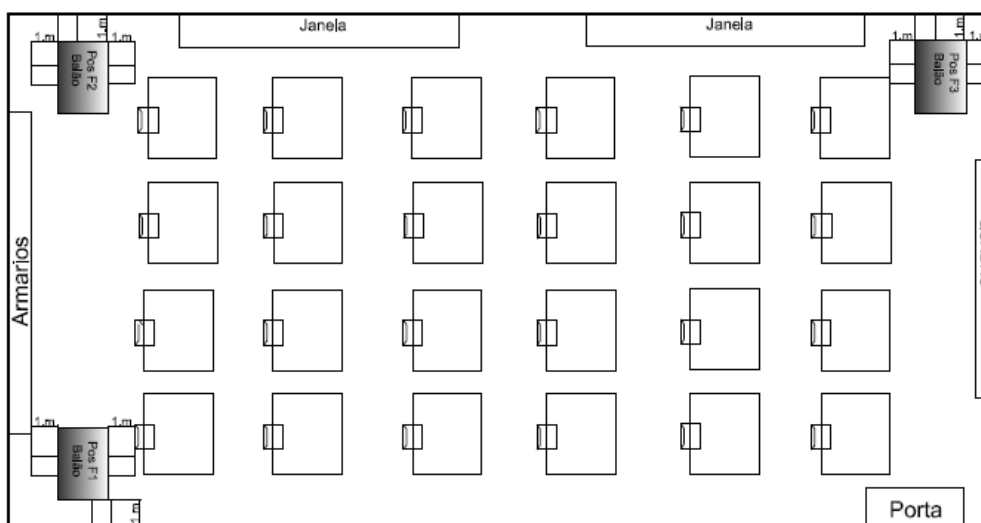


Figura 3.4: Pontos de posicionamento dos balões nas salas de aula (T_{30}).

As medições foram realizadas com as salas e a escola toda vazia, durante os finais de semana. As medições e análises do tempo de reverberação estão de acordo com a norma (ISO 3382-2, 2008).

Optou-se por medir o valor de T_{30} como é habitualmente realizado em medições do tempo de reverberação. Para determinação do T_{30} os valores de decaimento usados são da faixa de 5dB a 35dB abaixo do nível inicial, conforme definido pela (ISO 3382-2, 2008).

3.2.4 – Índice de Transmissão da Fala ou *Speech Transmission Index* (STI)

Para a medição do STI são apresentados pela norma IEC 60268-16 dois métodos: método direto e método indireto. Optou-se neste estudo pelo método indireto que usa a resposta impulsiva para obter a função de transferência de modulação e utiliza a equação de Schroeder (IEC 60268-16, 2011).

A transferência de modulação, que é a base para o STI, pode ser computada da resposta impulsiva de um canal de transmissão, usando o processo conhecido como método Schroeder. Foram avaliadas as bandas de oitava de 125Hz a 8KHz, que devem ser analisadas no método de resposta impulsiva. Os dados foram coletados e armazenados pela placa National Instruments e processados pelo software WinMLS para obtenção do parâmetro STI. Um microfone omnidirecional foi posicionado a uma altura de 1,2m do chão. A fonte foi posicionada no local habitual de fala do professor, na frente das carteiras (Fig. 3.4 e Fig. 3.5). Foram utilizados os mesmos instrumentos para aquisição descritos anteriormente para o parâmetro T_{30} .



Figura 3.5: Sala de aula durante medição do ruído de fundo e L_{eq} .



Figura 3.6: Medidor de nível de pressão sonora posicionado (medição do ruído de fundo e L_{eq}).



Figura 3.7: Microfone omnidirecional TIPO 1 BSWA TECH modelo MA 211 durante medição do T_{30} e STI.

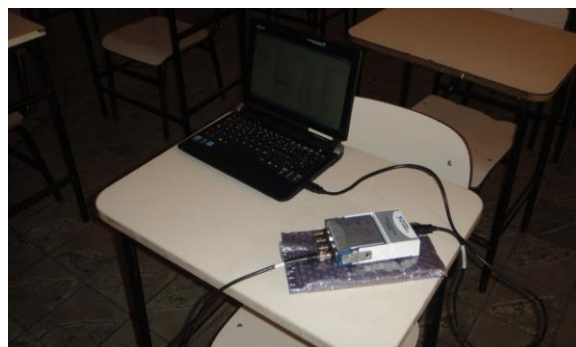


Figura 3.8: Placa National Instruments e notebook utilizados para medição do T_{30} e STI.

3.3 Avaliação qualitativa da percepção do ruído pelos professores

Os professores que lecionam nas salas de aula avaliadas responderam a um questionário com questões relativas ao ruído em sala de aula e sua interferência em atividades do ensino e na saúde do docente (adaptado de Zwirter, 2006; Ferrite et al, 2011) (Anexo 4). Foram excluídos aqueles que estavam de férias, licença saúde ou afastados por diversos motivos no momento da avaliação ou que se negaram a participar da pesquisa. No total, dezesseis professores participaram respondendo o questionário.

3.4 Avaliação da inteligibilidade de fala pelos alunos

A inteligibilidade de fala é a capacidade de reconhecimento pelo ouvinte do sinal acústico emitido pelo orador. Geralmente é expressa em termos de porcentagem e quanto maior o índice, maior é a compreensão do sinal acústico. Valores próximos de 100% são desejados para possibilitar melhores condições de ensino aprendizagem.

Foi aplicado um teste de inteligibilidade de fala nos alunos das salas de aula avaliadas acusticamente. Participaram do estudo 273 estudantes, com média de idade de 9,43 anos e mediana de 9,0 anos, sendo 45,4% do sexo masculino e 54,6% do sexo feminino.

O teste de inteligibilidade foi aplicado aos alunos na própria sala de aula, em escuta dióptica (Fig. 3.9). O teste foi adaptado do teste de IPRF (Índice Percentual de Reconhecimento de Fala), utilizado para realização de audiometria vocal de pacientes. É constituído de uma lista de 25 monossílabos foneticamente balanceados de acordo com os sons da língua portuguesa (Santos e Russo, 1994) (Anexo 5). O material do teste (25 monossílabos) foi gravado em laboratório acusticamente tratado, por um falante do sexo feminino da mesma região e com as mesmas características de fala das crianças

avaliadas, utilizando o programa Audacity. O material de fala foi gravado em cd e reproduzido em escuta diótica, ou seja, os estímulos auditivos foram apresentados nas duas orelhas simultaneamente, sem utilização de fones, por meio de um som estéreo, na intensidade de 65dB, intensidade vocal geralmente utilizada por um professor para falar com os alunos sem esforço vocal (Libardi et al, 2006). Este nível de 65dB foi medido a 1 metro do autofalante.

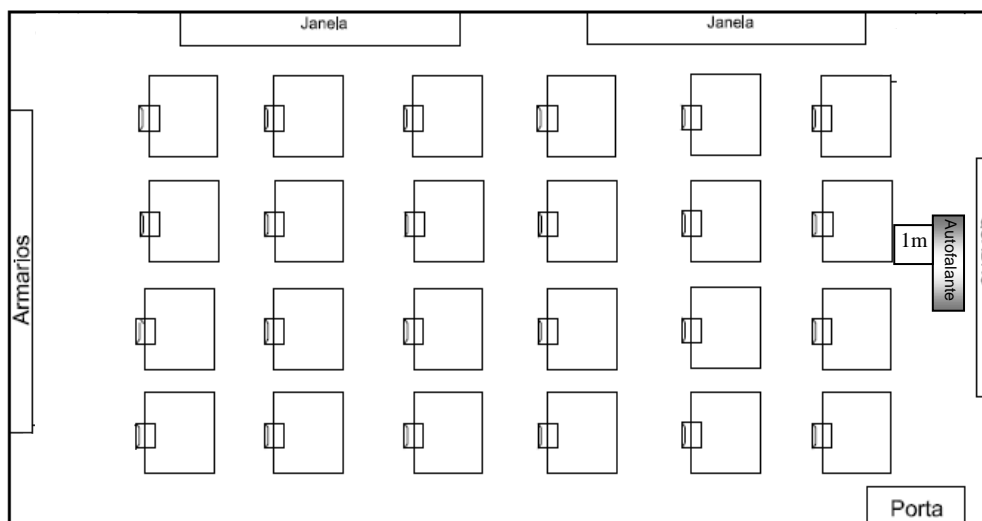


Figura 3.9: Pontos de posicionamento dos alunos e autofalante nas salas de aula para teste de inteligibilidade.

Cada aluno recebeu uma folha de resposta constituída por três listas com 25 monossílabos cada. Ao ouvir o som do monossílabo, as crianças deveriam marcar com um X, em conjunto fechado, com 3 opções de respostas, qual foi o monossílabo ouvido. A partir dos resultados foi calculada a porcentagem de acertos dos alunos no teste e foi criado o índice de inteligibilidade de fala (IIF), para que fossem qualificadas as respostas. O índice foi analisado da seguinte forma:

$$IIF = \frac{N_{(acertos)} \cdot 100\%}{25} \quad (3.1)$$

em que IIF é o índice de inteligibilidade de fala (em porcentagem) e $N_{(acertos)}$ é o número de monossílabos reconhecidos adequadamente pela criança.

Foram excluídas da pesquisa as crianças com déficit de atenção, alteração auditiva, visual ou motora identificados pela professora ou ausência de TCLE.

Foi realizado um estudo piloto em uma sala de aula de uma das escolas participantes do estudo para avaliar a adequação dos instrumentos de coleta de dados da pesquisa e a forma de aplicação dos testes em sala de aula em escuta diótica, e fazer os ajustes necessários. Os testes utilizados são padronizados para utilização em cabine acústica, com fones de ouvido e

escuta dicótica. Na aplicação original, as palavras são ditas pelo avaliador e repetidas pelo indivíduo e a intensidade é regulada a 40dB acima do limiar de audição do ouvinte. No entanto, como neste estudo o objetivo era avaliar o desempenho da criança em meio aos ruídos presentes em sala de aula e em grupo, os testes foram adaptados para este fim.

No teste original os resultados são considerados da seguinte forma: acertos de 92 a 100% considera-se que o indivíduo não tem nenhuma dificuldade para acompanhar conversação; de 80 a 88%, discreta dificuldade; de 60 a 76%, moderada dificuldade; de 52 a 56%, acentuada dificuldade e abaixo de 50%, incapaz de acompanhar conversação (Santos e Russo, 1994).

3.5– Medição dos parâmetros vocais

Foram avaliadas 30 mulheres na faixa etária entre 22 e 50 anos (média de 29 anos). Dessas, 3 foram excluídas da amostra por apresentarem dados com problemas técnicos de gravação só detectados no momento da análise de dados. A amostra, portanto, foi constituída de 27 mulheres. As participantes foram esclarecidas quanto aos objetivos do estudo e repercussões, assim como sobre a voluntariedade da participação e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. A seleção obedeceu aos seguintes critérios:

- Critérios de inclusão: gênero feminino, idade entre 20 e 50 anos, ter como língua materna o Português Brasileiro e residir em Belo Horizonte ou região metropolitana.
- Critérios de exclusão: já ter realizado ou estar em tratamento fonoaudiológico, ser fumante, apresentar qualquer distúrbio evidente da comunicação humana, apresentar queixas auditivas, neurológicas ou respiratórias, apresentar dentição incompleta, estar grávida durante o período de avaliações, apresentar queixa auto-referida de alteração de laringe, gravação de voz apresentar problemas técnicos na análise dos dados.

A amostra de mulheres buscou representar características comuns das professoras de escolas do município de Belo Horizonte (Medeiros et al, 2008). Na literatura, há registros dessa população, constituída de professoras, na sua maioria, com idade entre 30 e 49 anos. Destas, 17% relataram problemas vocais no trabalho nos últimos 15 dias e no mesmo período 3% se afastaram do trabalho por este motivo e 7% procuraram ajuda médica ou fonoaudiológica (Medeiros et al, 2008).

A voz de mulheres foi avaliada no presente estudo para analisar como o ruído do ambiente pode influenciar na dose vocal e nos parâmetros vocais de intensidade e frequência.

O gênero feminino é uma constante entre professores brasileiros, e há maior pré-disposição para alterações vocais em mulheres (Hunter e Titze, 2010). A quantidade de professores do gênero masculino nas escolas de ensino fundamental é muito pequena e os problemas vocais são mais frequentes em mulheres, sendo então definida a composição da amostra por estes motivos. As mulheres avaliadas buscaram representar a população de professoras das escolas municipais de Belo Horizonte.

O estudo foi realizado em duas salas de aula da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com as mesmas dimensões, as quais estão descritas a seguir:

Sala 1: sala de alvenaria, sem tratamento acústico e com ruído de fundo de 43,92dB, sendo este valor a média de 5 pontos de medição na sala vazia e mobiliada. O tempo de reverberação foi de 1,97s, sendo este o valor médio nas frequências de 500, 1000 e 2000Hz. Os valores mencionados são semelhantes aos encontrados nas salas de aula das escolas do município (Rabelo, 2014).

Sala 2: sala tratada acusticamente com material absorvedor (lã de vidro) e teto com inclinações próprias para a melhoria da qualidade acústica, o que faz com que esta sala apresente condições acústicas ideais para um ambiente com finalidade de ensino. O ruído de fundo médio foi de 38,36dB e o tempo de reverberação, foi de 0,51s.

3.5.1 - Medição dos parâmetros acústicos das salas para avaliação de voz

As duas salas de aula onde foram realizadas as avaliações de voz foram escolhidas a partir da medição do ruído de fundo e tempo de reverberação.

O ruído de fundo foi medido durante 1 minuto em 5 pontos diferentes, em intervalos de 1s, na faixa de frequências abrangidas pelas oitavas de 63 a 8000Hz. Foi utilizado medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2, que tem microfone tipo I e capacidade de medir na faixa de frequências abrangidas pelas oitavas de 63 a 8000Hz. As medições foram realizadas de acordo com a norma ANSI S12.60 (2010).

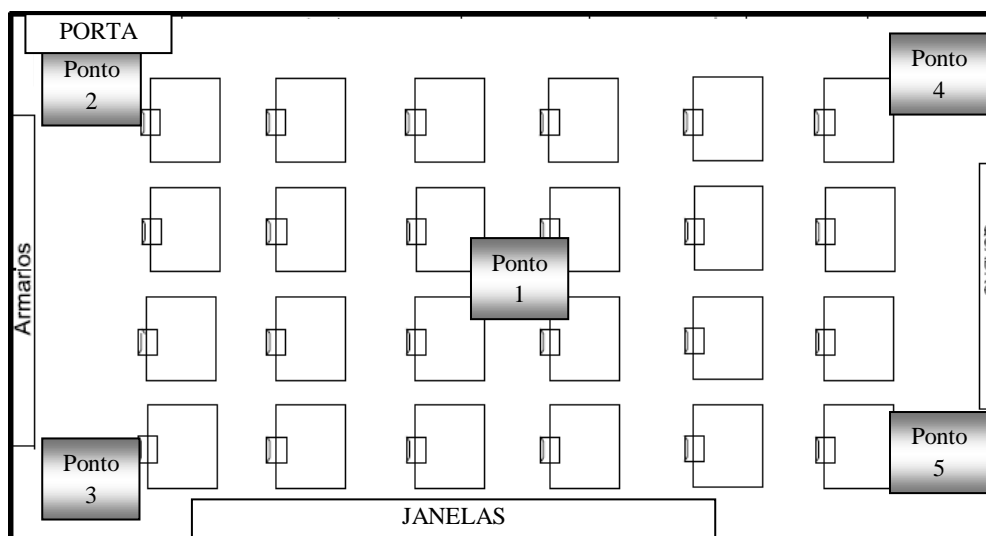


Figura 3.10: Pontos de medição do ruído de fundo.

O tempo de reverberação também foi avaliado utilizando o medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2. Todos os procedimentos estavam de acordo com a norma ISO 3382-2, 2008 que define as formas de medição do tempo de reverberação.

3.5.2 - Situações acústicas para avaliação de voz

Em cada uma dessas salas, foram criadas situações acústicas diferentes para as avaliações:

Situação 1: sala com tratamento acústico sem reprodução de ruído (ruído de fundo ambiente=38,36dB).

Situação 2: sala com tratamento acústico com reprodução de ruído.

Situação 3: sala sem tratamento acústico sem reprodução de ruído (ruído de fundo ambiente=43,92dB).

Situação 4: sala sem tratamento acústico com reprodução de ruído.

O ruído utilizado nas situações 2 e 4 foi gravado nas escolas municipais (em torno de 76,0dB em uma sala ocupada) e reproduzido no momento da coleta de dados utilizando-se uma caixa amplificadora KLH Multimedia Systems C-521. A intensidade do ruído utilizada baseou-se nos valores mensurados previamente nas escolas do município de Belo Horizonte (Rabelo et al, 2014). A caixa de som utilizada foi posicionada a 1,50m de distância da participante, à altura da cabeça, bem à sua frente para que o som chegasse igualmente nas duas orelhas.

3.5.3 - Procedimento de gravação da voz

Cada participante foi avaliada individualmente (Fig. 3.11) nas quatro situações acústicas citadas. Para avaliação, foi utilizado o medidor vocal VoxLog da Sonvox (Fig. 3.12), composto por um microfone, um acelerômetro fixado no pescoço da participante e uma unidade portátil que armazena os dados fonatórios. O medidor foi colocado na região do pescoço, próximo à cartilagem tireoidea, fixado por uma fita adesiva hipoalergênica. Os dados coletados foram analisados no computador por meio de software específico do equipamento (VoxLog) (Figs. 3.13, 3.14, 3.15) e constituem da análise dos seguintes parâmetros vocais:

- Nível de Intensidade: é a intensidade vocal, dada em dB(NPS). O nível de voz foi captado por meio do microfone do medidor vocal VoxLog.

- Frequência Fundamental (F_0): A frequência fundamental é definida como o número de vibrações ou ciclos por segundo (Hz) produzidas pelas pregas vocais (Behlau, 2004). A frequência fundamental foi captada por meio do acelerômetro do medidor vocal VoxLog. Este equipamento estima a frequência fundamental através da *Fast Fourier Transform* (FFT) ou Transformada de Fourier (Carullo et al , 2013).

- Porcentagem de Fonação: é a porcentagem do tempo de gravação em que as pregas vocais estiveram em vibração fonatória, dada em % (Cantarella et al, 2014). A porcentagem de fonação foi captada por meio do acelerômetro do medidor vocal VoxLog.

- Dose vocal cíclica: Definida como a quantidade total de períodos oscilatórios completos realizados pelas pregas vocais em um determinado intervalo de tempo (Carroll et al, 2006), ou seja, o número de ciclos de vibração das pregas vocais, em unidades de mil. A dose vocal foi captada por meio do acelerômetro do medidor vocal VoxLog. Neste equipamento a dose vocal é obtida pela média de uma simples técnica de limiar que permite distinguir quadros vocalizados e não vocalizados (Carullo et al , 2013). A dose vocal ou ciclo de dose é dada pela equação (Rantala e Vilkmán, 1999):

$$D_c = \frac{1}{1000} \int_0^{t_m} k_v F_0 dt \quad \text{ciclos} \quad (3.2)$$

onde k_v é 1 para presença de voz e 0 para ausência de voz e F_0 é a frequência fundamental em Hz. Como o número de ciclos é muito alto, este parâmetro é adaptado para medir a dose em unidade de mil ciclos.

As mulheres foram solicitadas a fazerem a leitura de um texto corrido durante 10 minutos. Foram feitas 4 leituras de 10 minutos, sendo uma em cada situação acústica, totalizando 40 minutos de gravação, com intervalos de descanso de 15 minutos entre as leituras.



Figura 3.11: Coleta de dados de voz de uma das participantes.



Figura 3.12: Equipamento Voxlog.

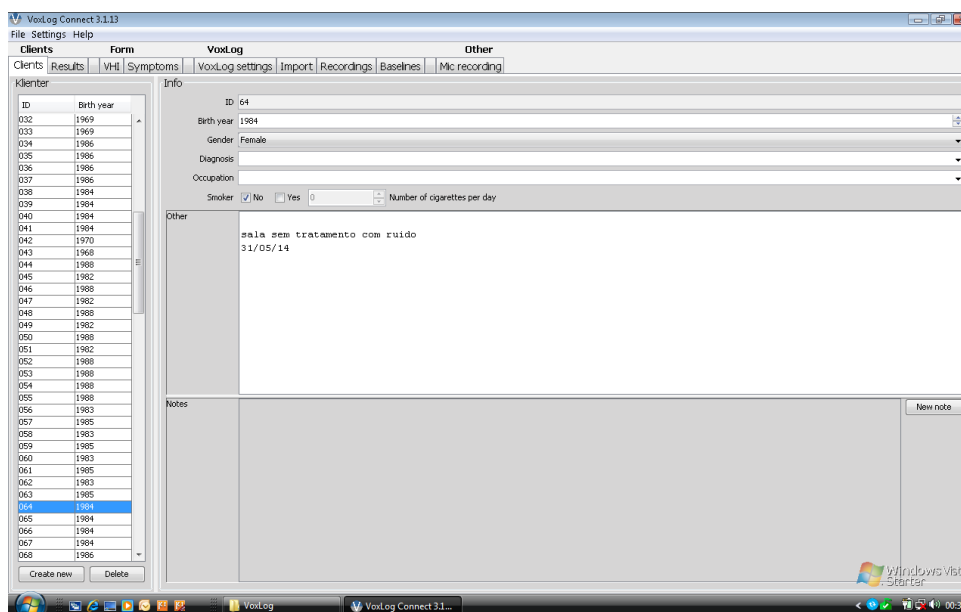


Fig. 3.13: Tela do software Voxlog onde são inseridos os dados de cadastro de cada participante para gravação da voz.

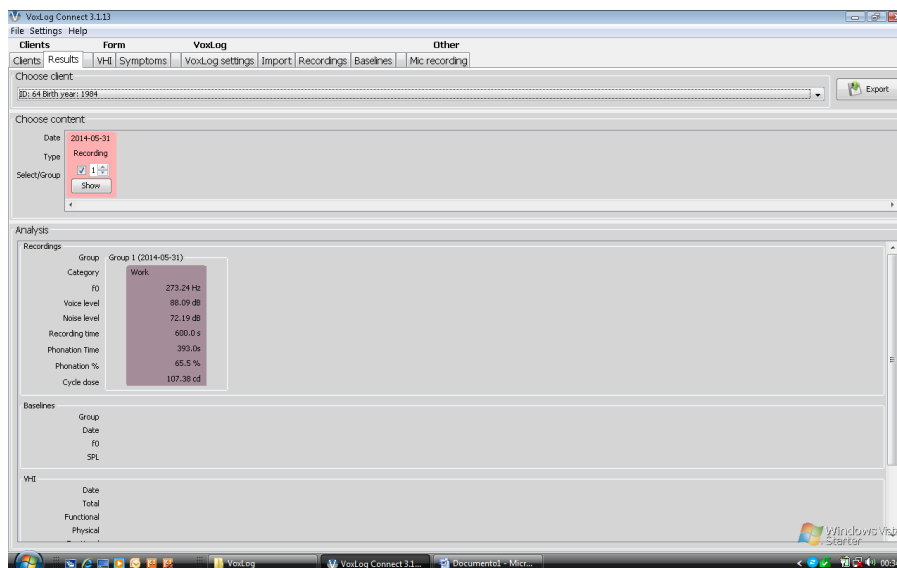


Fig. 3.14: Tela do software Voxlog onde são apresentados os resultados da análise vocal de cada participante.

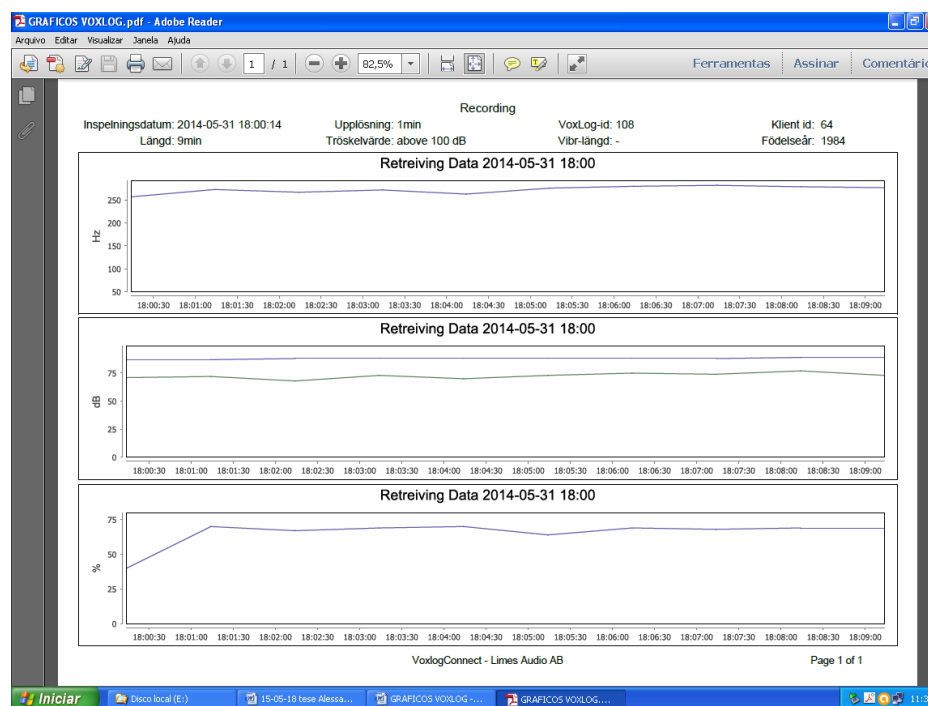


Fig. 3.15: Tela do software Voxlog onde são apresentados os resultados da análise vocal de cada participante em gráficos.

A escolha da situação acústica de início das gravações foi aleatorizada entre as participantes, de modo a se obter variação da ordem de apresentação das quatro situações entre as participantes. A pesquisadora ficou assentada no fundo da sala (posição do ouvinte na

sala) e a participante foi solicitada a fazer a leitura na intensidade vocal que ela julgasse adequada para que a pesquisadora pudesse entendê-la do fundo da sala.

Durante a gravação de voz com o equipamento VoxLog, a voz da participante também foi gravada pelo medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2 (Fig. 3.13, 3.15 e 3.16) que foi posicionado a 40cm da boca para posterior análise da sua voz. O nível de pressão sonora presente no fundo da sala, na posição do ouvinte, também foi gravado por outro medidor de nível de pressão sonora, o DEC-490 (Fig. 3.14 e 3.16), simultaneamente.



Figura 3.16: Medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2



Figura 3.17: Medidor de nível de pressão sonora DEC-490



Figura 3.18: Medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2.

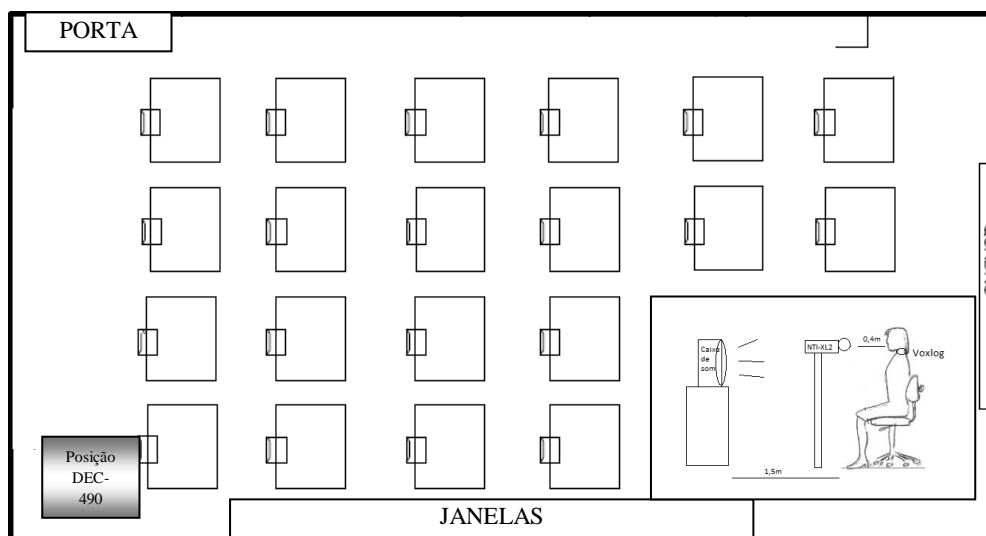


Figura 3.19: Posicionamento dos equipamentos e das participantes durante avaliação de voz.

As mulheres foram orientadas a evitar comportamentos vocais abusivos como gritar, pigarrear ou falar em forte intensidade no dia anterior à coleta de dados e também evitar consumo de caféina, álcool e aspirina dois dias antes. Elas responderam também a um questionário sobre queixas vocais e uso da voz.

3.6– Análise de Dados

Para entrada, processamento e análise quantitativa dos dados, foi utilizado o software SPSS, versão 16.0. Para fins de análise descritiva, foi feita distribuição de frequência das variáveis categóricas envolvidas nas avaliações e análise das medidas de tendência central e de dispersão das variáveis contínuas. Para verificação da distribuição das variáveis quantitativas foi utilizado o teste de normalidade Shapiro-Wilk. O nível de significância considerado foi de 5% ($p < 0.05$). Na análise estatística, foram empregados os testes Qui-quadrado e Exato de Fisher para verificar diferenças entre as proporções, e o teste T de Student para análise de variáveis contínuas.

Para análise dos dados de Nível de Pressão Sonora Equivalente, a variável Leq foi categorizada a partir do valor da mediana de 60dB(A): as salas com ruído médio - até 60dB(A) - e salas com ruído elevado - acima de 60dB(A). Sendo assim, comparou-se os resultados dos estudantes no teste de inteligibilidade de fala das salas de menor ruído - até 60dB(A) - com o desempenho dos estudantes das salas de ruído elevado - acima de 60dB(A). Para análise do tempo de reverberação, essa variável também foi categorizada a partir do

valor da mediana (0,88s), com criação de dois grupos: salas com tempo de reverberação até 0,88s e maior do que 0,88s. As salas foram divididas em dois grupos também para análise do STI: salas com STI menor ou igual 0,65 e salas com STI maior que 0,65, sendo este o valor da mediana.

Para análise dos dados de voz, também foi utilizado o software SPSS, versão 16.0. Foram analisadas as seguintes variáveis, referentes aos parâmetros vocais: nível de intensidade, frequência fundamental (F_0), porcentagem de vibração das pregas vocais no tempo de gravação e dose vocal cíclica das participantes.

Foi verificada também a relação dos parâmetros vocais com o nível de ruído das salas de aula (presença ou ausência de ruído) e as condições acústicas (presença ou ausência de tratamento acústico). Foi realizada investigação da distribuição das variáveis seguida da estatística pareada T de Student para analisar os parâmetros vocais das mulheres investigadas nas diferentes situações acústicas.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação à inteligibilidade de fala, os resultados alcançados buscaram relacionar o desempenho de estudantes em um teste de inteligibilidade de fala aos parâmetros acústicos das salas de aula, o que se deu de maneira pioneira no cenário nacional.

Uma das dificuldades encontradas foi a carência de um instrumento para avaliação da inteligibilidade de fala com ditado de palavras padronizado e validado para aplicação em sala de aula para avaliação em uma situação real de ensino-aprendizagem. Sendo assim, optou-se por adaptar o teste Índice Percentual de Reconhecimento de Fala (IPRF), geralmente realizado em cabine acústica com uso de fones, para aplicação em grupo na sala de aula, tomando os cuidados necessários na gravação e reprodução dos sons para os estudantes.

Foram avaliadas 18 salas de aula de escolas municipais de Belo Horizonte. Os dados geométricos das salas estão apresentados na Tab. 4.1

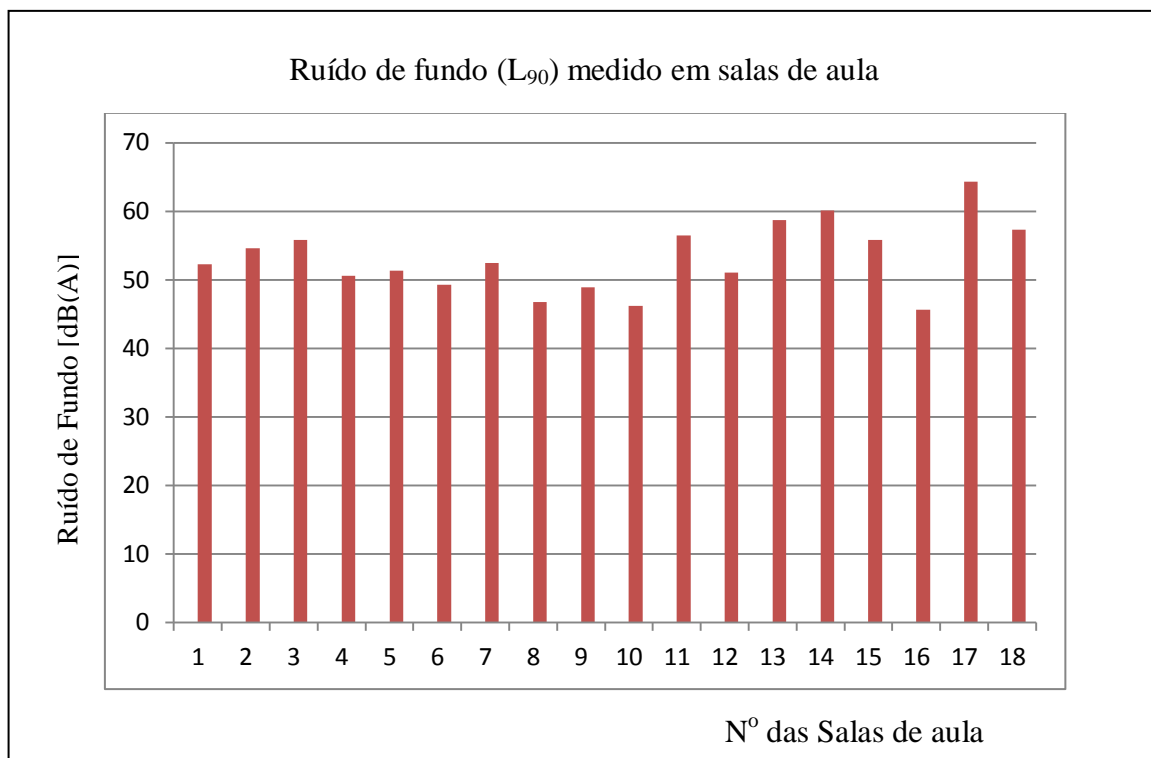
Tabela 4.1: Dados geométricos das 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)

	Área do piso	Largura	Comprimento	Altura	V (m ³)	ΣS (m ²)	V/ ΣS (m)
1	40,19	5,66	7,10	2,66	106,89	148,26	0,72
2	40,19	5,66	7,10	2,70	108,50	149,28	0,73
3	39,92	5,56	7,18	2,67	106,59	147,87	0,72
4	40,54	5,67	7,15	2,68	108,65	149,80	0,73
5	42,60	6,00	7,10	2,72	115,87	156,46	0,74
6	42,48	6,00	7,08	2,7	114,70	155,59	0,74
7	43,57	6,30	7,19	2,69	121,85	159,72	0,76
8	42,60	6,06	7,03	2,71	115,45	156,15	0,74
9	48,64	6,02	8,08	3,20	155,65	187,52	0,83
10	48,04	6,02	7,98	3,20	153,72	185,68	0,83
11	42,74	6,02	7,10	2,95	126,09	162,89	0,77
12	22,20	3,00	7,40	2,89	64,16	104,51	0,61
13	38,91	4,90	7,94	2,77	107,76	148,95	0,72
14	39,65	5,00	7,93	2,84	112,60	152,74	0,74
15	40,47	5,66	7,15	2,66	107,65	149,09	0,72
16	40,83	5,75	7,10	2,65	108,19	149,76	0,72
17	24,76	4,10	6,04	2,67	66,12	103,68	0,64
18	42,96	6,05	7,10	2,70	115,98	156,92	0,74
Média	40,07	5,52	7,26	2,78	112,02	151,38	0,73
Desvio padrão	6,60	0,82	0,48	0,17	22,38	20,72	0,05

4.1–Parâmetros acústicos

4.1.1 - Ruído de Fundo (L₉₀)

O ruído de fundo (L₉₀) foi medido em todas as 18 salas de aula. Os valores obtidos variaram de 45,6dB(A) a 64,3dB(A), com média de 53,2dB(A) (±5,1) e podem ser visualizados na Tab. 4.2 e na Fig.4.1.

Fig. 4.1: Ruído de fundo (L₉₀) medido em salas de aulaTabela 4.2: Ruído de fundo (L₉₀) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)

Sala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
L ₉₀ [dB(A)]	52,3	54,6	55,8	50,6	51,3	49,3	52,5	46,8	48,9	46,2	56,5	51,1	58,7	60,1	55,8	45,6	64,3	57,3

4.1.2 – Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})

O Nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) encontrado nas salas de aula vazias e mobiliadas variou de 54,5dB(A) a 70,4dB(A), com média de 62,2dB(A) (± 4,9). Os valores do nível de pressão sonora equivalente medidos nas 18 salas de aula podem ser visualizados também na Fig. 4.2 e Tab. 4.3.

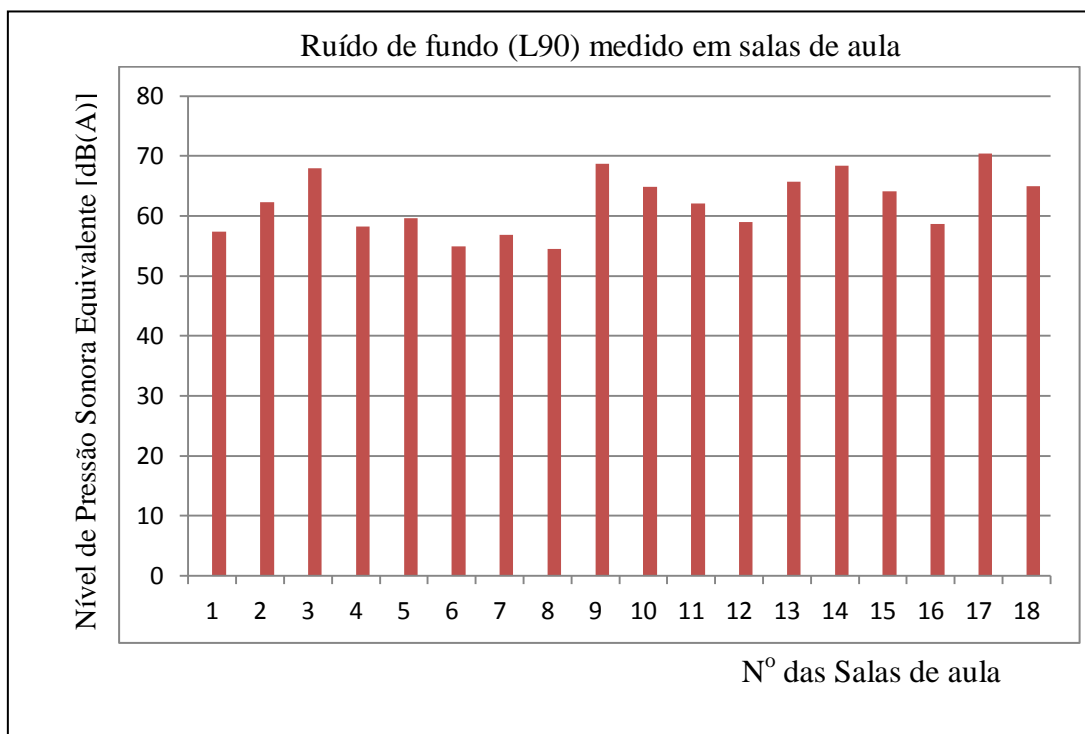


Fig. 4.2: Ruído medido em salas de aula

Tabela 4.3: Nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)

Sala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
L_{eq} [dB(A)]	57,4	62,3	68,0	58,3	59,6	54,9	56,9	54,5	68,7	64,9	62,1	59,0	65,7	68,4	64,1	58,7	70,4	65,0

A distribuição dos valores de nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) pode ser visualizada na Fig. 4.3.

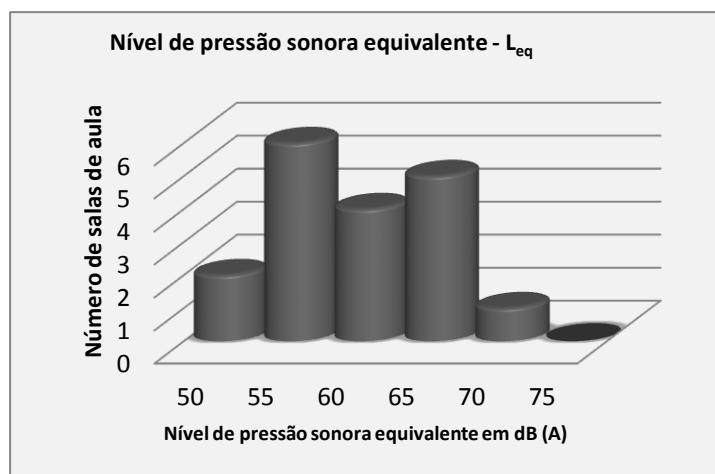


Figura 4.3: Distribuição dos valores de nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte.

No presente estudo, o ruído, ou seja, os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}) encontrados em salas de aula foram superiores ao máximo recomendado pelas normas NBR 10152 (1987), que é de 40 a 50dB(A) e pela ANSI S12.60 (2010) e Building Bulletin 93 (2004) que é de 35dB(A). Os valores do ruído de fundo (L_{90}) também foram elevados. Pode-se dizer que todas as salas avaliadas apresentaram valores acima dos limites aceitáveis nas normas regulamentadoras (NBR 10152, 1987; ANSI S12.60, 2010; Building Bulletin 93, 2004). Este resultado indica que as salas de aula nas escolas avaliadas não fornecem o ambiente ideal para o melhor desempenho dos alunos nas atividades escolares.

Em estudos anteriores em que foi avaliado o nível de pressão sonora equivalente em salas de aula, os resultados se assemelham aos encontrados no presente estudo (Losso, 2003; Eniz e Garavelli, 2006; Seetha et al, 2008; Gonçalves et al, 2009). Em alguns estudos, porém, o nível de ruído encontrado foi menor (Shield e Dockrell, 2004; Guidini et al, 2012). O ruído competitivo em atividades de ensino faz com que seja exigida maior carga cognitiva e, conseqüente, fadiga mental dos indivíduos, principalmente quando a tarefa baseia-se em informação auditiva (Kjellberg et al, 2012).

4.1.3 - Tempo de Reverberação

A Fig. 4.4 mostra o sinal da resposta impulsiva de uma das salas de aula.

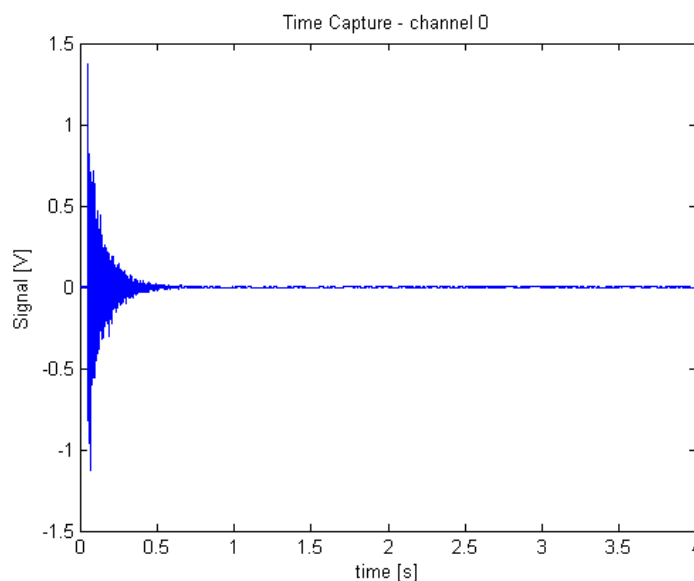


Figura 4.4: Sinal de resposta impulsiva de uma sala de aula, capturado pela placa NI 9233.

Os valores de tempo de reverberação (T_{30}) nas salas de aula analisadas, considerando-se a média das frequências de 500Hz, 1000Hz e 2000Hz (Building Bulletin 93, 2004) variaram de 0,69s a 2,09s, com média de 0,97s ($\pm 0,34$) e mediana de 0,88s (Tab. 4.3). A Fig. 4.5 mostra o valor do tempo de reverberação por frequência.

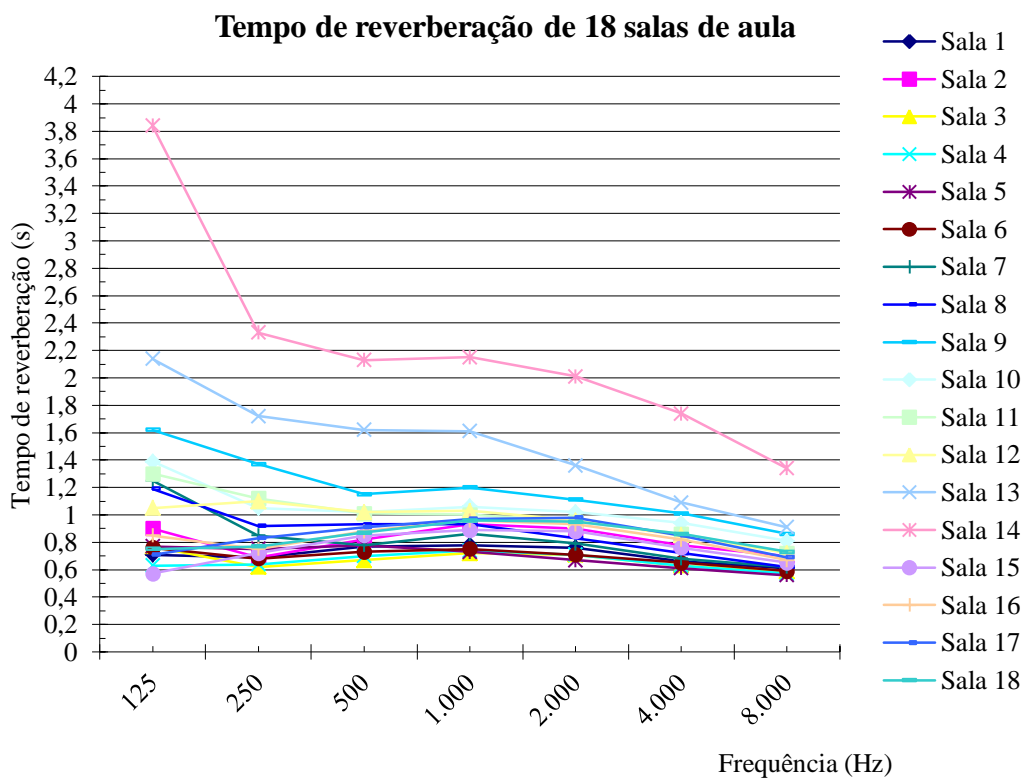


Figura 4.5: Tempo de reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte.

Os valores do tempo de reverberação de acordo com a média de 500, 1000 e 2000Hz podem ser visualizados nas Figs. 4.6 e 4.7 e Tab. 4.4.

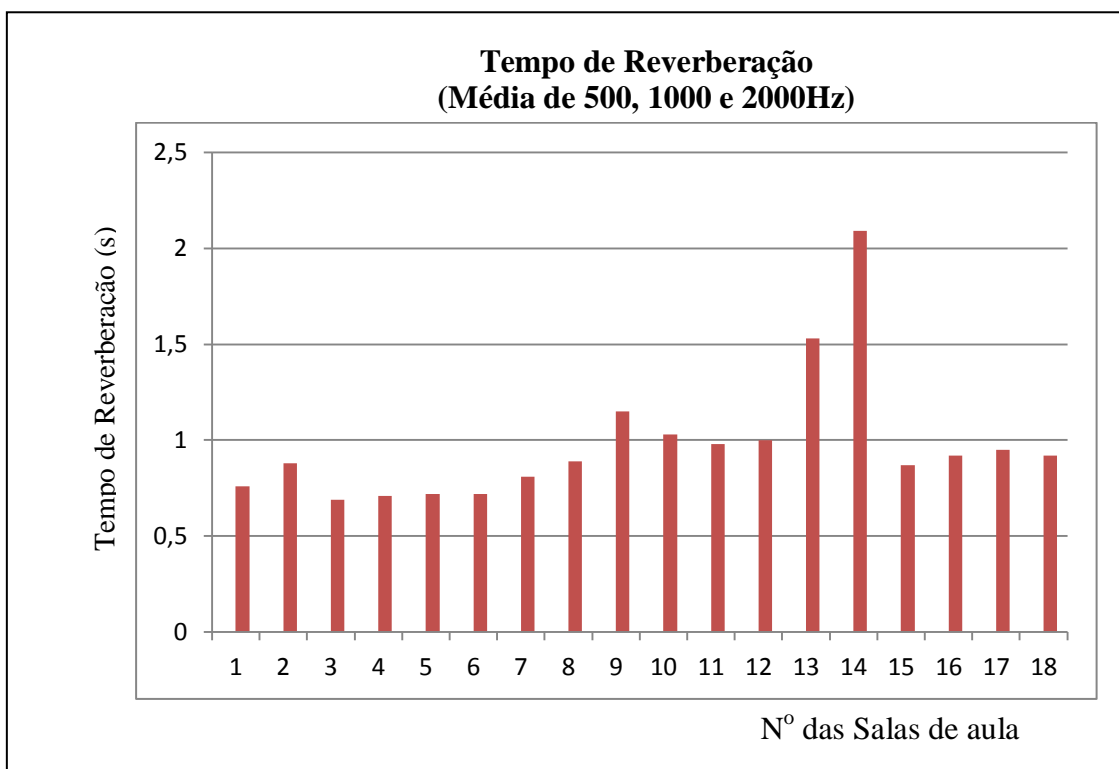


Fig. 4.6: Tempo de reverberação (Média de 500, 1000 e 2000Hz)

Tabela 4.4: Tempo de Reverberação (T_{30}) medido nas 18 salas de aula
(Belo Horizonte, 2012)

Sala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T_{30} (s) (média de 500, 1000 e 2000Hz)	0,76	0,88	0,69	0,71	0,72	0,72	0,81	0,89	1,15	1,03	0,98	1,00	1,53	2,09	0,87	0,92	0,95	0,92



Figura 4.7: Distribuição dos valores de tempo de reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte.

Em relação ao tempo de reverberação, a norma ANSI S12.60 (2010) determina que o valor ideal para salas de aula é de até 0,6s nas frequências de 500, 1000 e 2000Hz e o Building Bulletin 93 (2004) determina o valor de 0,6s para a média das frequências de 500, 1000 e 2000Hz . Sendo, assim todas as salas tiveram resultados de tempo de reverberação acima do ideal. O não cumprimento dos valores ideais de tempo de reverberação pode prejudicar a boa inteligibilidade de fala entre alunos e professores e pode até mesmo interferir na assimilação do conteúdo da aula (Losso, 2003).

Estudo realizado em salas de aula em Santa Catarina encontrou resultados próximos dos encontrados no presente estudo (Losso, 2003). Além disso, medições realizadas em salas de aula de escolas públicas de Bogotá (Colômbia) também apresentaram valores próximos (Cutiva e Burdorf, 2015).

4.1.4 - *Speech Transmission Index* (STI) ou Índice de Transmissão da Fala

Os valores de STI variaram de 0,47 a 0,70, com média de 0,62 ($\pm 0,05$) e mediana de 0,65, como mostra a Tab. 4.5. O STI pode ser visualizado também nas Figs. 4.8 e 4.9.

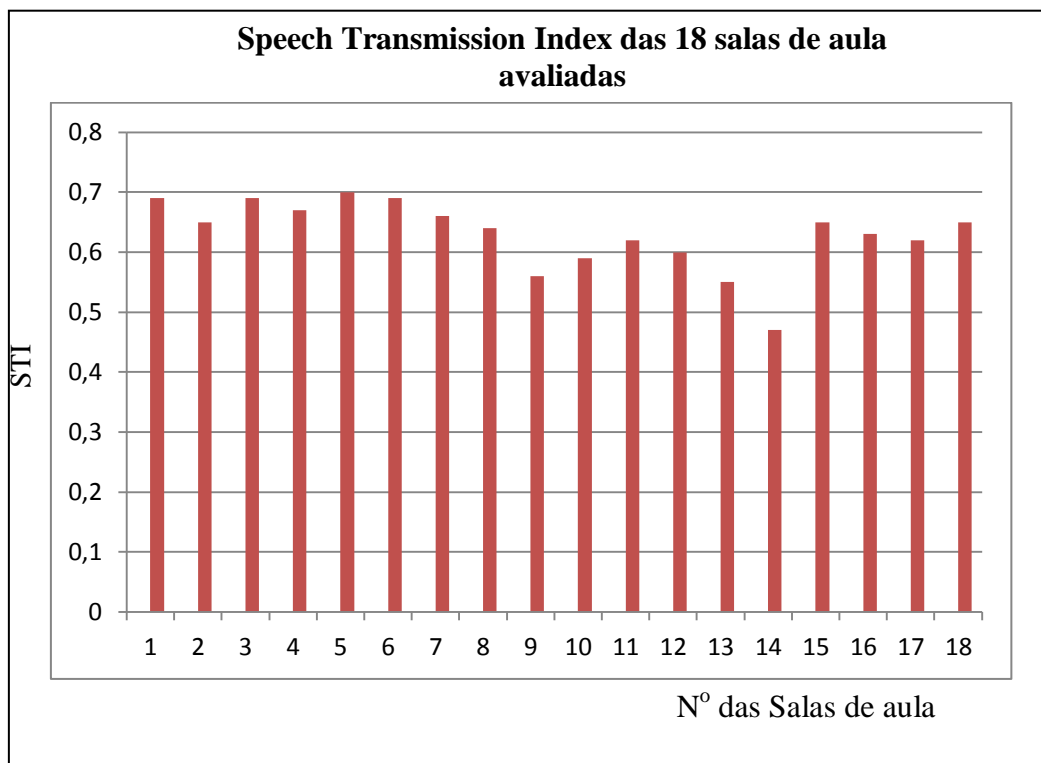


Fig. 4.8: Speech Transmission Index das 18 salas de aula avaliadas

Tabela 4.5: Speech Transmission Index (STI) medido nas 18 salas de aula (Belo Horizonte, 2012)

Sala	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
STI	0,69	0,65	0,69	0,67	0,70	0,69	0,66	0,64	0,56	0,59	0,62	0,60	0,60	0,55	0,47	0,65	0,63	0,62	0,65

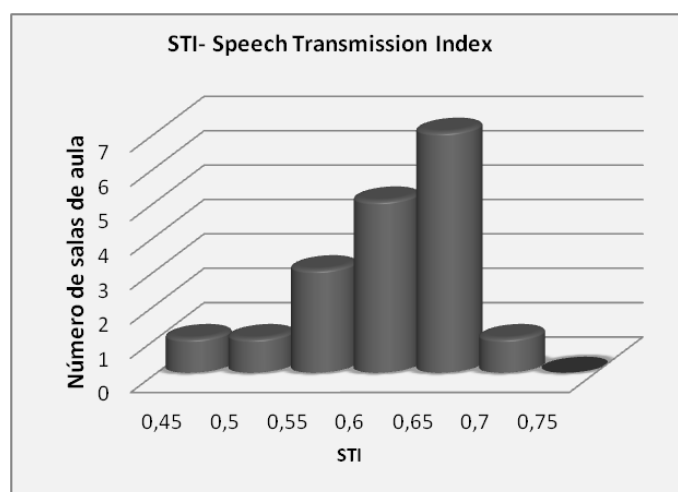


Figura 4.9: Distribuição dos valores de Speech Transmission Index em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte.

Os valores de STI (*Speech Transmission Index*) são classificados entre 0 e 1, de acordo com a norma regulamentadora IEC 60268-16 (2011). No presente estudo os valores medidos nas salas de aula variaram de 0,47 a 0,70, sendo avaliados de acordo com a classificação subjetiva do STI entre as categorias: razoável (0,45 a 0,60) e bom (0,60 a 0,75). Nenhuma sala apresentou inteligibilidade ótima, ou seja, acima de 0,75 (IEC 60268-16, 2011).

A inteligibilidade de fala é fundamental para o bom desenvolvimento das atividades escolares e para a comunicação entre professor e alunos e é importante que as condições acústicas das salas proporcionem uma boa qualidade de transmissão da fala. Para que consiga aprender, a criança deverá voltar sua atenção para o estímulo principal e desprezar o estímulo competitivo. Para isso, necessita do processamento auditivo das informações recebidas (Dreossi e Momensohn, 2005). Ou seja, não basta ter os limiares para audição dentro da normalidade, é necessário que o sinal acústico seja transformado em uma mensagem com significado, sendo para isso interpretado e analisado (Ramos e Pereira, 2005). O ruído excessivo e a má qualidade acústica da sala podem ser muito prejudiciais em todo este processo da audição e compreensão do que é dito. Além disso, algumas crianças apresentam distúrbios do processamento auditivo, o que pode aumentar ainda mais as dificuldades em compreender a mensagem falada no ruído. Estudo anterior realizado também nas escolas municipais de Belo Horizonte utilizando avaliação simplificada do processamento auditivo mostrou que, de uma amostra de 539 estudantes com idade entre 4 e 10 anos, 27,3% apresentaram resultados sugestivos de alterações do processamento auditivo (Rabelo et al, 2012). Esses estudantes poderão apresentar grandes dificuldades na compreensão da fala no ruído, prejudicando seu aprendizado, situação que é agravada em salas de aula com condições acústicas inadequadas.

Na Fig 4.10 pode-se observar a relação entre os valores de STI e Tempo de reverberação (T_{30}) nas 18 salas de aula.

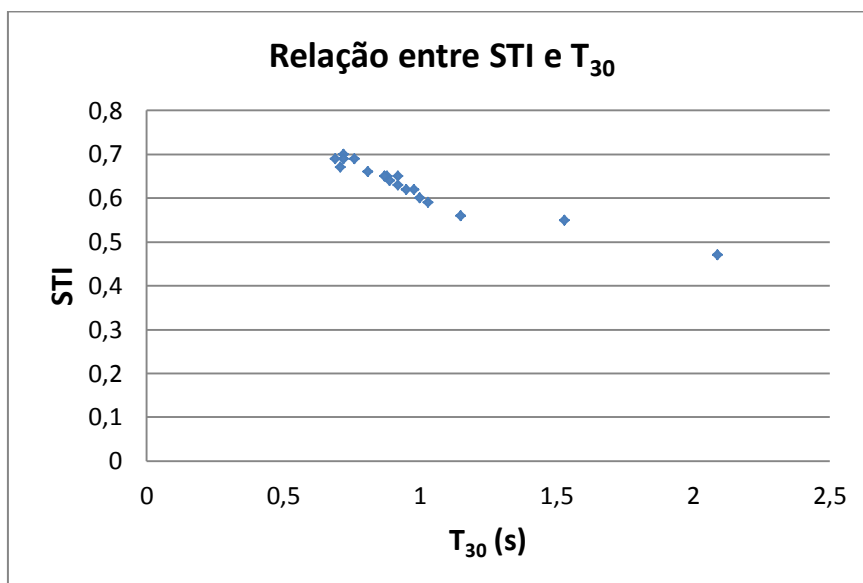


Figura 4.10: Relação entre os valores de Speech Transmission Index e Tempo de Reverberação em 18 salas de aula do município de Belo Horizonte.

A relação encontrada entre os dois parâmetros acústicos mostra que quanto menor o Tempo de Reverberação (T_{30}), maior o *Speech Transmission Index* (STI), o que evidencia o efeito da reverberação sobre a inteligibilidade de fala, mostrando que, quanto menor o tempo de reverberação, medido em segundos, melhor será a compreensão de fala na sala de aula. O tempo de reverberação alto faz com que o som da fala refletido permaneça por mais tempo no ambiente, levando à sobreposição das sílabas e interferindo na inteligibilidade (Acoustical Society of America, 2002; Building Bulletin 93, 2004; Bistafa, 2006). Além disso, o ruído de sons indesejáveis na sala de aula também permanecerá refletindo por mais tempo na sala, prejudicando ainda mais a compreensão (Klatte et al, 2010). Sendo assim, o tempo de reverberação baixo é ideal para salas de aula (Yang e Hodgson, 2006) e auxilia no aumento do Índice de Transmissão da Fala (STI).

Estudo anterior mostrou que em salas de aula com tempo de reverberação alto, os professores relataram maior incômodo ao ruído interno da sala do que outros ruídos quando comparados a salas com tempos de reverberação médio e curto (Kristiansen et al, 2011).

4.2–Testes de inteligibilidade de fala e parâmetros acústicos

A média de acertos dos estudantes no teste de inteligibilidade pode ser visualizada na Tab. 4.6.

Tabela 4.6: Índice de inteligibilidade de fala por faixa etária de 273 estudantes (Belo Horizonte, 2012).

Faixa etária	Número de crianças (n)	Média de acertos (%)	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
≥ 8 anos	87	88,05	21,10	0	100
9 anos	57	86,25	21,21	20	100
10 anos	52	92,23	16,33	8	100
11 anos	36	89,58	19,74	4	100
12 anos	17	91,06	17,97	36	100
Todas as crianças	272	88,19	20,57	0	100

Quando analisados os resultados das crianças no teste de inteligibilidade de fala, foi observado que nas salas com ruído (Nível de Pressão Sonora Equivalente) menor ou igual a 60dB(A), as crianças tiveram melhores resultados, com significância estatística (Tab. 4.7). Em relação aos demais parâmetros, os estudantes tiveram melhor desempenho nas salas com o tempo de reverberação até 0,88s e STI maior do que 0,65 (Tab. 4.7).

Tabela 4.7. Associação entre os valores de L_{eq} , T_{30} e STI e o resultado dos estudantes no teste de inteligibilidade de fala (Belo Horizonte, 2012)

Características		Índice de inteligibilidade	Média da diferença	Teste T	Valor de p	
Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq})	Mediano (até 60 dB) (n=120)	Média	91,6	6,1	2,47	0,01*
		Desvio Padrão	18,2			
Tempo de Reverberação (T_{30})	Elevado (maior 60 dB) (n=152)	Média	85,4	6,1	2,47	0,024*
		Desvio Padrão	21,9			
Speech Transmission Index (STI)	(até 0,88s) (n=154)	Média	90,65	-7,94	2,47	0,002*
		Desvio Padrão	19,07			
	(maior que 0,88s) (n=118)	Média	84,99			
		Desvio Padrão	22,05			
	(até 0,65) (n=158)	Média	84,87			
		Desvio Padrão	22,31			
	(maior que 0,65) (n=114)	Média	92,81			
		Desvio Padrão	16,92			

*Valores estatisticamente significantes ($p \leq 0,05$). Teste T de Student

sonora equivalente (L_{eq}), menor tempo de reverberação e maior STI, sendo estas associações com significância estatística. Estes dados mostram que os parâmetros acústicos influenciam diretamente na inteligibilidade de fala em sala de aula e podem interferir na compreensão do

que é dito pelo professor podendo até mesmo comprometer a aprendizagem. Estudos concordam com a afirmação de que o ruído pode interferir nas atividades realizadas em sala de aula (Dreossi e Momensohn-Santos, 2004; Eniz e Garavelli, 2006; Seetha et al, 2008).

Geralmente os estudos que buscam informações sobre a inteligibilidade de fala realizam apenas medições objetivas, como é o caso do uso do parâmetro acústico STI (*Speech Transmission Index*), ou utilizam testes de listas de palavras aplicados individualmente utilizando fones de ouvido no estudante. O presente estudo adaptou os testes para aplicação em grupo na própria sala de aula, em escuta diótica, para aproximar o teste da situação do dia a dia dos estudantes. Apenas estudos internacionais já utilizaram esta metodologia, porém também são escassos. Foi realizado um estudo com este tipo de teste no Canadá (Braley e Sato, 2008) e também na Alemanha (Klatte et al, 2010). Os dois estudos utilizaram nomes de figuras para nomeação e marcação entre algumas opções de palavras semelhantes para avaliar a inteligibilidade. Porém, na Alemanha os pesquisadores utilizaram na gravação variação do tempo de reverberação para duas situações virtuais, uma com valor de tempo de reverberação de 0.47s (favorável) e a outra com valor de 1,1s (desfavorável). Também foram testadas as palavras mixadas com ruídos encontrados em salas de aula e apresentados binauralmente. Foi utilizado ruído de fala com leitura de um texto e também ruído de movimentos de carteiras e passos, sem ruído de fala. O estudo mostrou que a idade e posição da criança na sala interferiram no resultado. Além disso, a compreensão auditiva das crianças foi significativamente prejudicada pelo discurso de fundo e ruído em sala de aula, porém o discurso de fundo prejudicou mais a compreensão auditiva do que os ruídos de fundo da sala (Klatte et al, 2010). Já no estudo realizado no Canadá, as palavras também foram gravadas e variou-se a relação sinal/ruído modificando o nível de apresentação do material de fala. Utilizaram valores de 20 a 30dB de diferença sinal/ruído, para determinar escores de inteligibilidade em condições ideais para os estudantes. Não foi possível modificar as condições acústicas das salas de aula. Os resultados mostraram que a relação sinal ruído de +15dB não foi adequada para estudantes mais jovens (6 anos de idade) (Braley e Sato, 2008).

Em estudo realizado com estudantes chineses de 19 a 24 anos foi comparado os valores de STI de 4 salas de aula simuladas por análise computacional com os resultados dos testes aplicados através de fones de ouvido. Foi feita simulação de diferentes relações entre sinal/ruído das salas de aula. Houve alta correlação entre os resultados dos estudantes nos testes de inteligibilidade e os valores de STI encontrados, tanto em escuta diótica quanto dicótica (Peng et al, 2011). Estes resultados, juntamente com os dados do presente estudo,

mostram que tanto o uso do parâmetro STI quanto de testes de palavras com estudantes podem fornecer informações consistentes sobre a inteligibilidade de fala de salas de aula. Porém, ressalta-se a importância de avaliar a inteligibilidade de fala com as crianças dentro da sala de aula, como foi feito no presente estudo, para melhor avaliação da real situação a que os estudantes estão expostos.

4.3 – Questionários dos professores

De 21 professores que responderam o questionário, 47,6% já afastaram-se de suas atividades escolares por fadiga vocal ou outro problema de saúde relacionado ao ruído. Além disso, 57,1% acham que ouvem menos do que antes e 61,9% sentem ter perda auditiva. Dos professores entrevistados, 23,8% caracterizam seu estado de saúde como muito bom, 47,6% como estado de saúde bom, 23,8%, regular e 4,8% acham que o estado de saúde é ruim.

Na Tab. 4.8 são mostradas as respostas dos professores às questões do questionário, mostrando sua opinião e o grau de incômodo e percepção de aspectos relacionados ao ruído.

Tabela 4.8. Questionário aplicado aos professores (Belo Horizonte, 2012)

Aspectos relacionados ao ruído interno da escola								
	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	n	%
Ruído de alunos de outras salas	1	4,8	5	23,8	9	42,9	6	28,6
Voz do professor vizinho	11	52,4	9	42,9	0	0,0	1	4,8
Conversa no corredor	3	14,3	9	42,9	8	38,1	1	4,8
Conversa no pátio	1	4,8	1	4,8	5	23,8	14	66,7
Movimentação corredor	3	14,3	6	28,6	10	47,6	2	9,5
Aparelhos sala vizinha	10	47,6	7	33,3	3	14,3	1	4,8
Aspectos que interferem nas atividades em sala de aula								
	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	n	%
Ruídos dos alunos dentro da sala	2	9,5	6	28,6	13	61,9	-	-

Ruído salas vizinhas, corredor	2	9,5	5	23,8	9	42,9	5	23,8
Ruído fontes externas à escola	2	9,5	9	42,9	7	33,3	3	14,3

Atividades mais afetadas pelo ruído

	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	n	%
Aula expositiva do professor	-	-	3	14,3	4	19,0	14	66,7
Leitura individual dos alunos	-	-	6	28,6	5	23,8	10	47,6
Concentração dos alunos em provas	-	-	3	14,3	9	42,9	9	42,9
Compreensão do conteúdo das aulas pelos alunos	-	-	1	4,8	10	47,6	10	47,6
Atividades em grupo	-	-	3	14,3	8	38,1	10	47,6
Influência do ruído no rendimento escolar	-	-	1	4,8	8	38,1	10	47,6

Aspectos relacionados ao ruído externo à escola

	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	n	%
Buzinas, alarmes	1	4,8	11	52,4	6	28,6	3	14,3
Automóveis, motos	1	4,8	7	33,3	10	47,6	3	14,3
Trem	19	90,5	2	9,5	-	-	-	-
Avião	18	85,7	3	14,3				
Oficinas	14	66,7	3	14,3	1	4,8	3	14,3
Indústrias	19	90,5	1	4,8	-	-	1	4,8
Construções	13	61,9	3	14,3	2	9,5	3	14,3
Vizinhos	13	61,9	8	38,1	-	-	-	-

Influência do ruído sobre o professor no decorrer das aulas e ao seu término

	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	N	%
Dificuldade de concentração	2	9,5	5	23,8	7	33,3	7	33,3
Dor de cabeça	2	9,5	6	28,6	8	38,1	4	19,0
Irritabilidade	-	-	4	19,0	7	33,3	10	47,6

Cansaço	-	-	1	4,8	6	28,6	14	66,7
Zumbido*	8	38,1	4	19,0	6	28,6	2	9,5
Eleva o tom de voz*	1	4,8	1	4,8	3	14,3	15	71,4
Fadiga vocal*	-	-	3	14,3	2	9,5	15	71,4
Sintomas vocais do professor								
	Nada		Pouco		Médio		Muito	
	n	%	N	%	N	%	n	%
Esforço ao falar*	3	14,3	3	14,3	6	28,6	7	33,3
Falhas na voz*	5	23,8	1	4,8	9	42,9	4	19,0
Cansa quando fala*	5	23,8	2	9,5	5	23,8	7	33,3
Grita demais*	4	19,0	6	28,6	7	33,3	2	9,5
Dor ou ardor após trabalho**	4	19,0	4	19,0	6	28,6	3	14,3
Rouquidão**	6	28,6	3	14,3	3	14,3	5	23,8

*2 professores não responderam a esta questão.

**4 professores não responderam a esta questão.

Em relação ao questionário aplicado aos professores para avaliar sua percepção do ruído, a partir da análise descritiva de suas respostas, pôde-se observar que, dentre os ruídos internos da escola, porém fora da sala de aula, os que mais incomodam os professores são o ruído de alunos de outras salas, conversa no pátio e movimentação no corredor. Em pesquisa realizada com professores universitários de Campinas, eles também se queixam do ruído do pátio e outras salas, classificando-os como sendo fontes de ruído de forte intensidade (Servilha e Delatti, 2012). Em pesquisa realizada com 21 professores de uma escola da rede particular de Viçosa (MG), o recreio, que pode ser considerada uma atividade no pátio, foi a atividade mais citada entre os professores como fonte de ruído prejudicial (Ribeiro et al, 2010). Em uma escola pública de Piracicaba (SP), 67% dos professores relataram que o pátio é o local da escola em que o barulho é mais intenso (Libardi et al, 2006).

Pôde-se perceber também pelas respostas aos questionários que, na opinião dos professores, o ruído dos alunos dentro da sala de aula interfere mais nas atividades do que os ruídos externos à sala. Em relação às atividades em sala de aula, a mais afetada pelo ruído é a aula expositiva do professor, seguida da concentração dos alunos em prova e compreensão do conteúdo das aulas pelos alunos. Em estudos anteriores, o ruído gerado pelos próprios alunos

em sala de aula também foi citado pelos professores como muito incômodo. Entre os professores de Viçosa (MG) esta foi a segunda atividade mais citada, ficando atrás somente do ruído do recreio (Ribeiro et al, 2010). Já no estudo realizado em Piracicaba (SP) esta queixa foi apresentada por apenas 28% dos professores, os quais se sentem mais incomodados com o ruído do pátio (Libardi et al, 2006).

Observou-se que os ruídos externos à escola incomodam pouco ou nada os professores, como por exemplo, barulho de trem, avião, indústria, construções e vizinhos. Estes fatores também não foram citados nas pesquisas com professores encontradas na literatura (Libardi et al, 2006; Ribeiro et al, 2010; Servilha e Delatti, 2012). Porém, em estudo realizado em Bogotá (Colômbia) com 1449 professores, o alto nível de ruído de fundo externo à escola e a pobreza acústica estiveram associados com a ocorrência de sintomas vocais (Cutiva e Burdorf, 2015). No estudo em Bogotá, as escolas com maior nível de ruído externo se localizavam próximas a ruas principais, áreas comerciais e aeroportos. É recomendável avaliar a localização dos edifícios e o isolamento acústico ao planejar a construção de escolas. Os níveis de ruído externo podem ter efeito sobre o ruído interno e os sintomas vocais (Cutiva e Burdorf, 2015).

O ruído afeta diretamente os professores, que apresentam entre as principais queixas, fadiga vocal e elevação do tom de voz, seguidos de cansaço, irritabilidade e dificuldade de concentração. Os professores de Viçosa (MG) também apresentam cansaço mental (71,4%), dor de cabeça (66,5%), dor de garganta (61,9%), irritação (38%) e rouquidão (28,5%) (Ribeiro, et al, 2010). Em Piracicaba (SP), os professores relatam que precisam falar mais alto sempre (50%) ou às vezes (47%) (Libardi et al, 2006).

Em relação aos sintomas vocais, os mais citados são esforço e cansaço ao falar, seguidos de falhas na voz, gritos e rouquidão. Estes sintomas são sempre citados por professores de várias pesquisas em escolas brasileiras (Silva et al, 2005; Libardi et al, 2006; Ribeiro et al, 2010). O estresse vocal foi um sintoma relatado por 67% dos 12 professores entrevistados em uma escola da rede estadual de Jacareí (SP). Além disso, todos os sujeitos disseram utilizar maior intensidade vocal durante a aula (Silva et al, 2005). Dos 36 professores entrevistados em Piracicaba (SP), 95% apresentou queixas em relação à voz, sendo que 47% dos professores fazem esforço ao falar, 22% apresentam falhas na voz, 39% cansam quando falam, 33% gritam demais, 30% têm dor ou ardor após o trabalho e 39% apresentam rouquidão (Libardi et al, 2006). Em uma pesquisa realizada com 126 professores

do ensino fundamental da rede municipal de Maceió (AL), 87,3% referiram ocorrência de disfonia na docência (Alves et al, 2010).

Entre os sintomas auditivos e extra-auditivos, mais da metade dos professores acha que ouve menos do que antes e sentem ter perda auditiva. Além disso, 28% dos professores relataram que o zumbido tem uma interferência média sobre eles. Entre os professores de Piracicaba (SP) a tontura foi o sintoma mais citado (39%), seguido de problemas digestivos, auditivos e circulatórios. Estes professores foram submetidos a avaliação auditiva e dos 14 professores, 10 (71%) apresentaram audição normal, porém nove deles (90%) já possuem audição com entalhe acústico (fato que pode ser decorrente da exposição constante ao ruído durante o trabalho docente), quatro (29%) apresentaram perda auditiva neurossensorial e um (7%) perda auditiva mista. Os professores avaliados audiologicamente apresentavam, em relação à faixa etária, uma idade média de 40 anos (Libardi et al, 2006).

Quando se compararam as respostas dos questionários dos professores das salas mais ou menos ruidosas observou-se diferença em relação à percepção do professor apenas sobre os sintomas de irritabilidade e cansaço, mais presentes nas salas mais ruidosas ($p=0,05$). Porém, todos os professores da presente pesquisa apresentaram queixas em relação ao ruído, as quais variaram somente em intensidade. Possível justificativa está no fato de todas as salas terem apresentado níveis de ruído acima do ideal. Mesmo as salas do estudo consideradas para análise como menos ruidosas (L_{eq} até 60dB(A)) apresentaram níveis que incomodam os professores em sua prática docente, evidenciando a necessidade de ações de controle do ruído a fim de se obter um ambiente favorável à saúde e ao aprendizado. As características acústicas das salas também foram bem semelhantes, o que possivelmente explica, percepções acerca do ruído, muitas vezes similares entre os entrevistados. Em estudo recente na Colômbia, pesquisadores compararam os parâmetros acústicos medidos nos ambientes de trabalho e as queixas de voz dos sujeitos de diferentes escolas e não conseguiram encontrar muitas associações estatísticas devido ao fato de haver pouca diferença entre as salas, todos os valores encontrados foram elevados. Quando todos os valores estão elevados e parecidos, fica limitada a capacidade de demonstrar associações entre as variáveis (Cutiva e Burdorf, 2015).

4.4 – Avaliação dos parâmetros vocais e sua relação com o ruído

A faixa etária das participantes da avaliação de voz variou de 22 e 50 anos, com média de 29 anos e 93,3% tinham nível superior de escolaridade. Todas as 27 participantes consideram sua voz normal e não apresentam nenhum desconforto durante o uso da voz.

Os resultados obtidos a partir da análise dos parâmetros vocais avaliados nas diferentes situações acústicas propostas são apresentados na Tabela 4.9. Pode-se observar que os parâmetros vocais são aumentados quando o ruído é acrescentado à medição. Além disso, pode se perceber que o tratamento acústico influenciou pouco no comportamento vocal.

Tabela 4.9 – Parâmetros vocais nas quatro situações acústicas avaliadas de 27 mulheres sem queixas de voz.

Parâmetros		Situações acústicas							
		Com tratamento sem ruído		Sem tratamento sem ruído		Com tratamento com ruído		Sem tratamento com ruído	
Dose (nº ciclos de vibração)	Média desvio-padrão	72,32	±16,10	74,13	±20,39	97,04	±16,87	97,32	±22,18
	Mínimo- máximo	40,08	104,34	21,60	107,72	62,24	136,17	24,25	136,17
Frequência Fundamental (Hz)	Média desvio-padrão	246,68	±29,40	244,46	±28,54	276,05	±38,66	274,31	±31,97
	Mínimo- máximo	203,34	312,82	201,69	322,88	221,46	379,66	227,05	357,39
Nível de Intensidade (dB NPS)	Média desvio-padrão	80,72	±3,71	80,61	±3,80	86,65	±3,18	87,07	±3,21
	Mínimo- máximo	73,44	88,44	73,88	88,44	80,49	93,64	80,82	93,64
Porcentagem de Fonação (%)	Média desvio-padrão	43,73	±16,90	46,34	±18,25	53,48	±17,36	54,98	±16,47
	Mínimo- máximo	1,20	61,80	0,30	64,10	5,20	73,00	6,10	73,30

O uso da voz em ambientes muito ruidosos e acusticamente pobres poderá trazer consequências negativas para a voz dos professores. Nestes locais, há necessidade de uso da voz em níveis elevados e repetição do que foi dito a fim de manter a atenção e compreensão do conteúdo pelos alunos. Por este motivo é razoável dizer que os professores tendem a fazer maior esforço vocal do que outros profissionais em ambientes ruidosos. O uso permanente da

voz neste tipo de ambiente pode contribuir para o aumento da sobrecarga do sistema responsável pela produção vocal e o aparecimento de sintomas vocais (Cutiva e Burdorf, 2015).

As figuras 4.11 a 4.15 mostram os resultados de cada parâmetro vocal nas situações acústicas testadas. Pode-se observar uma mesma tendência para os parâmetros vocais de dose vocal, nível de intensidade e porcentagem de fonação (Fig. 4.11, 4.13, 4.14). Todos eles sofreram aumento significativo quando houve acréscimo do ruído no ambiente de teste, simulando uma sala mais ruidosa, como encontrado nas escolas municipais. Os valores dos parâmetros, quando comparados em salas com e sem tratamento acústico, não se diferenciam muito, mostrando que o ruído presente na sala interfere mais do que a acústica do ambiente em si, e que mesmo com o tratamento acústico, são necessárias medidas educativas para a diminuição do ruído presente na sala. Somente o tratamento acústico não consegue solucionar a questão da interferência do ruído na compreensão de fala e no processo de ensino e aprendizagem.

Figura 4.11 - Comparação da dose vocal nas 4 situações acústicas avaliadas

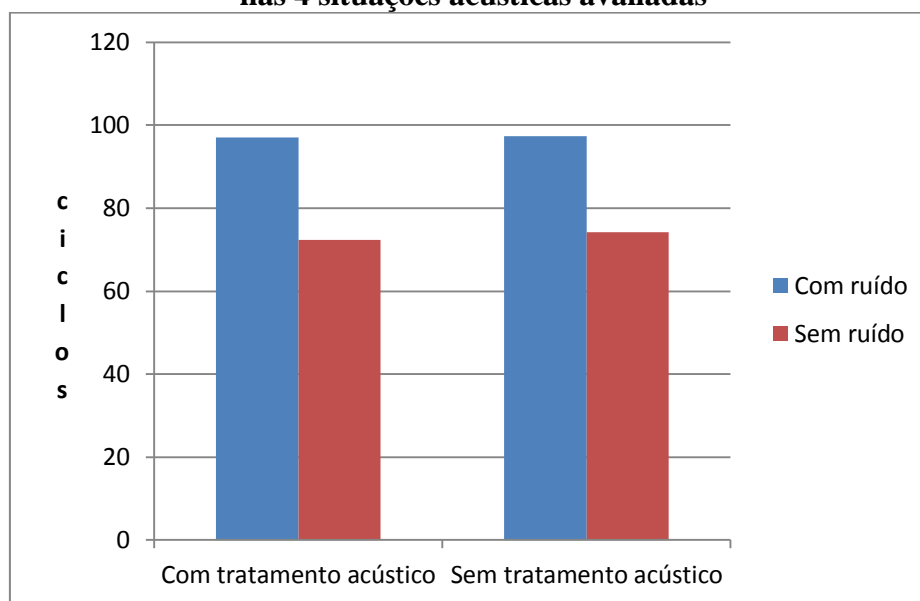


Figura 4.12 - Comparação da frequência fundamental (F_0) nas 4 situações acústicas avaliadas

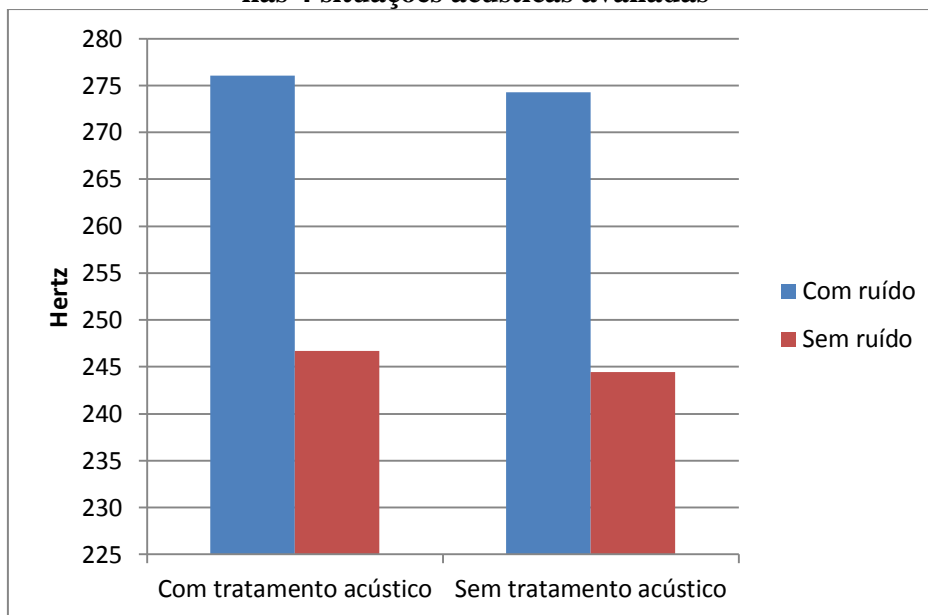


Figura 4.13 - Comparação do nível de intensidade nas 4 situações acústicas avaliadas

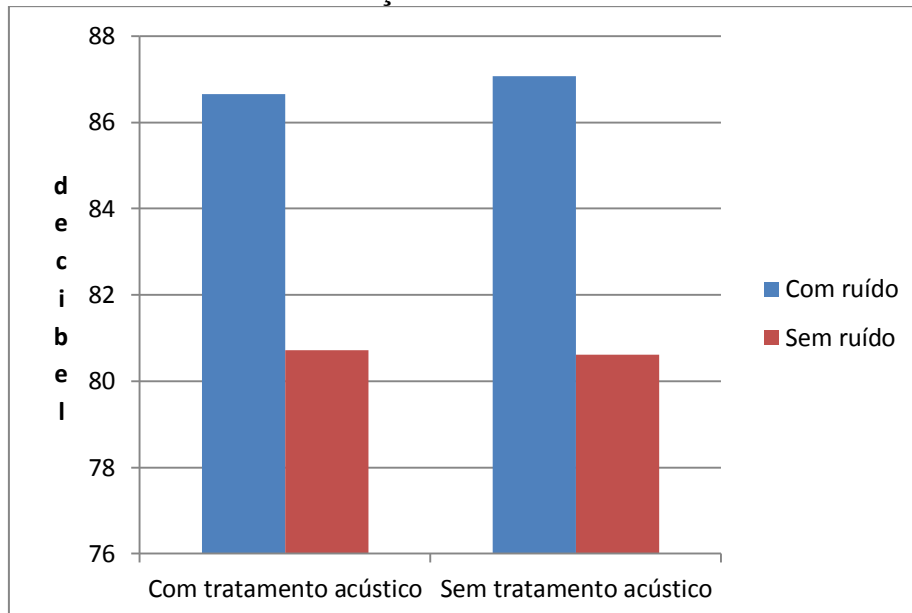
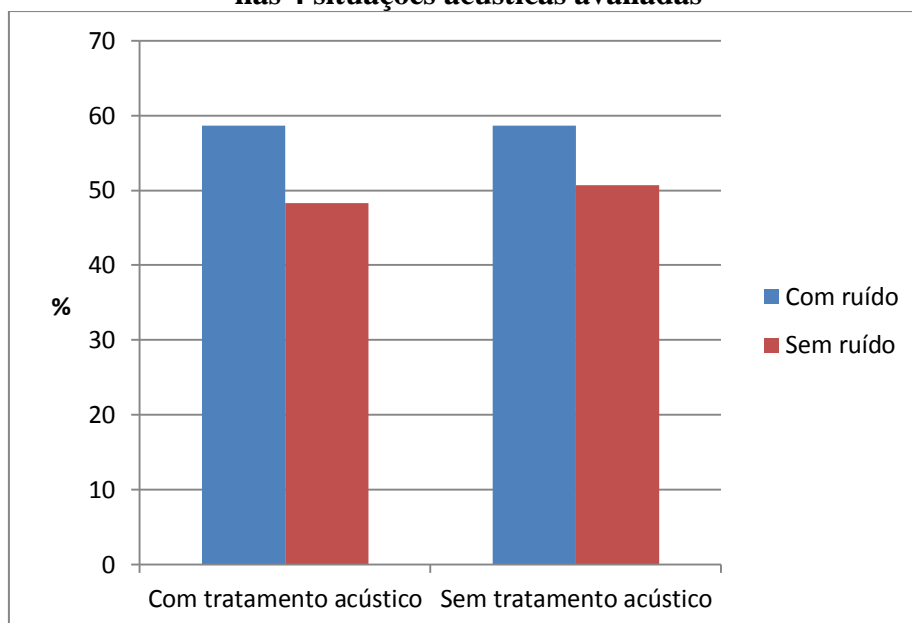


Figura 4.14 - Comparação da porcentagem de fonação nas 4 situações acústicas avaliadas



A correlação entre os parâmetros vocais e a presença e ausência de ruído pode ser observada na Tab. 4.10.

Tabela 4.10 – Correlação entre os parâmetros vocais e as diferentes situações acústicas considerando presença e ausência de ruído

	Sem tratamento sem ruído	Sem tratamento com ruído	Diferença dos níveis (%)	Teste T pareado	Valor p
	Média	Média			
Frequência Fundamental (Hz)	244,46	274,31	10,88	-6,136	0,000
Nível de intensidade (dB NPS)	80,61	87,07	7,41	-14,200	0,000
Porcentagem Fonação (%)	50,66	58,67	13,65	-5,343	0,000
Dose Vocal Cíclica	74,13	97,32	23,82	-8,754	0,000

Foi realizada também comparação entre os parâmetros vocais nas situações com e sem tratamento acústico. Os resultados podem ser observados na Tab.4.11.

Tabela 4.11 – Correlação entre os parâmetros vocais e as diferentes situações acústicas considerando presença e ausência de tratamento acústico

	Sem tratamento sem ruído	Com tratamento sem ruído	Diferença dos níveis (%)	Teste T pareado	Valor p
	Média	Média			
Frequência Fundamental (Hz)	244,46	246,68	0,89	0,405	0,689
Nível de intensidade (dB NPS)	80,61	80,72	0,13	0,200	0,843
Porcentagem Fonação (%)	50,66	48,30	4,65	-0,959	0,346
Dose Vocal Cíclica	74,13	72,32	2,44	-0,489	0,629

Observa-se que os parâmetros vocais não foram influenciados pelo tratamento acústico presente na sala (Tab. 4.11). Este fato é interessante e mostra que só o tratamento acústico não é suficiente para resolver o problema do ruído indesejado nas salas de aula e diminuir o esforço vocal das professoras que lecionam neste tipo de ambiente.

Pode-se observar que, com o aumento do ruído (Tab. 4.10), há um aumento considerável de todos os parâmetros vocais investigados. Com o aumento da dose cíclica, ocorre maior contato entre as pregas vocais, aumenta o atrito, o que pode favorecer o aparecimento de alterações vocais por fonotrauma como os nódulos, pólipos, edemas (fator mioelástico). Não há dose cíclica ideal, mas com o aumento da dose, há mais risco para alterações vocais, dependendo também da resistência individual. A intensidade vocal também foi aumentada com a presença de maior ruído, aumentando assim a pressão aérea subglótica e gerando sobrecarga muscular (fator aerodinâmico).

A frequência fundamental também aumentou com presença de ruído excessivo (Tab. 4.10). Este fato pode ser justificado pelo aumento na tensão da musculatura da laringe. Com o intuito de aumentar a intensidade vocal para competir com o ruído de fundo, a participante, conseqüentemente, eleva sua frequência fundamental, pois a mesma é diretamente proporcional à tensão das pregas vocais ou à pressão subglótica e inversamente proporcional à massa e tamanho das pregas vocais (Behlau, 2004). Ocorre assim o fator mecânico, em que se faz muito esforço muscular para aumento de intensidade e frequência vocal.

Além disso, ainda há o fator gênero, que é um agravante, pois as participantes são todas do gênero feminino, que é uma constante entre professores brasileiros, e há maior pré-

disposição para alterações vocais em mulheres, devido a determinantes anatômicos e fisiológicos (Hunter e Titze, 2010).

Quando compara-se o resultado da dose cíclica na sala com tratamento e sem ruído (situação mais próxima dos valores sugeridos pela norma) e na sala sem tratamento e com ruído (pior situação testada e próxima à realidade de algumas salas das escolas testadas), observa-se um aumento de 25,7% da dose (Tab. 4.9). A realidade acústica e o ruído presente nas escolas leva o professor a elevar em 25,7% a dose vocal cíclica, o que poderia ser evitado com melhores condições acústicas e menor nível de ruído.

Vários comportamentos, desvios ou ajustes vocais inadequados, associados ou utilizados constantemente, podem ser fatores causais ou contribuir para o surgimento de alterações vocais (disfonias). Entre eles, pode-se citar postura corporal inadequada ou questões ambientais, como falar em forte intensidade na presença de ruído de fundo. Entre os ajustes anatomofuncionais inadequados, tem-se a variação da intensidade vocal por meio da compressão da musculatura laríngea e paralaríngea e a variação da frequência por meio da modificação exclusiva da posição vertical da laringe. O impacto mais comum das inaptações vocais citadas, antes mesmo do aparecimento de alteração na qualidade da voz, é o surgimento de redução na resistência vocal, o que leva a fadiga à fonação (Behlau, 2004).

Em estudo realizado com 6 alunos de graduação em Pedagogia Vocal e cantores e professores de música, os mesmos foram avaliados durante 5 dias inteiros de gravação da sua voz e os resultados das quatro participantes do gênero feminino foram: frequência fundamental 272 a 381Hz, intensidade de 78 a 81dB, ciclo de dose 1733 a 2050 Kciclos por dia. Porém, a avaliação foi feita em momentos de fala e de canto também (Gaskill et al, 2013).

Na Itália, 92 operadores de callcenter com idade entre 24 e 50 anos tiveram sua voz monitorada durante o dia de trabalho e responderam um questionário validado tal que quanto maior o escore de respostas, maior a queixa ou estresse. A média da porcentagem do tempo de fonação foi 14,74% e variou de 4 a 31%. Houve diferença estatística entre a porcentagem de fonação durante e fora do trabalho. As respostas aos questionários foram maiores do que na população geral, porém não houve correlação com as horas trabalhadas, o que indicou que o tempo de trabalho não foi um fator que interferiu no aparecimento dos sintomas vocais (Cantarella et al, 2014). A intensidade vocal média foi de 70,23dB (57 a 87dB) e o total de ciclos de vibração foi de 723.896,99 (197.006 a 1673.900). A frequência fundamental variou de 100 a 267Hz, porém o estudo não separou os indivíduos por gênero na análise dos dados. Os dados foram coletados durante 21,50 horas e foram excluídas as horas de sono.

Ao fazer uma comparação com o presente estudo, em relação ao uso da voz, observa-se que os operadores de callcenter apresentam valores menores de porcentagem de fonação, mostrando que o uso da voz em sala de aula demanda mais esforço vocal (Cantarella et al, 2014). Em relação à porcentagem de fonação, em estudos recentes que também avaliaram professores, os resultados se aproximam dos valores da presente pesquisa. Em professores de creches foi de 40% (35 a 55%) (Rantala, 1994). Foram encontrados valores de 21% (Masuda et al, 1993), 23% (Titze et al, 2007) e $29,9\% \pm 11\%$ (Hunter e Titze, 2010), sendo 30,7% para mulheres, todos avaliando professores durante o trabalho. Na pesquisa realizada em Denver em que encontraram o valor de 29,9%, a maioria dos participantes era do gênero feminino com idade média de 44 anos. A intensidade vocal durante o trabalho foi em torno de 62,5dB. As mulheres apresentaram F_0 de 183Hz com mediana de 215Hz (Hunter e Titze, 2010).

Ressalta-se ainda uma informação importante de que a frequência fundamental de mulheres é mais alta do que de homens, conseqüentemente, ocorrem também mais ciclos de vibração das pregas vocais nas mulheres. Este fato pode justificar a ocorrência de 10% a mais de problemas vocais prolongados em mulheres do que em homens (Hunter e Titze, 2010). Destaca-se a importância de estudos que analisem dados de homens e mulheres separadamente, uma vez que as características vocais e de uso da voz entre os gêneros é bastante diferente. Para que se estabeleça valores ideais e padrões esperados, são necessários estudos criteriosos com amostras maiores e bem delineadas.

Em estudo realizado nos Estados Unidos, foram comparadas duas professoras utilizando um dosímetro durante três semanas, sendo uma delas com e outra sem história de queixas vocais. Na segunda semana, ambas usaram um amplificador de voz portátil. Houve redução da intensidade vocal e da dose de distância da prega vocal pelas duas professoras quando usaram o microfone, com efeito maior para a professora com dificuldades vocais. Não houve diferença da dose vocal de ciclos e frequência fundamental. Este estudo sugere que o uso de amplificação pode ajudar a diminuir o esforço vocal e poderia ser uma opção a ser usada por professores para melhorar a comunicação com os alunos (Gaskill et al, 2012).

Ao comparar professores com e sem problemas de voz, estudo recente na Bélgica sugere diferenças entre o comportamento vocal dos dois grupos, mostrando que os professores com problemas vocais tiveram maior porcentagem de fonação (20,9%) do que os professores sem problemas vocais (15,5%). Já a frequência fundamental e intensidade vocal foram, respectivamente, de 178,2Hz e 79,6dB nos professores com problemas vocais e 159,5Hz e 75,6dB naqueles sem problemas vocais. O ruído de fundo (L_{90}) medido durante os

testes foi em torno de 57,2dB. O STI foi em torno de 0,8 e o Tempo de Reverberação em torno de 0,34s (Ahlander et al, 2014).

Observa-se na tabela abaixo uma comparação de estudos em diferentes locais e populações, em que foram investigados os parâmetros vocais com uso de dosímetro (Tab. 4.12). O parâmetro de dose vocal depende do tempo de gravação, não sendo passível de comparação entre os estudos.

Tabela 4.12 – Comparação dos resultados de parâmetros vocais em diferentes estudos

Estudo	Gênero (F/M)	Profissão	Intensidade vocal (dB)	Porcentagem de fonação (%)	Dose vocal (ciclos)	Frequência fundamental (Hz)
Gaskillet al, 2013	F	Cantores/ professores de música	78 a 81	-	1733 a 2050 Kciclos/dia	272 a 381
Cantarella et al, 2014	F/M	operadores de call Center	70,23 (57 a 87)	14,74% (4 a 31%)	723.896,99	100 a 267
Rantala, 1994		Professores		40% (35 a 55%)	-	-
Titze et al, 2007		Professores		23%	-	-
Masuda et al, 1993		Professores		21%	-	-
(Hunter e Titze, 2010)	Maioria F	Professores	62,5	29,9% \pm 11%	-	183 mediana 215
Gaskillet al, 2012	F	professora	74,0	19,1%	1302Kciclos	248
Rantala, 2002	F	professoras	77,6	-	-	232,6
Rabelo (2014)	F	Várias profissões	87,04\pm3,14	54,98\pm16,47	91,26\pm28,99 /10min	276,5\pm33,5

Obs.: (situação sem tratamento acústico e com ruído no estudo de Rabelo, 2014)

5

CONCLUSÕES

As salas de aula avaliadas nesta pesquisa apresentaram níveis de ruído acima dos padrões exigidos por normas internacionais para uma adequada condição acústica para o ensino. O ruído presente nas salas de aula é extremamente elevado e interfere nas atividades escolares.

Pôde-se observar a partir da medição dos parâmetros acústicos e dos testes realizados, que o ruído interfere diretamente na inteligibilidade de fala dos estudantes, que apresentaram pior desempenho nos testes com aumento do nível de ruído em sala. Maior atenção deveria ser dada a este tema, pois uma comunicação ineficiente dentro da sala de aula poderá trazer consequências negativas para o percurso escolar dos alunos.

Todos os professores entrevistados apresentaram muitas queixas em relação ao ruído presente em sala de aula e relataram sintomas que podem estar relacionados ao ruído presente no ambiente de trabalho.

As avaliações de voz comprovaram a relação direta entre aumento dos níveis de ruído e elevação dos valores de dose cíclica, frequência e intensidade vocal. Estes valores mostram modificações na forma de emissão da voz, o que pode levar a alterações vocais, interferência na transmissão de informação em sala de aula e afastamentos do trabalho. A partir dos resultados pôde-se observar que o ruído presente nas escolas levou o professor a elevar em até

25,7% a dose vocal cíclica, o que poderia ser evitado com melhores condições acústicas e menor nível de ruído.

Pode-se concluir que os aspectos relacionados à acústica das salas de aula, a inteligibilidade de fala dos alunos, a forma como os professores emitem sua voz, todos estes fatores estão correlacionados dentro do contexto escolar. A acústica interfere na forma como o professor emite a voz, conseqüentemente, este fato interfere na compreensão da fala do professor pelos alunos. O professor precisa emitir sua fala de uma forma em que os alunos possam ouvi-lo bem. Ele então faz um esforço além do que seria confortável para ele, prejudicando suas pregas vocais, e mesmo assim, muitas vezes este esforço não é suficiente para que os alunos consigam discriminar bem o que é dito, o que pode interferir no aprendizado. Como o ruído presente nas salas é excessivo, por mais que os professores e alunos se esforcem para uma efetiva comunicação, o esforço não será suficiente nem saudável. Além de melhorias acústicas, é preciso, em primeiro lugar, a conscientização da diminuição do ruído no ambiente. São necessários maiores esforços no sentido de diminuir o ruído nas escolas e promover um ambiente mais saudável e agradável para o ensino e a aprendizagem.

A partir dos resultados apresentados, espera-se que estudos mais aprofundados possam ser realizados também em outras regiões do Brasil, a fim de que projetos acústicos criteriosos sejam elaborados e que normas específicas para acústica de salas possam ser bem fundamentadas a partir de dados reais da situação atual das salas de aula brasileiras.

O presente estudo mostrou a relação entre presença de altos níveis de ruído e condições acústicas inadequadas e seus efeitos sobre o uso da voz e a inteligibilidade de fala, com base em medições objetivas dos parâmetros acústicos e da voz, o que garante grande confiabilidade para a pesquisa.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização deste estudo, o que se pôde observar foi uma grande necessidade de mudança dentro deste contexto das salas de aula a partir de melhorias no ambiente. Pôde-se perceber a partir das medições acústicas, avaliações de inteligibilidade e voz e relatos de professores e alunos, durante um grande período em que o estudo foi realizado, o quanto o ruído presente no ambiente escolar incomoda tanto os professores quanto os alunos. Como este fator pode interferir na aprendizagem, no desempenho dos professores e no andamento das atividades.

As mudanças são necessárias e urgentes. Os profissionais de saúde, educação e engenharia não podem medir esforços para contribuir para o planejamento de ações de promoção de saúde e controle do ruído, a fim de elaborar e colocar em prática ações integradas entre estes setores.

O fonoaudiólogo inserido no ambiente escolar deve atuar como um promotor de saúde, colaborando para a propagação e conscientização sobre medidas de auto cuidado, visando a diminuição do impacto do ruído no processo de ensino aprendizagem, assim como na saúde geral dos docentes e alunos.

Os engenheiros e arquitetos responsáveis por projetos de construção de prédios destinados ao ensino também devem se sensibilizar para estes problemas a fim de propor condições de um ambiente acústico adequado para as atividades escolares.

Somente a partir de ações conjuntas dos profissionais de fonoaudiologia, educação e engenharia, será possível melhorar as condições de trabalho para professores e proporcionar ambientes adequados para o aprendizado.

Espera-se que este estudo possa contribuir para as pesquisas nesta área e incentivar cada vez mais pesquisadores a se dedicarem a este tema tão carente de pesquisas aprofundadas para embasamento das ações práticas necessárias.

7

REFERÊNCIAS

Acoustical Society of America. ANSI S12.60-2010 - American National Standard: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools, 2010.

Ahlander VL, Garcia DP, Whitting S, Rydell R, Löfqvist A. Teachers' voice use in teaching environments: a field study using ambulatory phonation monitor. *Journal of Voice* 2014;28(6):841.e5-841.e15.

Alves LP, Araújo LTR, Neto JAX. Prevalência de queixas vocais e estudo de fatores associados em uma amostra de professores de ensino fundamental em Maceió, Alagoas, Brasil. *Rev. bras. saúde ocup.* 2010;35(121):168-75.

Alves LA, Robazzi MLCC, Marziale MHP, Felipe ACN, Romano CC. Alterações da saúde e a voz do professor, uma questão de saúde do trabalhador. *Rev Latino-am Enfermagem* 2009;17(4):566-72.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – Norma NBR10152. Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes internos às edificações, 1987.

Behlau M. O Livro do Especialista. Volume I. Revinter: Rio de Janeiro, 2004.

Bendat JS, Pierson AG. Random data – Analysis and measurement procedures, John Wiley & Sons, Inc. 2000.

Bistafa SR. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Blucher, 2006

Bralely JS, Sato H. The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.* 2008;123(4):2078-86.

Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. Regulamentadora nº15: Atividades e operações insalubres, 1978. Disponível em [http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20\(atualizada_2011\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20(atualizada_2011).pdf). Acesso em 02 de setembro de 2013.

Cantarella G, Iofrida E, Boria P, Giordano S, Binatti O, Pignataro L, Manfredi C, Forti S, Dejonckere P. Ambulatory phonation monitoring in a sample of 92 call center operators. *Journal of Voice* 2014;28(3): 393.e1-393.e6.

Carrol T, Nix J, Hunter E, Emerich K, Titze I, Abaza M. Objective measurement of vocal fatigue in classical singers: A vocal dosimetry pilot study. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2006;135(4):595-602

Carullo A, Vallan A, Astolfi A. design issues for a portable vocal analyzer. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 2013;62(5):1084-93.

Chatzakis NS, Karatzanis AD, Helidoni ME, Velegrakis SG, Christodoulou P, Velegrakis GA. Excessive noise levels are noted in kindergarten classrooms in the island of Crete. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2014;271(3):483-7. Publicação online. Disponível em: http://download.springer.com/static/pdf/815/art%253A10.1007%252Fs00405-013-2442-z.pdf?auth66=1380309989_e306140f8173309d541ee28e15b473c1&ext=.pdf. Acesso em 09 de dezembro de 2014.

Cheyne HA, Hanson HM, Genereux RP, Stevens KN, Hillman RE. Development and testing of a portable vocal accumulator. *J Speech Lang Hear Res.* 2003;46(6):1457-67.

Cutiva LC, Burdorf A. Effects of noise and acoustics in schools on vocal health in teachers. *Noise and Health* 2015;17(74):17-22.

Department of Education and Skills. Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools: A design guide. London: The Stationery Office, 2004.

Dreossi RCF, Momensohn-Santos TM. A interferência do ruído na aprendizagem. *Rev. Psicopedagogia* 2004;21(64):38-47.

Dreossi RCF, Momensohn-Santos TM. O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. *Pró-Fono* 2005;17(2):251-58.

Eniz A, Garavelli SSL. A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. *Holos Environment* 2006;6:137-50. Disponível em <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/holos/article/view/561/469>>. Acesso em 05 de março de 2013.

Ferreira LP, Servilha EAM, Masson MLV, Reinaldi MBFM. Políticas públicas e voz do professor: caracterização das leis brasileiras. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2009;14(1):1-7.

Gonçalves VSB, Silva LB, Coutinho AS. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. *Produção* 2009;19(3):466-76.

Ferrite S, Santana VS, Marshall SW. Validade da perda auditiva auto-referida em adultos: desempenho de três perguntas únicas. *Rev Saúde Pública* 2011;45(5):824-30.

Gaskill CS, Cowgill JG, Tinter SR. Vocal Dosimetry: A graduate level voice pedagogy course experience. *Journal of Singing* 2013;69(5):543-55.

Gaskill CS, O'Brien SG, Tinter SR. The effect of voice amplification on occupational vocal dose in elementary school teachers. *Journal of Voice* 2012;26(5):666e19-666e27.

Gerges SNY. Ruído: Fundamentos e Controle. Florianópolis: NR Editora, 2000. 2ª edição.

Guidini RF, Bertencello F, Zanchetta S, Dragone MLS. Correlações entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2012;17(4):398-404.

Hillman RE, Heaton JT, Masaki A, Zeitels SM, Cheyne HA. Ambulatory monitoring of disordered voices. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2006;115(11):795-801.

Hunter EJ, Titze IR. Variations in intensity, fundamental frequency, and voicing for teachers in occupational versus non-occupational settings. *J Speech Lang Hear Res*. 2010;53(4):862–75.

International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 60268-16 – International Standard: Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Suíça, 2011.

International Organization for Standardization. Acoustics: measurements of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. ISO 3382-2, 2008.

Kjellberg A, Knutsson A, Lindberg L. Noise exposure and auditory effects on preschool personnel. *Noise and Health* 2012;14(57):72-82.

Klatte M, Bergstrom K, Lachmann T. Does noise affect learning? A short review on noise effects on cognitive performance in children. *Front Psychol*. 2013;4:1-6.

Klatte M, Lachmann T, Meis M. Effects of noise and reverberation on speech perception and listening comprehension of children and adults in a classroom-like setting. *Noise Health* 2010;12(49):270-82.

Kristiansen J, Lund SP, Nielsen PM, Persson R, Shibuya H. Determinants of noise annoyance in teachers from schools with different classroom reverberation times. *Journal of Environmental Psychology* 2011;31(4):383-92.

Libardi A, Gonçalves CGO, Vieira TPG, Silverio KCA, Rossi D, Penteado RZ. O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de Piracicaba. *Distúrbios da Comunicação* 2006;18(2):167-78.

Losso MAF. Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação. Dissertação [mestrado]. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 149p. 2003.

Lundeby A, Vigran TE, Bietz H, Vorlander M. Uncertainties of measurements in room acoustics. *Acustica* 1981;81:344-55.

Medeiros AM, Barreto SM, Assunção AA. Voice disorders (Dysphonia) in public school female teachers working in Belo Horizonte: Prevalence and associated factors. *Journal of Voice* 2008;22(6):676-87.

Nascimento LS, Lemos SMA. A influência do ruído ambiental no desempenho de escolares nos testes de padrão tonal de frequência e padrão tonal de duração. *Rev. CEFAC* 2012;14(3):390-402

Nix J, Svec JG, Laukkanen AM, Titze IR. Protocol challenges for on-the-job voice dosimetry of teachers in the United States and Finland. *Journal of Voice* 2007;21(4):385-96.

Oliveira NF. Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva. 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. 2006.

Pätynen J, Katz BFG, Lokki T. Investigations on the balloon as an impulse source. *J. Acoust. Soc. Am.* January 2011;129(1):EL27-EL33.

Greenland EE, Shield BM. A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011;130(3):1399-410.

Peng J, Bei C, Sun H. Relationship between Chinese speech intelligibility and speech transmission index in rooms based on auralization. *Speech Communication* 2011;53:986-90.

Popolo PS, Svec JG, Titze IR. Adaptation of a pocket PC for use as a wearable voice dosimeter. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 2005;48(4):780-91.

Rabelo ATV, Friche AML, Silva BSV, Alves CRL, Campos FR, Goulart LMHF. Associação entre processamento auditivo e desvios fonológicos em escolares. Publicado nos Anais do 27º Encontro Internacional de Audiologia. Bauru (SP), 2012.

Rabelo ATV, Santos JN, Oliveira RC, Magalhães MC. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. *CoDAS* 2014;26(5):360-6.

Ramos CS, Pereira, LD. Processamento auditivo e audiometria de altas frequências em escolares de São Paulo. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica* 2005;17(2):153-64.

Rantala L, Vilkmán E. Relationship between subjective voice complaints and acoustic parameters in female teachers voices. *Journal of Voice* 1999;13(4):484–95.

Rantala L, Vilkmán E, Bloigu R. Voice changes during work: subjective complaints and objective measurements for female primary and secondary school teachers. *Journal of Voice* 2002;16(3):344-55.

Rao S. *Vibrações Mecânicas*. Trad. Arlete Simille Marques. 4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

Ribeiro MER, Oliveira RLS, Momenshin-Santos TM, Scharlach. A percepção dos professores de uma escola particular de Viçosa sobre o ruído nas salas de aula. *Rev. Equilíbrio Corporal e Saúde* 2010;2(1):27-45.

Santos TMM, Russo ICP. *Prática da Audiologia Clínica*. 4ª ed. São Paulo: Cortez; 1994.

Seetha P, Karmegam K, Ismail MY, Sapuan SM, Ismail N, Tamil Moli L. Effects to teaching environment of noise level in school classrooms. *Journal of Scientific & Industrial Research* 2008;67(9):659-64.

Servilha EAM, Delatti MA. Percepção de ruído no ambiente de trabalho e sintomas auditivos e extra-auditivos autorreferidos por professores universitários. *J. Soc. Bras. Fonoaudiol.* 2012;24(3):233-8 .

Shield B, Dockrell JE. External and internal noise surveys of London primary schools. *J. Acoust. Soc. Am.* 2004;115(2):730-8.

Silva AC, Ligasacchi GS, Perrone JA, Molan Jr S. Análise dos impactos por ruídos em salas de aula da rede pública de ensino. Trabalho exigido pela Pós graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho da UNIP (Universidade Paulista). 2005.

Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America. Classroom Acoustics II. Acoustical Barriers to learning 2002.

Titze IR. Mechanical stress in phonation. *J Voice* 1994;8(2):99-105.

Vieira ABC, Rocha MOC, Gama ACC, Gonçalves DU. Fatores causais e profilaxia da disfonia na prática docente. *Cadernos de Educação* 2007;(28):255-70.

World Health Organization – WHO. Noise, environmental health criteria. Geneva, 1980.

Yang W, Bradley JS. Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *J. Acoust. Soc. Am.* 2009; 125(2):922-33.

Yang W, Hodgson M. Auralization study of optimum reverberation times for speech intelligibility for normal and hearing-impaired listeners in classrooms with diffuse sound fields. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006;120(2):801-7.

Zannin PHT, Ferreira AMC, Sant'Ana DQ. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes. *Ambiente Construído* 2009;9(3):125-39.

Zemlin WR. *Princípios de anatomia e fisiologia em fonoaudiologia*. Trad. Terezinha Oppido. 4ª ed. Porto Alegre: ARTMED Editora, 2000.

Zwirtes DPZ. *Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná [dissertação de mestrado]*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-graduação em Construção Civil. Departamento de Construção Civil, 2006.

Anexo 1: Carta de Autorização para a Secretaria Municipal de Educação

Carta de Autorização

Estou ciente que a pesquisadora Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo, sob orientação dos professores da UFMG Max de Castro Magalhães, Estevam Barbosa de Las Casas e Juliana Nunes Santos, estará realizando sua pesquisa de doutorado na área de Saúde do Escolar.

O trabalho intitulado “Efeito do tratamento acústico das salas de aula nas habilidades auditivas e inteligibilidade de fala dos estudantes”, tem como objetivo analisar as características acústicas de salas de aula de escolas municipais de Belo Horizonte, propor melhoramentos acústicos em uma das salas de aula e avaliar os alunos antes e depois do tratamento acústico para verificar a interferência do ruído nas atividades que exigem atenção e um processamento auditivo adequado da informação sonora recebida em sala de aula.

Para verificar suas hipóteses, disponibilizo a estrutura e os materiais das escolas municipais de Belo Horizonte, ciente de que os procedimentos não trarão nenhum prejuízo à Instituição e estão de acordo com a Resolução 196/96 e suas complementares.

Salientamos que a pesquisadora e seus orientadores são responsáveis por todas as condutas e ações referentes à pesquisa.

Belo Horizonte, 26 de março de 2012.

Macaé Evaristo
Secretaria Municipal de Educação

Anexo 2: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para Professor

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro(a) professor(a),

O ruído em salas de aula é um tema muito discutido atualmente devido aos riscos à saúde e às possíveis interferências que ele pode causar nas atividades escolares. Existem vários tipos de ruído entre eles barulho de tráfego, locais vizinhos como serralherias, oficinas e feiras, ruídos internos como atividades de educação física ou recreativas, ruídos de áreas de circulação, ruídos gerados em cozinhas, refeitórios, lanchonetes, ruído ocasionado pelos alunos e professores na própria sala de aula ou em salas vizinhas, ventiladores, ar condicionado, retro-projetores, impressoras.

Estamos realizando uma pesquisa nas escolas municipais de Belo Horizonte para verificar o nível de ruído em salas de aula e sua interferência nas atividades do ensino e na saúde do professor. Esta pesquisa é promovida pelos Departamentos de Engenharia de Estruturas e de Fonoaudiologia da UFMG.

Com esta pesquisa, queremos conhecer mais de perto as reais condições acústicas das salas de aula do município e propor medidas que melhorem a qualidade do ensino e do trabalho docente. Esperamos que no futuro essas medidas sejam implementadas favorecendo o ambiente escolar e os atores envolvidos no processo ensino/ aprendizagem.

Para isso, solicitamos apenas cinco minutos do seu tempo para responder algumas questões relativas à sua percepção do ruído em sala de aula e a interferência do mesmo nas suas atividades docentes e sua saúde.

A sua participação não trará qualquer benefício direto, mas proporcionará um melhor conhecimento das condições acústicas das salas de aula, para que no futuro, outros docentes e outras crianças sejam beneficiadas com tratamentos acústicos adequados.

Os resultados desta pesquisa serão apresentados na Faculdade de Medicina e Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e serão divulgados em revistas especializadas. O seu nome será mantido em sigilo. Este trabalho deverá também ser publicado em revista especializada. Neste trabalho, o seu nome não será divulgado. Os responsáveis se comprometem a manter total sigilo dessas informações e todos os demais requisitos éticos, de acordo com a Resolução n.º 196 de 10/10/1996 do Conselho Nacional de Saúde.

A sua participação nesta pesquisa é absolutamente voluntária e não haverá qualquer compensação material por ela. Mesmo que concorde com a sua participação, você poderá desistir dela a qualquer momento. Caso não concorde em participar, não haverá qualquer penalidade por isso.

Você tem o direito de ser informado sempre que tiver alguma dúvida. Nesse caso, poderá entrar em contato com a fonoaudióloga Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo, umas das coordenadoras dessa pesquisa, pelo telefone 31 9664-6864. Desde já, agradecemos.

Alessandra Terra V. Rabelo
Pesquisadora responsável

Juliana Nunes Santos
Pesquisadora responsável

Max de Castro Magalhães
Pesquisador responsável

Li e entendi as informações acima. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidade ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido.

Nome: _____ CPF: _____

C. Identidade: _____

Escola em que trabalha: _____

Assinatura do professor

Data: ____/____/____

Anexo 3: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido para pais e alunos

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Caro(a) Senhor(a),

Sua criança foi escolhida para participar de um estudo sobre o efeito do tratamento acústico das salas de aula nas habilidades auditivas e inteligibilidade de fala dos estudantes. Nosso interesse é conhecer o nível de ruído das salas de aula e verificar se o ruído está repercutindo negativamente nas atividades de ensino e aprendizagem das crianças. Esta pesquisa é promovida pelos Departamentos de Engenharia de Estruturas e de Fonoaudiologia da UFMG.

Com esta pesquisa, queremos conhecer mais de perto as reais condições acústicas da sala de aula que seu (sua) filho (a) estuda, a interferência do ruído em atividades do ensino e propor um tratamento acústico para uma sala de aula.

Para verificar a interferência do ruído nas atividades escolares dos alunos, será necessário avaliar as habilidades auditivas das crianças e a percepção que elas têm da voz do professor.

As crianças serão avaliadas na própria sala de aula com tarefas envolvendo a escuta de palavras e frases, discriminação de sons parecidos e outras tarefas semelhantes às tarefas que elas já realizam em sala de aula no dia a dia.

Por isso necessitamos da sua autorização, por escrito, para que sua criança possa participar da pesquisa e realizar os testes acima mencionados, sendo que todos os procedimentos serão gratuitos. Informamos que os testes não oferecem riscos ou desconforto para a criança e serão realizados na própria escola, durante o horário de aula.


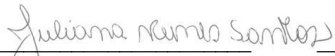
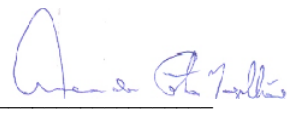
Os resultados dessas avaliações permitirão a elaboração de programas de prevenção dos problemas de aprendizagem e audição, assim como propostas para diminuir o ruído em sala de aula e possíveis dificuldades de aprendizagem dele decorrentes, para que a qualidade de vida e desempenho escolar dessas crianças seja melhor e para que o ambiente de trabalho dos professores seja mais adequado.

A escola receberá os resultados das avaliações. Caso seja identificada alguma dificuldade na avaliação de sua criança, entraremos em contato para dar informações e encaminhamentos necessários para os serviços de saúde.

Os resultados desta pesquisa serão apresentados na Faculdade de Medicina e Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e serão divulgados em revistas especializadas. O seu nome e o do seu (sua) filho(a) serão mantidos em sigilo.

A participação do seu(sua) filho(a) nesta pesquisa é absolutamente voluntária e não haverá qualquer compensação material por ela. Mesmo que concorde com a sua participação, você e/ou seu filho poderão desistir dela a qualquer momento. Caso não concorde com a participação da sua criança, não haverá qualquer penalidade por isso.

Você tem o direito de ser informado sempre que tiver alguma dúvida. Nesse caso, poderá entrar em contato com a fonoaudióloga Alessandra Terra Vasconcelos Rabelo, umas das coordenadoras dessa pesquisa, pelo telefone 31 9664-6864. Desde já, agradecemos.

		
Alessandra Terra V. Rabelo Pesquisadora responsável	Juliana Nunes Santos Pesquisadora responsável	Max de Castro Magalhães Pesquisador responsável

Li e entendi as informações acima. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidade ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido.

Assinatura dos pais ou responsável

CPF:

C. Identidade.:

____/____/____
Data

Assinatura da criança

Se você autorizar a avaliação, preencha os dados abaixo:

Nome da criança: _____ Data de nascimento da criança: ____/____/____

Endereço: _____

Nome da mãe: _____

Anexo 4: Questionário aplicado aos professores

Universidade Federal de Minas Gerais *Questionário Sobre o Ruído em Salas de Aula e Audição para Professores*

Prezado (a) Professor (a),

Visando pesquisar o nível de conforto acústico das salas de aula da rede pública de ensino e relatá-lo em tese de Doutorado da Universidade Federal de Minas Gerais é que solicitamos a sua colaboração para o preenchimento do questionário que se segue. As informações obtidas através da presente pesquisa serão analisadas sigilosamente e o resultado final do poderá subsidiar o desenvolvimento de novos projetos com qualidade acústica nas salas de aula.

Informações pessoais

Nome Optativo): _____

Escola: _____ Sala: _____

Idade: _____ Sexo: () Masculino () Feminino

Possui algum tipo de problema auditivo? () Sim () Não

Já precisou afastar-se de suas atividades escolares por fadiga vocal ou outro problema de saúde relacionado ao ruído? () Não () Sim

Qual? _____?

1. Atribua a escala de valores para a ao ruídos predominantes em sua sala de aula (ruídos provenientes da escola).

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- () Ruído produzido por alunos de outras salas de aula
- () Voz do professor da sala vizinha
- () Conversas no corredor
- () Conversas no pátio da escola
- () Ruído gerado pela movimentação de pessoas no corredor
- () Aparelhos de TV, som, etc..., utilizados em salas de aula vizinhas

2. Atribua a escala de valores para o incômodo causado por ruídos provenientes de fora da escola.

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- () Buzinas, alarmes, ambulâncias, polícia, etc...
- () Automóveis, motocicletas, caminhões, etc..
- () Trem
- () Avião
- () Oficinas
- () Industrias
- () Construções
- () Vizinhos da escola

3. Atribua a escala de valores para as situações que você acredita gerar maior interferência na sala de aula

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- () Ruído proveniente dos alunos dentro da sala de aula
- () Ruído proveniente das salas vizinhas, corredor, pátio
- () Ruído proveniente de fontes externas à escola (automóveis, vizinhos, indústrias...)

4. Atribua a escala de valores para as atividades em sala de aula que são mais afetadas pelo ruído.

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- Aula expositiva do professor
- Leitura individual dos alunos
- Concentração dos alunos durante as provas
- Compreensão por parte dos alunos do conteúdo das aulas
- Atividades em grupo

5. Na sua opinião, qual a influência do ruído sobre o rendimento escolar dos alunos?

Nada Pouco Médio Muito

6. Atribua a escala de valores para a influência do ruído sobre você no decorrer das aulas e ao seu término.

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- Dificuldade de concentração
- Dor de cabeça
- Irritabilidade
- Cansaço
- Zumbido nos ouvidos
- Obriga-se a elevar o tom de voz
- Fadiga vocal

7. Você sente que você tem uma perda auditiva?

sim não

8. Em geral, você diria que sua audição é:

excelente muito boa boa regular ruim

9. Atualmente, você acha que:

- ouve da mesma forma que ouvia antes
- apenas o ouvido direito ouve menos do que antes
- apenas o ouvido esquerdo ouve menos do que antes
- os dois ouvidos ouvem menos do que ouviam antes

10. Como você avalia seu estado de saúde?

muito bom bom regular ruim muito ruim

11. Atribua a escala de valores para as os sintomas abaixo, de acordo com o que você sente em relação à sua voz:

(0) Nada (1) Pouco (2) Médio (3) Muito

- faz esforço ao falar
- apresenta falhas na voz
- cansa quando fala
- grita demais
- tem dor ou ardor após o trabalho
- apresenta rouquidão

Anexo 5: Teste de Inteligibilidade de Fala:

NOME: _____	IDADE: _____
SEXO: ____ TURMA: _____	DATA: ____/____/____ ID: ____

TESTE 1

Você ouvirá uma lista de 25 palavras e a cada palavra ouvida, deverá marcar com um X esta palavra, entre as três opções dadas.

1	<input type="checkbox"/> dil	<input type="checkbox"/> til	<input type="checkbox"/> mil
2	<input type="checkbox"/> zás	<input type="checkbox"/> faz	<input type="checkbox"/> jaz
3	<input type="checkbox"/> rol	<input type="checkbox"/> sol	<input type="checkbox"/> col
4	<input type="checkbox"/> jus	<input type="checkbox"/> pus	<input type="checkbox"/> luz
5	<input type="checkbox"/> gás	<input type="checkbox"/> faz	<input type="checkbox"/> cas
6	<input type="checkbox"/> gim	<input type="checkbox"/> sim	<input type="checkbox"/> mim
7	<input type="checkbox"/> mir	<input type="checkbox"/> sir	<input type="checkbox"/> rir
8	<input type="checkbox"/> boi	<input type="checkbox"/> foi	<input type="checkbox"/> soi
9	<input type="checkbox"/> pai	<input type="checkbox"/> vai	<input type="checkbox"/> sai
10	<input type="checkbox"/> réu	<input type="checkbox"/> céu	<input type="checkbox"/> mel
11	<input type="checkbox"/> nu	<input type="checkbox"/> tu	<input type="checkbox"/> lu
12	<input type="checkbox"/> mê	<input type="checkbox"/> lê	<input type="checkbox"/> lhe
13	<input type="checkbox"/> mal	<input type="checkbox"/> cal	<input type="checkbox"/> nau
14	<input type="checkbox"/> dil	<input type="checkbox"/> til	<input type="checkbox"/> mil
15	<input type="checkbox"/> tem	<input type="checkbox"/> cem	<input type="checkbox"/> nem
16	<input type="checkbox"/> mil	<input type="checkbox"/> dil	<input type="checkbox"/> til
17	<input type="checkbox"/> por	<input type="checkbox"/> cor	<input type="checkbox"/> dor
18	<input type="checkbox"/> chá	<input type="checkbox"/> já	<input type="checkbox"/> fá
19	<input type="checkbox"/> zum	<input type="checkbox"/> tum	<input type="checkbox"/> bum
20	<input type="checkbox"/> la	<input type="checkbox"/> na	<input type="checkbox"/> nha
21	<input type="checkbox"/> cão	<input type="checkbox"/> não	<input type="checkbox"/> vão
22	<input type="checkbox"/> dom	<input type="checkbox"/> som	<input type="checkbox"/> tom
23	<input type="checkbox"/> leis	<input type="checkbox"/> seis	<input type="checkbox"/> mês
24	<input type="checkbox"/> ler	<input type="checkbox"/> ver	<input type="checkbox"/> ter
25	<input type="checkbox"/> ful	<input type="checkbox"/> sul	<input type="checkbox"/> tul

ID Total acertos:

Anexo 5: Questionário para professores

Questionário

Nome: _____

Idade: _____

Telefone(s): _____

E-mail: _____

Escolaridade: () EM () ES () Especialização () Mestrado () Doutorado

Cargo(s) ou função(s) em que atua:

() Regência () Outra função () Regência+Outra função

Disciplina(s) que leciona: _____

Leciona há quanto tempo (anos/meses): _____

Turno(s) em que leciona: () Um () Dois () Três

Níveis(s) em que leciona:

() Educação infantil () Ensino fundamental – 1^a a 4^a () Ensino fundamental – 5^a a 8^a

() Ensino médio () Curso técnico profissionalizante () Pré-vestibular () Curso livre

() Supletivo () Ensino superior () Pós-graduação () Educação à distância

() Educação especial () Aulas particulares

Horas-aula que leciona por semana: _____

Exerce outra atividade além de professor?

() Não () Sim, com uso da voz () Sim, sem uso da voz

Faz uso constante de medicamentos?

() Sim () Não Se SIM, qual (is)? _____

Tem alergia? () Sim () Não

Faz tratamento para Refluxo Gastresofágico? () Sim () Não

Possui algum distúrbio pulmonar? () Sim () Não

Possui algum distúrbio hormonal? () Sim () Não

Você fuma? () Sim () Não

Possui avaliação Otorrinolaringológica? () Sim () Não

Se SIM, especifique a data aproximada do exame _____

Já fez tratamento fonoaudiólogo? () Sim () Não Se SIM, quando? _____

Você considera sua voz normal? () Sim () Não

Se NÃO, sente desconforto vocal durante as aulas? () Sim () Não

Se SIM, com qual frequência? () todos os dias () toda semana () todo mês

APÊNDICE A

Sala	L_{eq} [dB(A)]	Horário da medição (h)	Contagem de Veículos	Contagem de Motos	Atividade durante medição
1	57,39	15:43:52	44	4	Ed.física
2	62,27	13:06:05	18	5	Ed.Física
3	67,99	15:15:31	567	62	Recreio de algumas turmas (35min da medição)
4	58,35	14:07:04	484	54	Recreio de algumas turmas (37min da medição)
5	59,57	14:52:18	60	8	Todos alunos nas salas
6	54,89	13:36:37	47	6	Todos alunos nas salas
7	56,91	10:42:01	986	173	Ed física
8	54,51	08:04:07	1145	165	Ed física
9	68,69	16:29:21	16	11	Ed física
10	64,88	15:45:30	27	14	Ed física
11	62,12	13:25:57	1810	280	Todos alunos nas salas
12	59,03	08:11:49	1815	200	Houve recreio todas as salas(10min)
13	65,71	14:05:53	1076	200	Recreio de algumas turmas
14	68,36	10:36:48	956	140	Recreio de algumas turmas
15	64,11	8:06:32	34	4	Ed. física
16	58,71	9:34:39	45	6	Ed. Física(26 min) e o restante recreio de algumas turmas
17	70,36	09:31:42	14	7	Ed. Física
18	65,03	10:24:45	275	43	Ed. Física

APÊNDICE B

Medições do parâmetro acústico Speech Transmission Index								
Sala	Freq(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	SNR	39.9	47.4	45.0	45.0	51.7	54.7	48.9
	EDR	50.5	61.5	61.8	62.6	66.5	68.7	62.9
	EDT	0.36	0.54	0.69	0.80	0.80	0.67	0.63
	STI	0.69s						
2	SNR	30.3	41.3	47.5	46.0	47.7	45.5	42.2
	EDR	38.1	54.7	60.9	57.0	60.2	59.2	55.2
	EDT	0.56	0.72	0.85	0.94	0.88	0.80	0.68
	STI	0,65						
3	SNR	24.3	35.5	42.6	42.8	44.6	43.6	43.0
	EDR	42.8	53.1	60.9	58.0	59.3	58.5	58.4
	EDT	0.77	0.62	0.70	0.69	0.67	0.62	0.56
	STI	0,69						
4	SNR	16.1	36.9	47.0	42.4	49.9	48.6	45.4
	EDR	32.5	52.7	62.2	54.9	63.4	62.1	60.0
	EDT	0.86	0.50	0.70	0.77	0.74	0.63	0.59
	STI	0,67						
5	SNR	22.9	36.7	36.1	35.7	42.9	45.2	44.0
	EDR	39.9	58.9	56.5	56.4	61.9	56.4	54.9
	EDT	0.73	0.61	0.67	0.68	0.62	0.55	0.50
	STI	0,70						
6	SNR	27.6	43.8	47.7	46.1	53.6	51.7	48.0
	EDR	40.9	54.9	60.3	58.5	60.9	56.4	56.0
	EDT	0.49	0.70	0.94	0.75	0.71	0.66	0.56
	STI	0,69						
7	SNR	31.6	25.8	26.5	24.9	36.2	42.7	43.4
	EDR	42.5	41.1	39.3	44.6	51.4	56.8	57.8
	EDT	0.98	0.68	0.81	0.70	0.72	0.66	0.60
	STI	0,66						
8	SNR	45.1	54.6	55.9	50.6	50.3	55.8	51.3
	EDR	54.0	65.6	70.4	62.6	59.9	66.2	65.0
	EDT	1.00	0.82	0.94	0.98	0.87	0.72	0.59
	STI	0,64						
9	SNR	37.5	47.7	55.6	54.1	54.3	53.4	47.8
	EDR	47.0	58.6	65.8	62.3	62.0	64.6	60.8
	EDT	1.36	1.33	1.13	1.29	0.98	1.01	0.81
	STI	0,56						
10	SNR	38.8	48.2	54.5	51.0	52.6	51.3	47.6
	EDR	51.1	61.0	69.7	63.8	66.4	65.1	61.5
	EDT	1.61	1.33	0.99	1.03	1.03	0.92	0.79
	STI	0,59						
11	SNR	27.8	34.0	43.5	41.9	48.2	48.4	42.5
	EDR	36.2	44.6	57.4	51.3	59.9	57.1	55.7
	EDT	0.90	1.13	1.06	1.04	0.93	0.76	0.70
	STI	0,62						
12	SNR	26.1	30.9	42.7	43.3	44.3	43.8	43.8
	EDR	37.4	42.7	56.0	54.5	57.1	58.5	58.6
	EDT	0.99	1.13	1.15	1.20	0.96	0.78	0.71
	STI	0,60						
13	SNR	35.1	40.8	45.7	40.5	44.3	45.1	43.8
	EDR	42.8	50.7	54.8	51.0	56.6	56.9	57.1

	EDT	1.82	1.75	1.42	1.54	1.28	1.04	0.86
	STI	0,55						
14	SNR	33.0	46.0	47.1	44.4	50.4	53.8	52.2
	EDR	37.7	54.6	55.1	55.8	60.9	63.0	59.8
	EDT	2.39	1.70	2.11	2.26	2.05	1.69	1.20
	STI	0,47						
15	SNR	20.9	37.8	41.4	35.4	35.1	34.5	35.9
	EDR	35.2	49.0	53.4	51.7	54.4	51.6	52.2
	EDT	0.63	0.76	0.76	0.95	0.94	0.71	0.62
	STI	0,65						
16	SNR	27.5	39.3	46.1	45.2	43.3	42.9	43.6
	EDR	44.9	54.2	62.1	58.5	60.2	62.5	62.2
	EDT	0.58	0.89	0.90	0.93	0.92	0.83	0.71
	STI	0,63						
17	SNR	23.8	37.7	48.8	51.4	54.5	51.8	48.3
	EDR	40.7	50.9	56.9	55.6	62.8	63.8	60.2
	EDT	0.73	0.81	0.88	0.98	0.98	0.86	0.68
	STI	0,62						
18	SNR	29.7	37.3	42.8	39.3	41.0	41.4	39.3
	EDR	44.4	52.0	58.2	57.4	57.8	57.4	53.3
	EDT	0.43	0.97	1.00	0.93	0.98	0.84	0.74
	STI	0,65						

APÊNDICE C

Calibração dos sistemas de medição

1 - Tempo de reverberação

Para a medição do tempo de reverberação foi utilizado um microfone tipo I e os dados foram captados pela placa de aquisição National Instruments (NI 9233/ NI 9234) utilizando o software Matlab e analisados no software WinMLS. Para comprovar a eficiência desse sistema utilizado, foi realizada calibração do mesmo e realizados testes de comparação com o medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2 (Fig. 1), que também tem microfone tipo I de acordo com a norma IEC-61672-1. O NTI-XL2 tem capacidade de medir na faixa de frequência de 63 a 8000Hz.



Figura 1: Medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2.

Para a comparação, foi realizada medição em uma sala de aula, utilizando simultaneamente os dois equipamentos e analisados os resultados. Foram feitas 3 medições em pontos diferentes da sala nas frequências de 125Hz a 8000Hz. Estes pontos foram escolhidos de forma aleatória e respeitando as distâncias exigidas pela norma ISO 3382-2. Os valores obtidos estão apresentados nas Figs. 2 e 3.

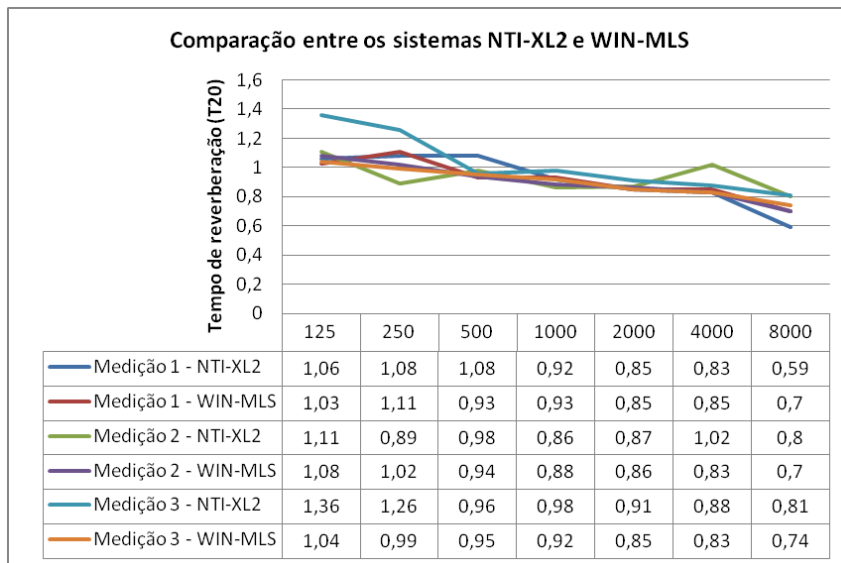


Fig. 2: Comparação entre os sistemas de medição do tempo de reverberação.

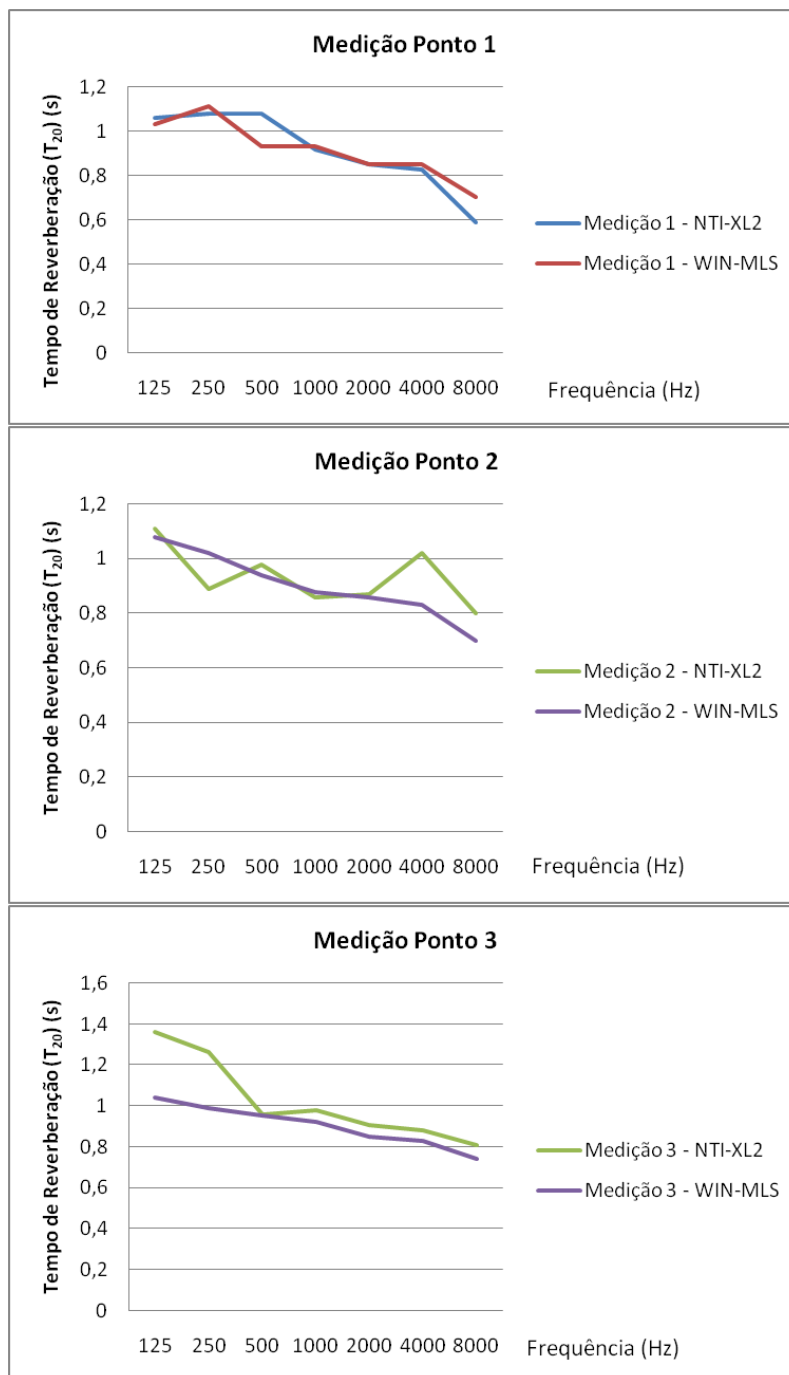


Fig. 3: Medições do tempo de reverberação para comparação dos sistemas.

Foi realizada análise estatística para comparar a aproximação dos valores encontrados pelos dois sistemas e pode-se comprovar que eles não são diferentes estatisticamente (Tab. 1).

Tabela 1: Análise estatística para comparação dos sistemas de medição do tempo de reverberação (Belo Horizonte, 2013)

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
Teste T de Student	1,34	0,32	1,77	0,26	1,30	1,28	0,27
Média das diferenças	0,12	0,03	0,06	0,10	0,02	0,07	0,02
Valor p	0,30	0,76	0,21	0,80	0,26	0,32	0,80

2 - Ruído de fundo e Nível de Pressão Sonora Equivalente

Para a medição do Ruído de Fundo e Nível de Pressão Sonora Equivalente foi utilizado medidor de nível de pressão sonora DEC-490 com microfone tipo II e os dados foram analisados no programa Microsoft Excel e SPSS 16.0. Para comprovar a eficiência do método utilizado, foi realizada calibração do mesmo e realizados testes de comparação com o medidor de nível de pressão sonora NTI-XL2, que tem microfone tipo I.

Para a comparação, foi realizada medição em uma sala de aula, utilizando simultaneamente os dois equipamentos e analisados os resultados. Foram feitas 6 medições no mesmo ponto da sala nas frequências de 63Hz a 8000Hz. Este ponto foi escolhido de forma aleatória e respeitando as distâncias exigidas pela norma ANSI S12.60 (2010). Os valores obtidos estão apresentados na Fig. 4.

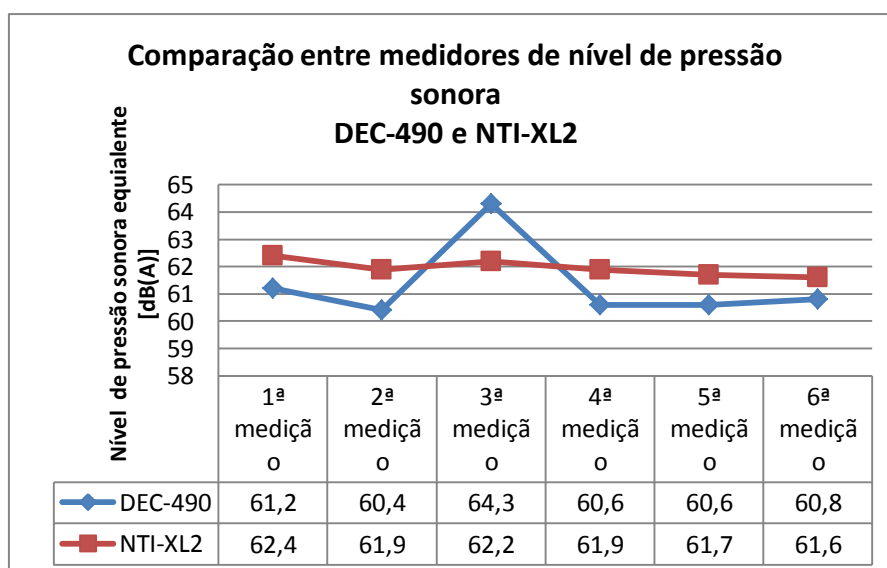


Fig. 4: Medições do Nível de Pressão sonora equivalente (L_{eq}) para comparação entre os equipamentos de medição.

Neste caso também foi realizada análise estatística para comparar a aproximação dos valores encontrados pelos dois medidores de nível de pressão sonora e pode-se comprovar que eles não são diferentes estatisticamente (Tab. 2).

Tabela 2: Análise estatística para comparação dos medidores de nível de pressão sonora utilizados na medição do L_{90} e L_{eq} (Belo Horizonte, 2013)

	DEC-490	NTI-XL2
Média do L_{eq} das 6 medições [dB(A)]	61,31	61,95
Teste T de Student	-1,14	
Média das diferenças	-0,63	
Desvio padrão	1,35	
Valor p	0,30	