



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E INTELIGIBILIDADE DA FALA EM SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO EM PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO¹

COELHO, Guilherme de Oliveira (1); DE SOUZA, Thauler Ferreira B. (2); DOS SANTOS
FILHO, Vamberto Machado (3); SPOSTO, Rosa Maria (4)

(1) UnB, e-mail: guilherme@kozcoe.com.br; (2) UnB, e-mail: thauler@gmail.com;
(3) UnB, e-mail: vambertomfilho@gmail.com; (4) UnB, e-mail: rmsposto@unb.br

RESUMO

Em um ambiente de estudo, o conforto acústico dos usuários se torna item imprescindível para um bom projeto de sala de aula. Nesse ambiente o ruído não é apenas um incômodo, mas interfere no rendimento das atividades de ensino, diminuindo a concentração dos alunos. Esse estudo tem como objetivo verificar o conforto acústico dos alunos por meio da verificação do tempo de reverberação, da inteligibilidade da fala e da medição de ruído de fundo em três salas de aula de uma universidade. Observando os resultados da aplicação do questionário, verificou-se que 86% dos usuários sentiam-se confortáveis acusticamente nas salas de aula e 91% acreditavam que entendiam perfeitamente a fala do locutor. Em relação ao tempo de reverberação, verificou-se que, apesar de volumes e materiais distintos, as três salas possuem resultados aproximados, mas divergem no teste feito para verificar a inteligibilidade da fala. Essa divergência se deve ao fato das diferentes distâncias encontradas, entre o locutor e o receptor, em cada uma das salas. A taxa de erros foi de 25,33%, 18,67% e 9,33% respectivamente para as salas 1, 2 e 3. As medições no local mostram que as salas estão em conformidade com a norma de acústica.

Palavras-chave: Ruído. Reverberação. Inteligibilidade. Acústica.

ABSTRACT

In a study environment, the acoustic comfort of users is indispensable item for a good classroom project. In this environment the noise is not only a nuisance, but interferes with the performance of educational activities, decreasing the concentration of students. This study aimed to verify the acoustic comfort of students by checking the reverberation time, intelligibility of speech and background noise measurement in three classrooms at a university. Noting the results of the questionnaire, it was found that 86% of users felt comfortable acoustically in the classroom and 91% believed they understood perfectly the speech of the speaker. Regarding the reverberation time, it was found that, although volumes and different materials, the three rooms have similar results, but differ in the test conducted to verify the speech intelligibility. This divergence is due to the different distances found between the speaker and the receiver in each of the rooms. The error rate was 25.33%, 18.67% and 9.33% respectively for the rooms 1, 2 and 3. The on-site measurements show that the rooms are in accordance with the standard sound.

Keywords: Noise. Reverberation. Intelligibility. Acoustics.

¹ COELHO, Guilherme de Oliveira; DE SOUZA, Thauler Ferreira B.; DOS SANTOS FILHO, Vamberto Machado; SPOSTO, Rosa Maria. Avaliação do tempo de reverberação e inteligibilidade da fala em salas de aula. Estudo de caso em programa de pós-graduação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos tratam sobre ruídos e poluição sonora, alterações psicofísicas exercidas pelo ruído sobre o ser humano (CASTRO *ET AL*, 2015, OMS, 2014, NUNES E RIBEIRO, 2008, PIMENTEL, 1997). Por ser um tema que está sendo bastante debatido, muitos alunos e professores se questionam sobre o impacto desse ruído sobre as atividades educacionais.

A educação formal está baseada em grande parte na comunicação verbal entre professores e alunos. O excesso de ruído e de reverberação em uma sala de aula dificulta a comunicação, transformando-se em uma barreira ao processo de aprendizado (ZANNIN *et al*, 2005).

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 (RABELO *et al*, 2014).

De acordo com Eniza e Garavella (2006), o ruído urbano está cada vez mais presente no cotidiano, em residências, locais de trabalho, ambientes de lazer, hospitais e escolas, podendo prejudicar as relações sociais, a comunicação, o comportamento, o rendimento escolar e a saúde das pessoas.

Fernandes e Viveiros (2002) e Bradley (2002) sugerem que os efeitos combinados de ruído excessivo no ambiente e reverberação em salas de aula interferem no reconhecimento da fala e tendem a degradar o processo de aprendizagem.

A comunicação oral sofre interferências do ruído, um fator competitivo com a voz do professor, que compromete a inteligibilidade da fala, sendo capaz de prejudicar tanto os alunos quanto os professores. Esses profissionais necessitam aumentar a intensidade da voz para serem compreendidos e, ao mesmo tempo, o esforço dos alunos para compreender a mensagem falada é muito maior.

Hagen *et al* (2002) comentam que ouvir e escutar ainda são percebidos como um dever do estudante, e não como uma tarefa pedagógica. Ouvir não é suficiente; é necessário escutar de tal maneira que a percepção e a inteligibilidade dos sons emitidos entre alunos e professores sejam alcançadas. Os professores e alunos não estão cientes dos efeitos causados pela falta de um projeto acústico na transmissão de informações e no aprendizado.

A maioria dos problemas do ruído em sala de aula devem-se à acústica inadequada da sala. Alguns parâmetros acústicos podem ser utilizados para avaliar se um ambiente está dentro dos padrões acústicos ideais para aprendizagem. A norma americana ANSI S12.60 (2010), por exemplo, define que o ruído medido em salas desocupadas não deve exceder 35 dB e o tempo de reverberação deve ser de, no máximo, 0,6 s. No Brasil, não há ainda uma norma específica para salas de aula, com padronização para

todos esses parâmetros acústicos. A ABNT NBR 10152 (1987), que é uma norma brasileira para ruído em ambientes, em revisão no momento, pretende modificar o valor de ruído em salas de aula permitidos atualmente de 40 dB(A) (nível de conforto) a 50 dB(A) (nível aceitável) para o valor máximo de 35 dB(A).

Quando as salas de aula são construídas a partir de um projeto acústico criterioso, a comunicação ocorrerá de forma que a diferença entre o sinal (fala) e o ruído será de +15 dB, ou seja, o sinal de fala ficará 15 dB acima do ruído. Nessas salas, teoricamente, todos os estudantes teriam acesso auditivo completo da mensagem falada. Para que a fala do professor possa ser inteligível numa sala em que o ruído está em torno de 45 dB(A), como geralmente é sugerido pelas normas, o professor teria que emitir sua voz em torno de 65 dB e, para uma voz alta, porém sem gritar, poderia chegar a até 75 dB(A). Considera-se que o ruído se torna insalubre quando alcança níveis acima de 70 dB(A), podendo acarretar reações fisiológicas como estresse, infarto, perda auditiva e disfonias.

A *Acoustical Society of America* (2010), a partir da análise de várias pesquisas, recomendou, em 2002, que o nível sonoro global (discurso alvo + ruído) não seja maior do que 70 dB(A) em toda a sala, quando medido com medidor de nível de pressão sonora em escala de ponderação A.

Os ruídos intensos, acima de 90 dB(A), dificultam a comunicação verbal. As pessoas precisam falar com maior intensidade e prestar mais atenção para entender e serem compreendidas. Isso faz aumentar a tensão psicológica e o nível de atenção. Os ruídos intensos tendem a prejudicar tarefas que exigem concentração mental e certas tarefas que exigem atenção ou velocidade e precisão de movimentos, e os resultados tendem a piorar após duas horas de exposição ao ruído (IIDA, 1990).

A inteligibilidade de fala em salas é influenciada segundo Nábělek e Nábělek (1999) por três fatores: o nível da fala, a reverberação da sala e o ruído de fundo. A importância de cada um destes depende da distância do ouvinte da fonte sonora, porque os níveis dos sons diretos e refletido e o ruído de fundo variam ao longo da sala. Para uma boa inteligibilidade, a intensidade de fala diminui de acordo com a distância da fonte, a modificação da fala frequentemente pode ser necessária, especialmente em salas amplas.

O nível de ruído dentro de uma sala, proveniente de fontes de ruído externo, depende da intensidade desses ruídos, das propriedades de isolamento sonoro das divisórias que cercam a sala e da absorção sonora da sala. Os materiais de absorção servem para dois propósitos: reduzem o tempo de reverberação e reduzem o nível de ruído de fundo. Em uma sala de aula, o som da fala direta está misturado com o som de reverberação e com o ruído de fundo.

Uma boa forma de medir a relação entre a fala e o ruído da sala é pelo Índice de Inteligibilidade da Fala (IIF), que utiliza a Relação Sinal Ruído (RSR) para calcular a diferença entre o nível de pressão sonora do sinal de voz (em

decibéis) e o nível de pressão sonora do ruído (em decibéis). Relação sinal ruído (RSR) positiva explicita que o nível de pressão sonora do sinal de voz está acima do nível de pressão sonora o ruído. (ARAÚJO, 2009)

No caso de edificações de universidades, a qualidade acústica é um item pouco considerado no projeto, apesar de sua importância. Considerando a edificação estudada, inicialmente projetada e construída para funcionar como “galpão para serviços gerais”, certamente não houve a preocupação com a propagação do som nessa edificação.

As atividades principais em uma instituição de ensino são baseadas principalmente na comunicação verbal. Para que se tenha boa condição acústica para a palavra falada, o desempenho acústico das salas de aula deve ser considerado desde o projeto arquitetônico, visto que o espaço será destinado à realização de tarefas que exigem alto nível de concentração (FERREIRA, 2006).

O Tempo de Reverberação deve estar de acordo com o uso do espaço, não devendo ser longo em demasia para não perturbar a clara percepção do som, mas, também, não ser pequeno ou curto demais, o que prejudica a percepção de alguns tipos de fontes sonoras (LOSSO, 2003).

Segundo ZANNIN *et al* (2005), tempos de reverberação adequados contribuem para um melhor aprendizado nas salas de aula. No entanto, esse parâmetro tem sido frequentemente negligenciado.

A atenuação, que se define como a pressão sonora em um ponto de uma sala, depende de uma parcela de contribuição de som direto e de outra parcela do som reverberante. Se o campo sonoro reverberante for homogêneo, quando maior a distância, mais a pressão sonora iguala-se à pressão do som reverberante, uma vez que a pressão do som direto decai na razão inversa ao quadrado da distância.

Por outro lado, a pressão do som direto gerado a partir de uma fonte pontual em um ponto depende da posição dessa fonte na sala. O campo sonoro dessa fonte, a princípio omnidirecional, é alterado pela proximidade de superfícies, ganhando então direcionalidade.

No *software* REVERB 2010, o cálculo do nível de atenuação sonoro é realizado a partir de 1 m da fonte até uma distância máxima estabelecida, para dada posição da fonte na sala previamente selecionada. Em relação à fonte, ocorrem duas possibilidades, fonte pontual: uma fonte sonora pode ser considerada pontual quando sua área perpendicular à direção da propagação do som for muito menor que as áreas das superfícies da sala, tais como pessoas falando ou cantando e caixas de som, e fonte extensa: uma fonte sonora é considerada extensa quando sua área perpendicular em relação à direção da propagação do som é da mesma ordem de grandeza das áreas das superfícies da sala. São exemplos de fontes extensas grandes grupos vocais (como corais) e orquestras. No estudo será utilizada a fonte pontual, que, dependendo de sua posição na sala, assume diferentes fatores de direcionalidade (Q), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de direcionalidade (Q) em relação à posição da fonte pontual

Posição	Q
Próximo ao centro da sala	1
Centro de uma parede	2
Aresta, à meia distância entre piso e teto	4
Vértice	8

Fonte: Os autores

Para esse tipo de fonte, o nível de atenuação acústico é calculado como:

$$Lp(r) = 10 \log(\rho_0 c) + 10 \log\left(\frac{Q}{4r^2\pi} + \frac{4}{R}\right) - 26 \quad (1)$$

Sendo:

$Lp(r)$ = nível de pressão sonora à distância "d" da fonte (dB);

ρ_0 = densidade do ar (kg/m³);

c = velocidade do som (m/s);

r = distância até a fonte (m);

R = constante da sala corrigida

1.1 Justificativa

Menegon (2005) relata que a escola, seja ela de qual nível for, é a instituição que tem por objetivo o ensino de crianças, jovens e adultos. É inegável que exerce importante papel no desenvolvimento dos indivíduos e também da coletividade. Nas edificações que abrigam as escolas é de suma importância que suas dependências estejam dentro de níveis admissíveis de ruídos e sons.

Em uma pesquisa realizada nos EUA pelos doutores Gary Evans e Lorraine (EVANS e MAXWELL, 2000) concluiu-se que alunos de escolas afetadas pelo ruído de aviões não aprendiam a ler tão bem quanto alunos de escolas em regiões mais silenciosas. Déficit na leitura e nas habilidades linguísticas devido à má acústica das salas de aula são cumulativos, assim o efeito sobre estudantes mais jovens é devastador. Como resultado, os alunos têm seu processo de aprendizado prejudicado e os professores ficam sujeitos a uma carga de estresse adicional, o que pode se refletir na qualidade do ensino. Projetos de escolas que dão maior atenção para características acústicas têm como consequência melhor aproveitamento escolar (EVANS e MAXWELL, 2000).

1.2 Objetivos

Esse estudo tem como objetivo verificar o conforto acústico dos alunos por meio da verificação do tempo de reverberação, da inteligibilidade da fala e da medição de ruído de fundo em três salas de aula de uma Universidade.

2 METODOLOGIA

O estudo se dará em três partes, com a primeira parte sendo a obtenção, por meio do uso do software REVERB 2010, do tempo de reverberação e da atenuação nas três salas de aula da Universidade, e a segunda, sendo a aplicação de um teste e um questionário de inteligibilidade da fala dentro de cada sala. Já a terceira etapa consiste em medições do ruído de fundo das salas.

Para a primeira parte, foi necessário medir as salas, levantar todos os materiais constituintes das superfícies e levantar o número de elementos dentro do ambiente para inserção no software. O Software REVERB 2010 é um aplicativo livre destinado a facilitar cálculos em projetos acústicos de salas, calculando o tempo de reverberação utilizando a Equação 2, que é obtida a partir das equações de *Sabine-Franklin* (Equação 3), utilizada no estudo em questão, ou de *Norris-Eyring* (Equação 4), conforme a NBR 12179:1992, e a atenuação de ambientes. Os dados obtidos e características gerais das salas estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - características das salas

Sala 1		Sala 2		Sala 3	
Tipo de Material	m²	Tipo de Material	m²	Tipo de Material	m²
Parede de Alvenaria	13,73	Parede de Alvenaria	8,18	Parede de Alvenaria	61,09
Painéis de Placas Cimentícias	48,96	Painéis de Placas Cimentícias	55,33	Parede de Concreto	55,60
Divisória	8,63	Porta de Madeira	2,26	Janelas na Parte Superior	6,56
Porta de Madeira	2,25	Pilar de Concreto	5,64	Porta de Madeira	2,38
Pilar de Concreto	2,16	Laje de Concreto	33,92	Pilar de Concreto	11,17
Laje de Concreto	27,50	Piso de Paviflex	33,92	Vigas da Laje de Concreto	82,50
Forro de Gesso	17,53			Laje de Concreto	102,09
Piso de Paviflex	45,03			Piso de Paviflex	117,56

Fonte: Os autores

$$T60 = 55,3 \frac{V}{cA} \quad (2)$$

Sendo:

T60 = tempo de reverberação por banda de oitava (s)

V = volume da sala (m³)

c = velocidade do som (m/s)

A = absorção da sala por banda de oitava (m²)

$$A = \sum_i \alpha_{sab_i} S_i + \sum_j A_j n_j \quad (3)$$

Sendo:

α_{sab_i} = coeficiente de absorção de Sabine do material i

S_i = área da superfície interna coberta pelo material i (m²)

A_j = absorção unitária do elemento do tipo j (m²)

n_j = quantidade de elementos isolados do tipo j

$$A = -S \ln (1 - \bar{\alpha}) \quad (4)$$

Sendo:

S = área total das superfícies internas da sala (m^2)

$\bar{\alpha}$ = coeficiente médio de absorção: $\bar{\alpha} = \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S}$

α_i = coeficiente de absorção estatístico do material i

No uso do *software*, deve-se caracterizar uma sala em termos de volume interno e uso acústico predominante (que condicionam um tempo de reverberação ótimo) e montar a lista de suas superfícies internas. Além disso, deve definir a posição da fonte sonora para obtenção da atenuação sonora em função da distância até a fonte, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Maior distância entre a fonte e o ouvinte por sala

Sala	Maior distância fonte/ouvinte (m)
Sala 1	7,50
Sala 2	6,50
Sala 3	10,50

Fonte: Os autores

O uso do *software* é dividido em quatro etapas, tendo como primeira etapa a informação prestada pelo usuário das características da sala. Como segunda etapa, o usuário deve informar os materiais das superfícies da sala e como terceira etapa, deve informar os elementos presentes na sala, como número de cadeiras e estudantes, tendo como conclusão a quarta etapa, que é a obtenção dos resultados de tempo de reverberação e atenuação da sala.

Como resultado, o tempo de reverberação calculado em função do volume da sala e da absorção de suas superfícies deve ser aproximadamente igual ao tempo de reverberação ótimo, por frequência central das bandas de oitava de 125 a 4000 Hz. O *software*, ao expressar os resultados finais obtidos para tempo de reverberação por meio de tabela, apresenta valores importantes para o estudo. Um dos valores corresponde é a absorção total, que é o somatório das absorções de superfícies e elementos. Outros valores apresentados pelo *software* são os T60 ótimos, que são os valores de tempo de reverberação ótimo em função do volume da sala e do uso acústico, além da apresentação dos valores de T60 calculado, que é o tempo de reverberação calculado pela equação selecionada na tela principal do programa, e do T60 corrigido, que é o T60 calculado, corrigido pela temperatura e pela umidade relativa da sala.

Para o uso do *software*, os elementos foram considerados como número de cadeiras e alunos dentro da sala, não entrando em detalhes como computadores, mesas, quadro negro e outros. Além disso, neste estudo são utilizados os materiais cadastrados dentro do *software*, escolhendo os materiais idênticos ou mais próximos possíveis dos materiais constituintes de cada sala.

Para a segunda parte, foi aplicado primeiramente o teste de inteligibilidade da fala dentro das três salas com quinze participantes, com o intuito de avaliar as salas em relação à percepção dos alunos quanto à inteligibilidade da fala do locutor. O locutor leu um conjunto de dez palavras em cada sala, uma por vez e os participantes escreveram na Ficha Resposta as palavras que entenderam. Ao final dos testes foi realizada a tabulação dos erros e acertos de cada participante.

Além disso, foi realizado um questionário junto aos alunos, composto por cinco questões relacionadas ao conforto acústico, presença de ruídos e inteligibilidade da fala dentro das três salas.

Por fim, realizou-se a medição no local do ruído. Essa medição aconteceu com a sala vazia com o intuito de medir somente o ruído de fundo. Para essa medição, foi utilizado o equipamento Minipa MSL-1352C, ponderado na curva de calibração A, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 10151:2000. As medições aconteceram durante 10 minutos no período compreendido entre às 9:50-10:00 horas e das 13:50-16:00 horas, durante o período de aulas, sendo definidos intervalos de registro de dados de 5 segundos, no nível de resposta rápida (fast) do equipamento, durante o período de medição.

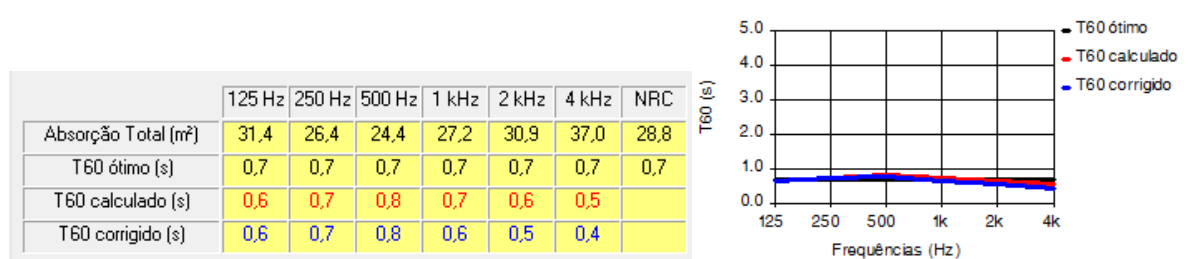
Após as leituras, calculou-se o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A utilizando a Equação 5, onde L_i é o nível de pressão sonora lido em resposta rápida (fast) a cada 5 segundos, durante o período de medição do ruído e n é o número total de leitura.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (5)$$

3 RESULTADOS

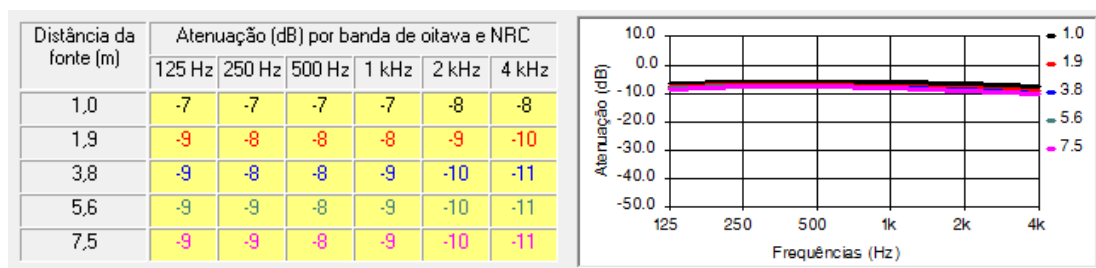
O tempo de reverberação e a atenuação foram obtidos para cada uma das três salas, com o uso do *software* Reverb 2010. Os resultados obtidos estão indicados nas Figuras de 1 a 6.

Figura 1 – Tempo de Reverberação para a Sala 1



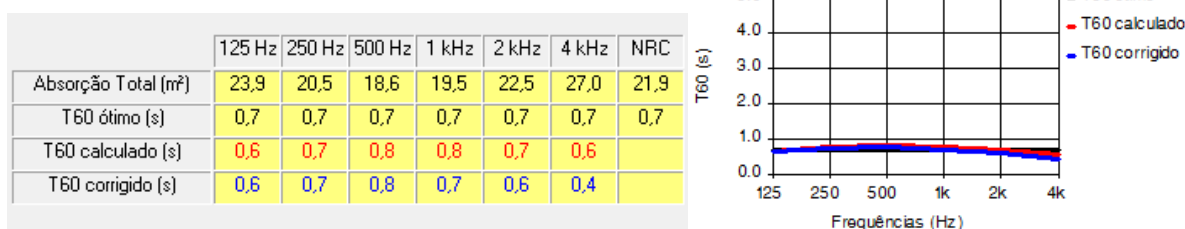
Fonte: Software REVERB

Figura 2 – Atenuação para a Sala 1



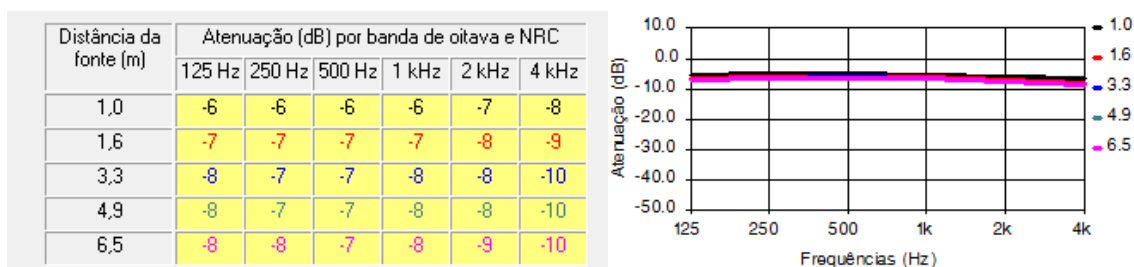
Fonte: Software REVERB

Figura 3 – Tempo de Reverberação para a Sala 2



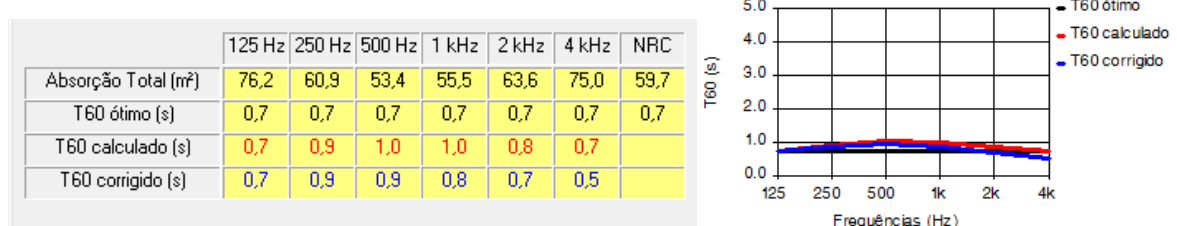
Fonte: Software REVERB

Figura 4 – Atenuação para a Sala 2



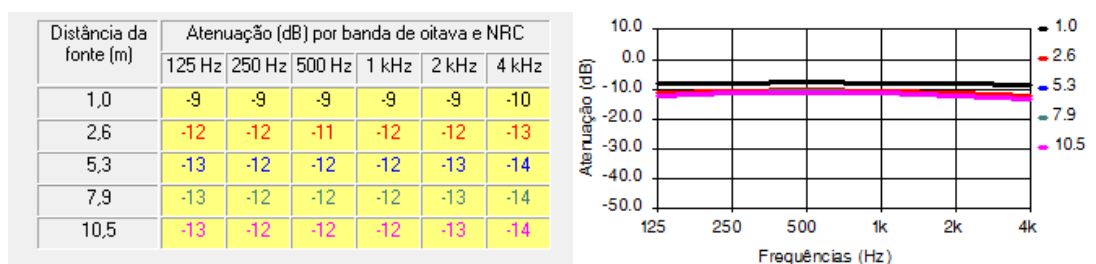
Fonte: Software REVERB

Figura 5 – Tempo de Reverberação para a Sala 3



Fonte: Software REVERB

Figura 6 – Atenuação para a Sala 3



Fonte: Software REVERB

Os resultados obtidos em relação ao estudo de inteligibilidade da fala

seguem nas Tabela 4 e 5.

Tabela 4 – Estudo de inteligibilidade da fala

Salas	Total de Palavras	Acertos	Erros	(%) Erros
Sala 1	150	112	38	25,33%
Sala 2	150	122	28	18,67%
Sala 3	150	136	14	9,33%

Fonte: Os autores

Tabela 5 – Questionário de inteligibilidade da fala

Questionário			
	Sala 1	Sala 2	Sala 3
Número de Alunos	8	11	14
Sexo	7 Homens e 1 mulher	7 Homens e 4 mulheres	2 Homens e 12 mulheres
Média de Idade	28,75	31,72	20,69
Consegue entender todas as palavras ditas pelo professor durante as aulas?	7x - Sim e 1x - Mais ou menos	10x - Sim e 1x - Mais ou menos	9x - Sim e 5x - Mais ou menos
Como considera a sala de aula?	5x - Barulhenta e 3x - Silenciosa	3x - Barulhenta e 8x - Silenciosa	9x - Barulhenta e 5x - Silenciosa
Normalmente, senta em que local da sala de aula?	5x - No Meio e 3x - Na Frente	5x - No fundo, 3x - No Meio e 3x - Na Frente	1x - No fundo, 6 - No Meio e 7x - Na Frente
O ruído externo a sala de aula te incomoda?	2x - Sempre, 5x - Eventualmente e 1x - Nunca	2x - Sempre e 9x - Eventualmente	1x - Sempre, 5x - Eventualmente e 8x - Nunca
E o ruído dentro?	1x - Sempre, 4x - Eventualmente e 3x - Nunca	8x - Eventualmente e 3x - Nunca	5x - Sempre, 7x - Eventualmente e 2x - Nunca

Fonte: Os autores

Diferentemente das demais salas, a sala 1 estava com o ventilador ligado durante a aplicação do estudo de inteligibilidade, podendo ser o motivo da quantidade de erros apresentados.

Em relação às medições no local, verificou-se que as salas estão de acordo com a ABNT NBR 10152. Na sala 1 os níveis de intensidade sonora equivalente foram de 44.6 dB e 46.1 dB, nos períodos da manhã e tarde, respectivamente, com o ventilador desligado. Ainda na Sala 1, mediu-se 58,7 dB e 58,4 dB, com o ventilador ligado. Na sala 2 os níveis de intensidade sonora equivalente foram 40.3 dB e 40.9 dB, enquanto na sala 3 os níveis foram de 39.3 dB e 40.4 dB.

Observando os resultados obtidos, observou-se que apesar da grande quantidade de erros no teste de inteligibilidade da fala na Sala 1, as sala em geral estão adequadas ao propósito a que foram construídas, quando analisada com o ventilador desligado. Analisando a quantidade de ruído na Sala 1 com o ventilador ligado, verifica-se que houve um aumento considerável na intensidade de ruído desse sala, podendo justificar assim, a quantidade de erros cometidos no teste de inteligibilidade.

4 CONCLUSÕES

Os valores encontrados com o uso do *software* REVERB 2010 para o Tempo de Reverberação das três salas estão muito próximos um do outro e muito próximos do valor T60 ótimo, com os valores próximos ao recomendável para salas de aula de 0,6 segundos de tempo de reverberação.

O questionário de inteligibilidade apresenta uma posição favorável para as salas em relação ao conforto acústico percebido pelos alunos. Porém, o resultado do estudo de inteligibilidade da fala demonstra um sério problema para a sala 1, apresentando um elevado número de erros em relação ao total. Esse elevado número de erros pode ser explicado por conta do ruído gerado pelo ventilador ligado e a possibilidade de influência negativa da leitura do locutor durante o teste nesta sala. Por esse motivo, se fazem necessárias ponderações sobre a aplicação do teste, com a sugestão para trabalhos futuros onde o teste seria aplicado por meio de um mesmo aparelho de som com uma única gravação de áudio (mesmo locutor, mesma dicção), com a mesma frequência e intensidade sonora para todas as salas estudadas.

Em relação às medições no local, as salas se mostraram confortáveis conforme a ABNT NBR 10152.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152. Acústica – níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR 10151. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. ANSI S12.60-2010 - American National Standard: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Part 1: Permanent Schools; Melville, NY: Acoustical Society of America; 2010.

ARAÚJO, F. C. R. S. Inteligibilidade de fala em sala de aula e o ruído de tráfego urbano: modelagem e inter-relações. Dissertação de Mestrado. Universidade da Amazônia. Belém, 2009.

BRADLEY, J. S. Optimising Sound Quality for Classrooms. In: ENCONTRO DA SOBRAC, 20., 2002; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2., 2002, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2002.

CASTRO, T. M. et al. Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil. Revista de engenharia sanitária e ambiental. Vol. 20, nº , pag 47-54, 2015.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Desempenho de edificações

habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

ENIZA, A. O. Poluição Sonora em Escolas do Distrito Federal. Brasília, 2004. Dissertação de Mestrado - Universidade Católica de Brasília.

ENIZA, A.; GARAVELLIA, S. L. Acústica de sala de aula: estudo de caso de 2 escolas da rede provada do Distrito Federal. Revista de Acústica e Vibrações, n. 31, jul. 2003.

EVANS, G. W.; MAXWELL, E. L. The Effects of Noise on Pre-School Children's Pre-Reading Skills. Journal of Environmental Psychology, v. 20, p. 91-97, 2000.

FERNANDES, A. G.; VIVEIROS, E. B. Impacto do Ruído de Tráfego em Edificações Escolares: uma metodologia de avaliação para o planejamento urbano. In: ENCONTRO DA SOBRAC, 20.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 2., 2002, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2002.

FERREIRA, A. M. C. Avaliação do Conforto Acústico em Salas de Aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná. 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic School Sasing. In: INTERNATIONAL FORUM ACUSTICUM SEVILHA, Sevilha, 2002. Proceedings... Sevilha, 2002. 1 CD-ROM.

HODGSON, M. Case-Study Evaluations of the Acoustical Designs of Renovated University classrooms. Applied Acoustics, Oxford, v. 65, n.1, p. 69-89, 2004.

IIDA, Itiro. Ergonomia: Projeto e Produção. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1995.

LOSSO, M. A. F. Qualidade Acústica de Edificações Escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação. 2003. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MENEGON, L. D. O ruído nas escolas e os problemas de saúde gerados a longo prazo de exposição. Bauru, SP, 2005. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade de São Paulo – USP.

NÁBĚLEK, A.; NÁBĚLEK, I. Acústica da sala e a percepção da fala. In : Kartz J. Tratado de audiologia clínica. São Paulo: Manole: Manole; 1997. p.617-30.

NUNES, M; RIBEIRO, H. Interferências do ruído do tráfego urbano na qualidade de vida: zona residencial de Brasília/DF. Cadernos metrópole. Vol 19, p. 319-338. 2008.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – Disponível em < <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise> > - Acesso 02/12/2015.

PIMENTEL-SOUZA F. Efeitos do ruído estressante. Anais da 49ª Reunião Anual da SBPC, vol. 1. 2007

RABELO, A. T. V. et al. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. Departamentos de Fonoaudiologia e Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – Belo Horizonte (MG), Brasil, 2014.

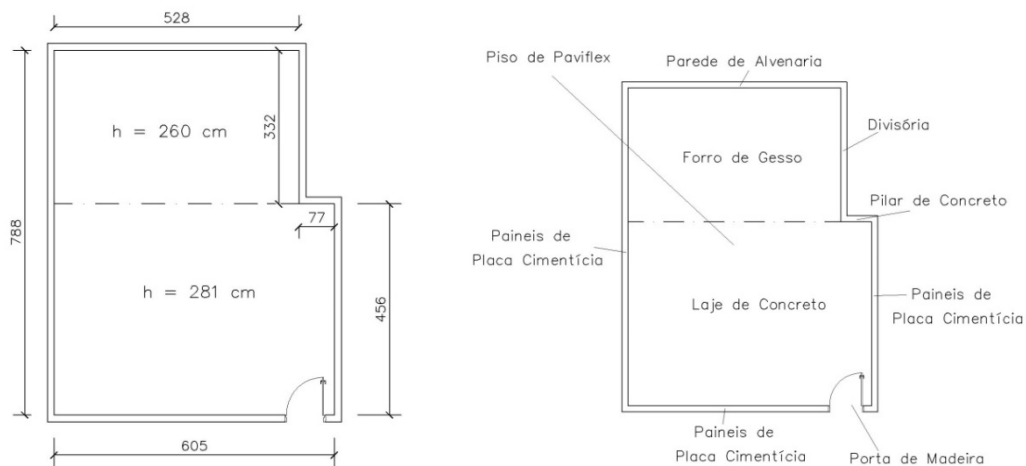
Software Reverb 2010. Autor Desenvolvedor: João Roberto Gomes de Faria. Versão completa e livre.

Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America. Classroom Acoustics II. Acoustical barriers to learning. Melville, NY: Acoustical Society of America; 2002.

ZANNIN, P. H. T. et al. Comparação entre tempos de reverberação calculados e medidos. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p. 75-85, out-dez. 2005.

ANEXO

- Sala 1:

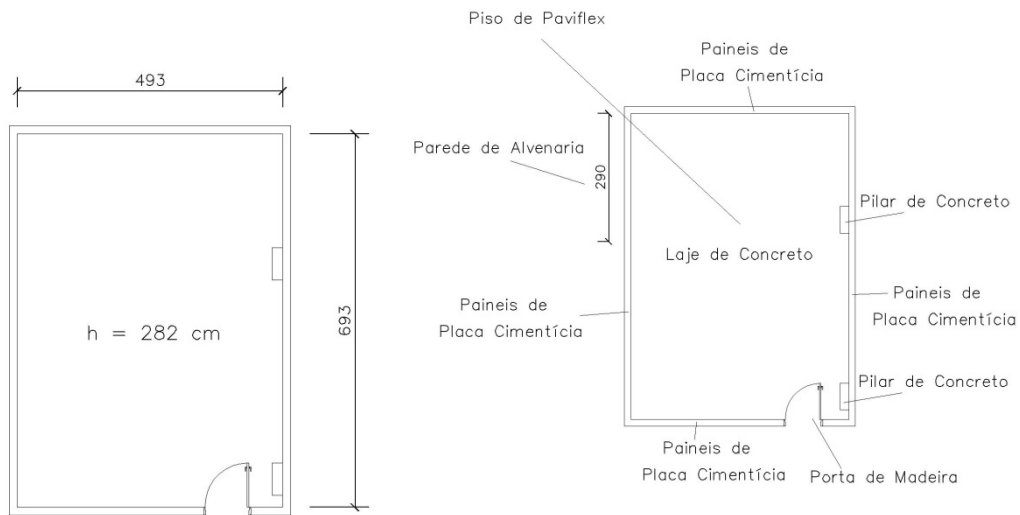


Fonte: Os autores



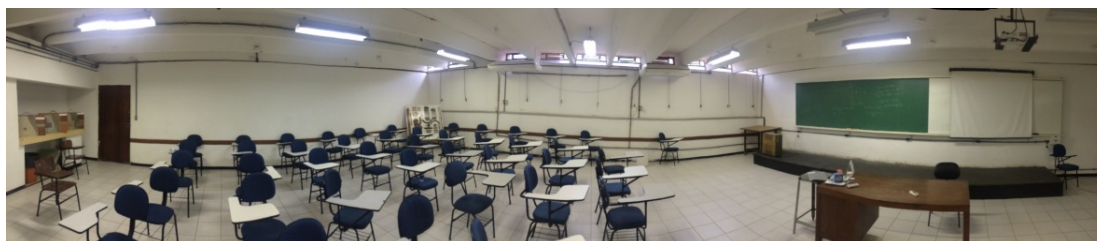
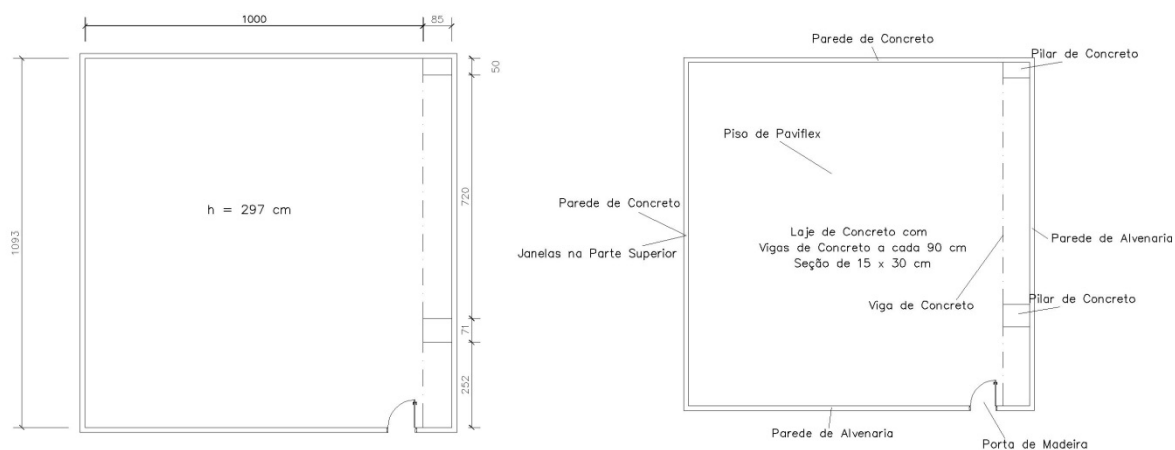
Fonte: Os autores (2016)

- Sala 2:



Fonte: Os autores (2016)

Sala 3:



Fonte: Os autores (2016)