

# CARACTERIZAÇÃO *IN LOCO* DA QUALIDADE ACÚSTICA DAS SALAS DE AULA DAS ESCOLAS DE ENSINO FUNDAMENTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA, RS - BRASIL.

**Raquel R. Rocha, Andrey R. Da Silva**

Universidade Federal de Santa Maria  
raquel.rocha@eac.ufsm.br  
andrey.dasilva@eac.ufsm.br

## **Resumo**

A inteligibilidade da fala é uma medida da relação entre as palavras faladas e entendidas, a qual pode ser estimada a partir de alguns parâmetros acústicos como o tempo de reverberação e o ruído de fundo. Salas de aula que apresentam valores inadequados de tais parâmetros acabam por interferir de forma negativa no processo de aprendizagem. O objetivo desse trabalho é caracterizar a qualidade acústica de salas de aula pertencentes às escolas de ensino fundamental na região sul do Brasil, baseando-se nos parâmetros que regem a inteligibilidade da fala. Para tanto são realizadas medições de ruído de fundo e tempo de reverberação, e seus resultados comparados com as recomendações de normas e estudos relacionados. Os resultados mostram que as escolas analisadas não se enquadram nas normas e recomendações disponíveis na literatura. O presente artigo discute soluções relativamente simples e de baixo custo que podem contribuir para a melhora da qualidade do som nas salas de aula estudadas.

**Palavras-chave:** qualidade acústica, inteligibilidade da fala, ruído de fundo, tempo de reverberação.

## **Abstract**

Speech intelligibility is a measure of the relationship between words spoken and understood, which can be estimated from the reverberation time and background noise. Classrooms that have inappropriate values of these parameters turn out to have a negative impact on the learning process. The aim of this study is to characterize the acoustical quality of classrooms belonging to the elementary schools in southern Brazil, based on the parameters governing the intelligibility of speech. For both measurements are carried out background noise and reverberation time and the results compared with the recommended standards and related studies. The results show that no school fits analyzed predict what the standards and recommendations available in the literature. This article discusses some relatively simple solutions and low-budget that may contribute to the improvement of sound quality in the classrooms studied.

**Keywords:** acoustic quality, speech intelligibility, background noise, reverberation time.

**PACS no. 43.55.Br**

## **1 Introdução**

A exposição das crianças ao ruído crônico em ambientes de ensino trazem consequências negativas ao processo de aprendizado. Tais consequências se manifestam em processos cognitivos sob forma de dispersão de atenção em sala de aula, dificuldade de leitura e, sobretudo, capacidade motivacional. No

último caso, Maxwell e Evans [1] mostram evidências de que grupos de crianças expostas ao ruído crônico nas imediações de aeroportos possuem mais dificuldade e menos persistência em resolver exercícios cognitivos quando comparados com grupos de crianças vivendo em regiões mais silenciosas. Neste sentido, Shield e Duckrell [2] salientam que exercícios relacionados à leitura, e aqueles com alta demanda cognitiva envolvendo resolução de problemas e memória, parecem ser os mais afetados pela exposição ao ruído crônico. Dreossi [3] pesquisou a interferência do ruído sobre a percepção da fala em crianças através da aplicação de listas de palavras e frases que deveriam ser ouvidas e repetidas pelos alunos em situações distintas envolvendo alto e baixo ruído de fundo. Os resultados mostraram uma piora significativa no processo e captura da fala em situações envolvendo alto ruído de fundo. Além disso, percebeu-se que alunos expostos a esta situação mostravam-se incomodados e apresentavam maiores graus de distração.

As pesquisas conduzidas por Jaroszewski et Al. [4] e Libardi et Al. [5] realizaram medições do ruído de fundo e avaliaram a sua interferência durante a atividade de leitura e ditado em salas de aula por meio de questionários submetidos aos alunos. Os resultados mostraram que o ruído medido em sala, embora estivesse acima do sugerido pelas normas brasileiras, não interfere nos resultados durante a atividade de ditado. No entanto, percebeu-se que os professores elevavam seu tom de voz durante a atividade como meio de compensação ao alto ruído de fundo. Por consequência, este mecanismo de compensação gera problemas de saúde aos professores [4][5][6].

Alguns resultados interessantes apresentados por Eniz e Garavelli [7] indicam que fontes de ruído externos à sala de aula contribuem para o aumento do ruído interno produzido pelos próprios alunos, o qual potencializa as dificuldades de comunicação e aprendizagem já descritas e degrada a saúde daqueles que trabalham em tais ambientes.

Apesar de todas as implicações do ruído de fundo em ambientes de ensino, o principal problema da acústica de salas de aula está relacionado com a inteligibilidade da fala (IF) [2][8][9]. A IF indica, em porcentagem, a relação das palavras faladas pelo emissor e entendidas pelo receptor. Basicamente, a IF pode ser medida diretamente através de testes subjetivos envolvendo sujeitos distribuídos dentro de uma sala [10], ou estimada indiretamente através de parâmetros acústicos [11]. Pesquisas mostram que a combinação excessiva de ruído de fundo e da reverberação em salas de aula, podem ocorrer juntos uma devastação de efeitos na qualidade da recepção do sinal da fala para os estudantes [6][8][12][13], em vista disso, os principais parâmetros que regem a IF são o ruído de fundo e o tempo de reverberação.

O principal objetivo deste trabalho é avaliar a qualidade acústica de salas de aula do ensino fundamental na região sul do Brasil através dos parâmetros acústicos que regem a inteligibilidade da fala. Além disso, pretende-se sugerir, a partir dos resultados obtidos, melhorias acústicas de fácil implementação.

O presente trabalho está estruturado na seguinte forma: Na Seção 2, apresentam-se os procedimentos experimentais utilizados na aferição das características acústicas das salas de aula envolvidas. A Seção 3 apresenta os resultados das medições do tempo de reverberação e do ruído de fundo, para diversas escolas públicas e privadas. A Seção 4 apresenta as conclusões e sugestões de melhoria, baseando-se nos resultados obtidos. Por fim, a Seção 5 apresenta algumas discussões e conclusões obtidas ao longo do trabalho.

## **2 Procedimentos experimentais para a caracterização acústica**

O ruído de fundo é produzido tanto fora da sala de aula quanto dentro, ele pode ter origens internas como o ruído de salas adjacentes e dos corredores, externas como autoestradas, aeroportos e vias férreas e também de equipamentos como ventiladores e aparelhos multimídia, todas essas fontes de ruído de fundo podem interferir na percepção da fonte sonora de interesse, no caso da sala de aula a fonte de interesse é o professor [6][10]. A reverberação ocorre em espaços fechados, como no caso da

sala de aula, esse fenômeno acústico acontece quando o som persiste nesse espaço devido às reflexões repetitivas ou devido o espalhamento nas superfícies da sala. Assim sendo, o tempo de reverberação é o intervalo de tempo necessário para o som decair 60 dB após a interrupção da fonte de interesse, quando esse tempo é longo ocorre um mascaramento das consoantes pelas vogais devido ao efeito da sobreposição das sílabas [10][14][15].

## 2.1 Medição do ruído de fundo

O objetivo dessa medição foi avaliar o ruído no interior dessas salas e seus agentes causadores, além disso, fazer uma comparação entre os resultados do nível de pressão sonora (NPS) das escolas com a norma brasileira [16] e americana [17]. Para a medição do NPS utilizou-se ponderação A em virtude da exigência das normas, essa ponderação simula as variações da sensibilidade do ouvido em frequências distintas [10]. Realizou-se então, o mapeamento do ruído nas sete escolas que aceitaram participar do projeto, são elas:

Tabela 1 - Escolas que foram realizadas as medições, numeradas respectivamente.

Nome das escolas	Tipo	Número de alunos por turno	Número de alunos na sala
1. Escola Estadual de Ensino Fundamental General Gomes Carneiro	Pública	250	20
2. Escola Municipal Duque de Caxias	Pública	350	21
3. Colégio Estadual Coronel Pilar	Pública	600	20
4. Escola Básica Cícero Barreto	Pública	375	21
5. Escola Estadual Olavo Bilac	Pública	250	26
6. Colégio Nossa Senhora de Fátima	Privada	800	27
7. Colégio Adventista de Santa Maria	Privada	200	26

Para manter um padrão nas diversas instituições de ensino realizaram-se medições de trinta minutos após o intervalo dos alunos, em turmas com faixa etária entre 8 e 11 anos. Utilizou-se um sistema de gravação portátil da marca B&K, tipo SonoScout, com dois microfones binaurais, os quais foram posicionados no meio de um dos quadrantes da sala, normalmente localizado ao fundo.

## 2.2 Medição do tempo de reverberação

Por questões de economia de tempo, optou-se por avaliar o tempo de reverberação apenas na escola eleita como a mais ruidosa, de acordo com as medições descritas na Seção 2.1. Utilizou-se para a medição o programa Dirac da marca B&K, de acordo com a norma ISO 3382 [18], o sistema de medição foi montado conforme mostra a Figura 1.

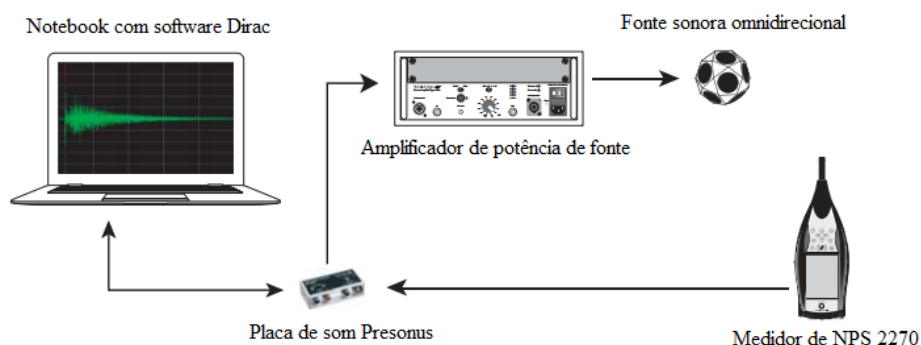


Figura 1 – Esquema do sistema de medição do tempo de reverberação [19].

O sistema de medição vai indicar como a sala se comporta com impulsos emitidos pela fonte, por um sinal tipo varredura. O tempo de reverberação final será a média dos valores medidos em diferentes locais dentro da sala. É importante lembrar que, o intervalo de tempo após a fonte sonora interromper sua emissão do sinal até ele decair 60 dB é o tempo de reverberação. A Figura 2 mostra a fonte sonora na sala de aula da escola municipal Duque de Caxias para a realização dessa medição.



Figura 2 - Medição do tempo de reverberação na Escola Municipal Duque de Caxias.

### 3 Resultados das medições para a caracterização acústica

#### 3.1 Resultado das medições do ruído de fundo e da paisagem sonora

As características acústicas de cada sala de aula variam com a escola, entretanto um fator em comum foi que as escolas que apresentaram elevados índices de NPS possuem alguma fonte de ruído de fundo. Nas escolas analisadas as fontes de ruído de fundo são oriundas de fontes internas como acontece nas escolas Adventista, Cícero Barreto, Duque de Caxias e Gomes Carneiro onde o ruído do próprio pátio da escola perturba a aula, e ainda na escola Duque de Caxias a pracinha da escola esta localizada ao lado da janela da sala de aula conforme mostra a Figura 3. Também encontrou-se fonte de ruído externo no Colégio Fátima que apesar dos alunos estarem em silêncio o ruído do fluxo

intenso de automóveis atrapalha a comunicação do professor com os alunos. Fonte de ruído mecânico esta presente também nas escolas Coronel Pilar e Duque de Caxias onde o ventilador é muito ruidoso. Além disso, o nível de agitação dos alunos em sala de aula nas escolas Adventista, Duque de Caxias e Gomes Carneiro excediam sensivelmente ao das demais instituições.



Figura 3 - Pracinha ao lado da janela da sala de aula pode colaborar para o aumento do ruído de fundo da Escola Municipal Duque de Caxias.

Realizou-se com os resultados das medições do NPS em ponderação A um ranking entre as escolas para comparar com as normas, conforme mostra a Figura 4. Lembrando que as escolas estão numeradas como mostra a Tabela 1.

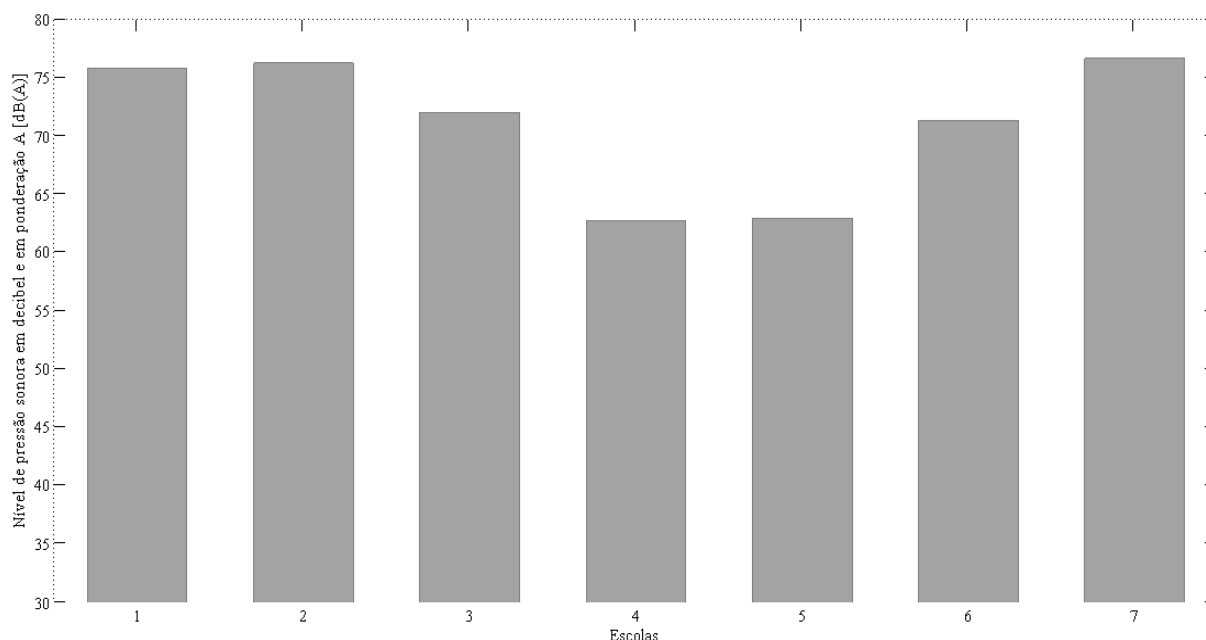


Figura 4 – Gráfico do ranking do nível de pressão sonora das escolas em ponderação A, dB(A). (escolas numeradas conforme Tabela 1).

Assim, através da Figura 4 percebe-se que as fontes de ruído externo contribuem significativamente para o aumento do NPS, o que, por consequência, pode afetar a inteligibilidade da fala. Além disso, a NBR 10152 [16] demanda que os níveis de pressão sonora para um conforto acústico devem se situar entre 40 a 50 dB(A) e a ANSI [17] estimula que para salas de aula pequenas o NPS deve ser menor que 35 dB(A). O que comprova que nenhuma das escolas analisadas se enquadra no que preveem as normas, visto que o menor nível de pressão sonora medido entre as escolas foi de 63dB(A) e o maior nível de pressão sonora foi de 77dB(A).

### 3.2 Resultado do tempo de reverberação da sala de aula

O tempo de reverberação encontrado na sala de aula da Escola Municipal Duque de Caxias é dado em função das bandas de frequência de 1/3 de oitava através da Figura 5 abaixo.

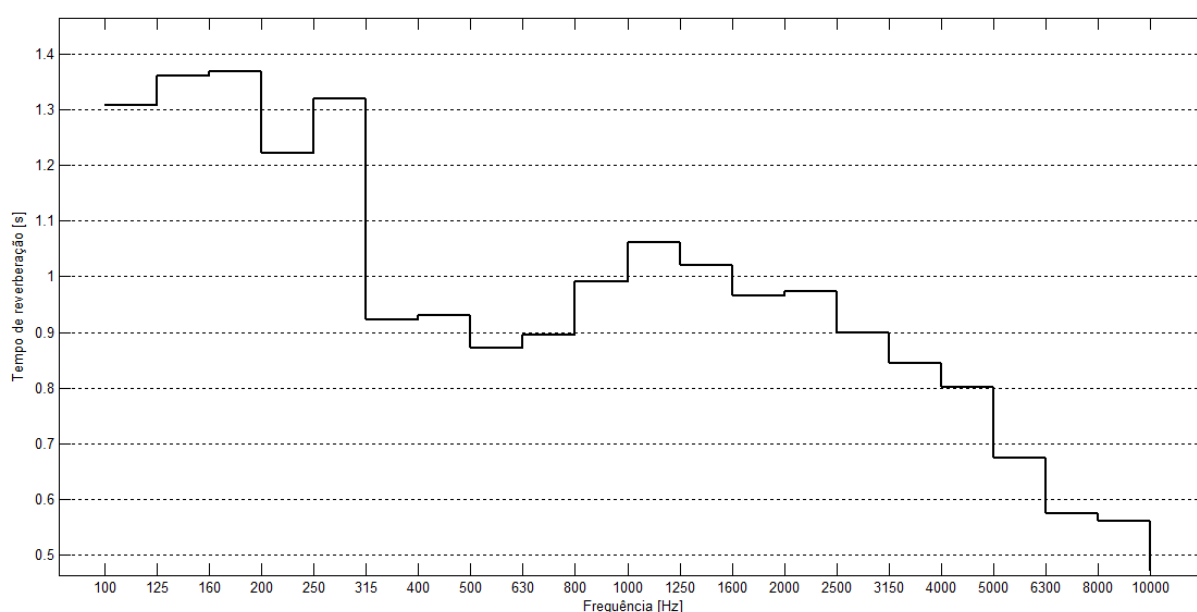


Figura 5 - Resultado encontrado para o tempo de reverberação de acordo com a norma ISO 3382, na Escola Municipal Duque de Caxias.

A média ponderada do tempo de reverberação ao longo da frequência foi de 0.99 segundos. O tempo de reverberação recomendado varia entre 0.4 a 0.6s [10], ou menor que 0.8s [14][15], ou entre 0.5 a 0.8s variando conforme com o volume da sala [17].

## 4 Solução acústica para os resultados encontrados para essas salas de aula

### 4.1 Soluções gerais para os problemas acústicos encontrados na salas de aula avaliadas

Um dos principais problemas acústicos encontrados foi o excesso de ruído de fundo, oriundo de diversos tipos de fontes externas e internas à sala de aula. Ao diminuir o ruído de fundo, há um aumento da razão sinal/ruído e, conseqüentemente a melhoraria da inteligibilidade da fala. Um *layout* adequado e devidamente planejado para a escola resolveria grande parte dos problemas acústicos ocasionados pelo ruído de fundo.

Para amenizar os ruídos externos à sala de aula, deve-se planejar melhor a posição das janelas, corredores e portas [8][10][17]. Como por exemplo, as portas não devem ficar frente a frente e nem lado a lado, isso facilitaria a transmissão sonora entre as salas devido à trajetória curta e sem obstáculos [10]. Outro detalhe importante é a localização das escolas longe de autoestradas, vias férreas e aeroportos, além disso, banheiros, cozinhas e ginásios de esportes devem ficar afastados das salas de aula. Para a redução de ruídos internos à sala de aula, deve-se escolher equipamentos que possuem uma baixa emissão de ruído como ventiladores, ar condicionado, sistema multimídia e lâmpadas, mais silenciosos [10][17]. Todos esses exemplos constroem uma escola com um *layout* acusticamente adequado.

Nas escolas analisadas foram encontrados alguns exemplos de *layout* inadequado. A escola Cícero Barreto possui as janelas ligadas ao pátio da escola (ver Figura 6) e na escola Duque de Caxias a pracinha é localizada ao lado da sala de aula (ver figura 3). Nesses casos, o ruído externo à sala de aula pode transmitir-se facilmente para dentro dela.



Figura 6 - Escola Cícero Barreto, janelas voltadas para o pátio da escola podem contribuir com o aumento do ruído de fundo da sala.

### 4.2 Soluções para a sala de aula da Escola Municipal Duque de Caxias

A sala de aula da Escola Municipal Duque de Caxias possui ruído de fundo originado do próprio pátio da escola, do ventilador, da pracinha ao lado da sala e dos próprios alunos. Como a reformulação do *layout* da escola é uma solução inviável devido ao alto custo, algumas medidas simples e de baixo orçamento podem ser aplicadas nessa sala de aula.

Para diminuir o efeito do ruído de fundo, deve-se possuir janelas e portas bem vedadas para impedir a transmissão do som. Medidas de conscientização dos alunos e professores também serão necessárias, como por exemplo, na hora da explicação do conteúdo os alunos devem manter-se em silêncio, evitar

portas e janelas abertas e também arraste de mesas e cadeiras. A redução do tamanho da turma seria outra opção, visto que diminuiria a conversa entre os alunos.

O alto tempo de reverberação nas baixas frequências é outro problema acústico encontrado nessa escola conforme mostra a Figura 5. Devem-se absorver as baixas frequências com o uso de painéis de membrana e aumentar o espalhamento das altas frequências, com o uso de difusores para alta frequência. Outro detalhe importante é evitar paredes e pisos reflexivos.

## 5 Conclusão

Sala de aula com boa inteligibilidade da fala requer um curto tempo de reverberação e um ruído de fundo aceitável. Conforme mostra a Figura 4 nenhuma das escolas analisadas se enquadram no que preveem as normas, elas estipulam que o NPS deve ser menor que 50 dB(A) porém a escola com menor NPS possui 63 dB(A), as fontes de ruído identificadas são oriundas de autoestradas, dependências internas, entre outras, mas principalmente do corredor da própria escolas. Outro parâmetro em análise é o tempo de reverberação, que em geral deve ser menor que 0.8s, porém na escola Duque de Caxias resultou em 0.99s como mostra a Figura 5.

Não existe uma “receita” para tratamento acústico de todos os tipos de sala de aula. Para as situações encontradas na qualificação acústica dessas escolas, as principais soluções para ter uma sala de aula adequada seriam um *layout* que favoreça a acústica da escola como ter janelas e portas vedadas, equipamentos mais silenciosos e evitar pisos e paredes reflexivos. Controlar a reverberação nas altas frequências com absorvedores e nas baixas frequências com painéis de membrana. Existe também uma necessidade da conscientização das pessoas envolvidas no ambiente escolar e dos agentes responsáveis sobre o problema da acústica de salas de aula brasileiras. Vale lembrar que uma sala de aula com uma acústica favorável antes de ser construída, pouparia possíveis gastos futuros.

Espera-se no próximo trabalho fazer simulações no programa de acústica de salas chamado Odeon, na sala de aula da escola municipal Duque de Caxias para conferir as soluções acústicas citadas no Item 4.2 e aprimorar o tratamento acústico dessa sala. Além disso, uma cartilha com soluções acústicas simples será distribuída nas escolas de rede pública da cidade de Santa Maria.

## Referências

- [1] Maxwell, L. E.; Evans, G. W. Design of Child Care Centers and Effects of Noise on Young Children. *Cornell University*, 2000. <http://www.nonoise.org/quietnet/qc/>.
- [2] Shield, B. M.; Duckrell, J. E. The effects of noise on children at school: a review. *Building Acoustics*, Vol. 10(2), 2003, pp. 97 – 116.
- [3] Dreossi, R.C.F. Ruído e reconhecimento da fala em crianças da 4ª série do ensino fundamental. *Dissertação de mestrado, estudo pós graduados em Fonoaudiologia*, São Paulo: PUC-SP, 2003.
- [4] Jaroszewski, G. C.; Zeigelboim, B. S.; Lacerda, A. Ruído escolar e sua implicação na atividade do ditado. *Revista CEFAC*, Vol.9(1), 2007, pp. 122 – 132.
- [5] Libardi, A.; Gonçalves, G. G. de O.; Vieira, T. P. G.; Silverio, L. C. A.; Rossi, D.; Penteadó, R. Z. O ruído em sala de aula e a percepção dos professores de uma escola de ensino fundamental de Piracicaba. *Revista Distúrbios na comunicação*, Vol.18(2), 2006, pp. 167 – 178.



- [6] Smaldino, J.. Classroom Acoustics, importance to successful listening & successful. *Northern Illinois University*. [http://www.learn.niu.edu/flash/projectreal/classroom\\_acoustics\\_intro.swf](http://www.learn.niu.edu/flash/projectreal/classroom_acoustics_intro.swf).
- [7] Eniz,A; Garavelli,S. S. L. A contaminação acústica em ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. *Holos Environment*, Vol. 6(2), 2006, pp. 137.
- [8] Wetherill, E. A.; Classroom Design for Good Hearing. *Noise Pollution Clearinghouse*, 2002.
- [9] Yang, W.; Brandley, J.S. Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for Young children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2009.
- [10] Seep, B.; Glosemeyer, R.; Hulce, E.; Linn, M.; Aytar, P.; Coffeen, R. Classroom Acoustics: A resource for creating learning environments with desirable listening conditions. *Acoustical Society of America*, 2000.
- [11] Muller, S. Medir o STI. *INMETRO, Divisão de acústica e vibrações*, Rio de Janeiro.
- [12] Nabelek, A.; Pickett, J. Reception of consonants in a classroom as affected by monaural and binaural listening, noise, reverberation, and hearing aids. *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 56, 1974, pp. 628–639.
- [13] Crandell, C.; Bess, F. Sound-field amplification in the classroom setting. *Paper presented at the American Speech-Language-Hearing Association Convention*, New Orleans, LA, 1987.
- [14] Egan, M. David. *Architectural Acoustics*, McGraw Hill, New York, 2007.
- [15] Long, M. *Architectural Acoustics*, Elsevier Academic Press, San Diego, 2006.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- [17] ANSI S12.60-2002 American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools. Acoustical Society of American. 2002.
- [18] ISO3382, Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland, 1998.
- [19] DIRAC Room Acoustics Software, Type 784. Product data, B&K, 2011.