

TRATAMENTO ACÚSTICO SUSTENTÁVEL EM SALA MULTIFUNCIONAL ESCOLAR: EFEITOS SOBRE O TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Hetty Nunes Cavalcante Da Cunha Lobo ¹, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, Clarice Cavalcante Daga Da Silva², Universidade de Brasília, Brasília, DF, José Alberto Porto Da Cunha Lobo³, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Hugo De Luca Correa⁴, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, Carmen Silvia Grubert Campbell⁵, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF

RESUMO:

Este estudo experimental, quantitativo e prospectivo comparou o tempo de reverberação entre uma sala multifuncional sem tratamento acústico e a mesma sala após tratamento no teto com material sustentável, em uma escola pública do Distrito Federal. As medições acústicas foram realizadas em sala vazia, com caixa acústica dodecaédrica e medidor Brüel & Kjær 2250, conforme normas técnicas. Os resultados indicaram redução do tempo de reverberação na condição com tratamento acústico, com maior aproximação aos valores ideais em grande parte das frequências analisadas. Conclui-se que o material sustentável contribuiu para a melhoria das condições acústicas do ambiente escolar.

Palavras-chave: Tempo de Reverberação; Escola; Acústica; Material Sustentável.

INTRODUÇÃO

A poluição sonora em instituições educacionais constitui um fator que compromete os processos de ensino-aprendizagem, podendo provocar baixo desempenho, aumento de erros e desmotivação no ambiente escolar (Kallankandy e Deswal, 2023). Entre as principais fontes de ruído estão os sons externos, como o tráfego e as atividades nos pátios, bem como aqueles produzidos no interior das escolas, especialmente nas salas de aula (Guidini et al., 2012). Nesses espaços, a sobreposição entre a voz do professor e os ruídos do ambiente prejudica a clareza da comunicação e, conseqüentemente, a continuidade do raciocínio pedagógico (Freire, 1996; Clark e Paunovic, 2018).

A gravidade do problema também é evidenciada por parâmetros normativos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 10152/2017, estabelece que o nível aceitável de ruído ambiente em salas de aula deve variar entre 35 e 40 dB. Valores superiores a esse limite são considerados nocivos à saúde.

Além dos níveis de ruído, o tempo de reverberação constitui um parâmetro essencial para a qualidade acústica, uma vez que sua elevação pode comprometer a inteligibilidade da fala. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo comparar o tempo de reverberação entre uma sala sem tratamento acústico e uma sala com tratamento acústico por meio de material sustentável, em uma instituição da rede pública de ensino do Distrito Federal.

METODOLOGIA

A pesquisa é de natureza experimental, com abordagem quantitativa analítica, caracterizando-se como um estudo prospectivo. Após aprovação da Secretaria de Educação de Brasília, da Regional de Ensino de Brasília e da diretora da escola escolhida, foram realizadas as mensurações do tempo de reverberação.

Protocolo de Mensuração

Sala de Aula vazia – Medições acústicas: utilizadas sem participantes, exclusivamente pela equipe técnica, para geração de ruído e medições do tempo de reverberação com a caixa acústica omnidirecional sem tratamento acústico no teto e sala de aula vazia com tratamento acústico no teto.

A escolha da sala multifuncional priorizou espaços onde ocorram dinâmicas de ensino-aprendizagem com aulas de Educação Física.

A sala multifuncional selecionada para o levantamento de dados (Figura 1) apresenta padrão definido de dimensões, esquadrias, mobiliário e acabamento. Suas principais características encontram-se descritas a seguir:

Figura 1- apresenta características físicas da sala multifuncional.

Sala Multifuncional		
Aspectos construtivos	Estruturantes	Alvenaria em tijolo cerâmico, com cobertura em laje maciça e contrapiso de argamassa
	Revestimentos	Piso em Granilite.
Aspectos geométricos	Dimensões	9,91x 5,95 m
	Proporção Volume	176,89m ³

Fonte: da autora.

Tempo de reverberação sonora (TRS)

O tempo de reverberação (TR) é definido como o intervalo de tempo necessário para que o nível sonoro em um ambiente fechado decaia em 60 decibéis (dB) após a interrupção da fonte emissora do som. Esse parâmetro é fundamental para a caracterização acústica de espaços, especialmente no que se refere à inteligibilidade da fala e ao conforto auditivo (Cavanaugh, Tocci e Wilkes, 2010).

As variáveis consideradas no presente estudo incluem o ruído ambiental, caracterizado como variável independente. A mensuração do tempo de reverberação será realizada por meio de um medidor de nível sonoro de classe A fabricado na Suécia pela Bruel & Kjaer, modelo 2250, (número de série 2709669), devidamente acoplado a um tripé da mesma marca (Figura 8). O equipamento possui certificado de calibração vigente, sob os números CBR2100851 e CBR2100852, emitidos pelo LACEL B & K — laboratório de calibração acreditado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), conforme os requisitos da norma ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número CAL 0305. O procedimento de medição segue as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 10.151/2020. O medidor será configurado com largura de banda em terços de oitava, abrangendo a faixa de frequência compreendida entre 31,5 Hz e 8 kHz, utilizando ponderação A, resposta do tipo rápida e correção de filtro para incidência aleatória.

O horário das medições do tempo de reverberação (TR) sonora na sala multifuncional foi definido de acordo com a disponibilidade da escola, de modo que os procedimentos a serem realizados não afetem a rotina e dinâmica normal das aulas de Educação Física. Todas as avaliações foram padronizadas e realizadas no mesmo horário e no mesmo período. As medições foram realizadas durante o horário escolar, entre as 7h30min até as 12h. As aferições das medições acústicas foram realizadas em dois momentos: primeiro momento sem a intervenção no teto da sala multifuncional e o segundo momento após a intervenção.

A mensuração foi feita em condições meteorológicas ideais, que incluem a não ocorrência de chuva e nem ventos fortes.

As aferições do tempo de reverberação foram realizadas em cinco pontos distintos da sala multifuncional: um no centro do ambiente e quatro posicionados a uma distância de 1,5 metro das paredes. Esses pontos foram escolhidos de forma estratégica para garantir a representatividade das condições acústicas internas. As medições seguiram os critérios e

parâmetros estabelecidos pela norma ABNT NBR 10151:2020, assegurando a padronização e a confiabilidade dos resultados.

Para aferição do medidor de nível sonoro antes e após as medições foram utilizado o calibrador de nível sonoro Classe 1 (Minipa, modelo MSL 1326, número de série MS1326000186, Figura 9). O certificado da última calibração foi emitido sob o número nº CBR2100911 e nº CBR2100912, por LACEL B&K, laboratório de calibração acreditado pelo Inmetro de acordo com a ABNT NBR ISO/ABNT NBR IEC 17025/2017.

Caixa acústica omnidirecional (dodecaédrica)

Para geração do ruído necessário para as medições do tempo de reverberação, foi utilizada a caixa acústica omnidirecional de alta potência, (DDC-100), que se trata de uma fonte sonora omnidirecional de banda larga, construída a partir de 12 alto-falantes dispostos na forma de dodecaedro regular (GROM) (L1400, Intron-M, CA, EUA) para atender às exigências de espectro e direcionalidade das normas da série ISO 140.

Intervenção na sala multifuncional

A instalação do material sustentável foi executada pela empresa Implante de Acústica LTDA (CNPJ 32.912.628/0001-50), devidamente habilitada para esse tipo de serviço. A data da execução foi previamente acordada com a escola, sendo imprescindível que a sala estivesse desocupada e sem utilização de aula durante o processo de instalação, de modo a assegurar que não houvesse qualquer risco para alunos, professores ou funcionários.

O material utilizado apresentou coeficiente de absorção sonora de 0,38 na frequência de 500 Hz, conforme especificação técnica realizada em laboratório.

Para a determinação do tempo de reverberação, foi empregada uma caixa acústica dodecaédrica, projetada para promover a difusão sonora uniforme em todas as direções, garantindo a adequada distribuição da energia acústica no ambiente em conformidade com a NBR 10151 – Acústica: Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Método de engenharia.

O procedimento teve início com a instalação da caixa dodecaédrica no interior da sala multifuncional, preferencialmente em posição central e afastada das superfícies refletoras, a fim de assegurar a homogeneidade da propagação sonora. O equipamento foi calibrado para emitir um sinal de ruído rosa a um nível de pressão sonora padronizado de 80 dB(A), medido a um metro da fonte.

Durante a emissão, microfones de medição foram dispostos em diferentes pontos do ambiente, distribuídos em posições representativas e afastados de superfícies e cantos, de modo a captar as variações espaciais do campo sonoro. Em seguida, a fonte sonora foi abruptamente desligada, e os microfones registrarão a decadência temporal do nível de pressão sonora.

O tempo de reverberação (T60) foi determinado pela análise da curva de decaimento, com base na extrapolação da redução de 20 ou 30 dB até atingir os 60 dB de atenuação, conforme os critérios estabelecidos pela norma. O processo foi repetido em diferentes pontos da sala e os valores médios obtidos fornecerão o parâmetro final, representando de forma fidedigna a resposta acústica do ambiente.

Esse método assegura precisão na caracterização do desempenho acústico da sala, oferecendo dados confiáveis para a avaliação dos efeitos do tratamento acústico sustentável sobre a redução do tempo de reverberação e, consequentemente, sobre a qualidade acústica do espaço escolar. Apresentam-se a seguir algumas referências que abordam a utilização da caixa acústica dodecaédrica:

ISO 389-3. Acoustics — Reference zero for the calibration of audiometric equipment — Part 3: Reference equivalent threshold vibratory force levels for pure tones and bone vibrators. International Organization for Standardization. 2016.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o gráfico a seguir, observou-se que o tempo de reverberação (T30) foi inferior na condição com tratamento acústico em comparação à condição sem tratamento acústico na maior parte das frequências analisadas.

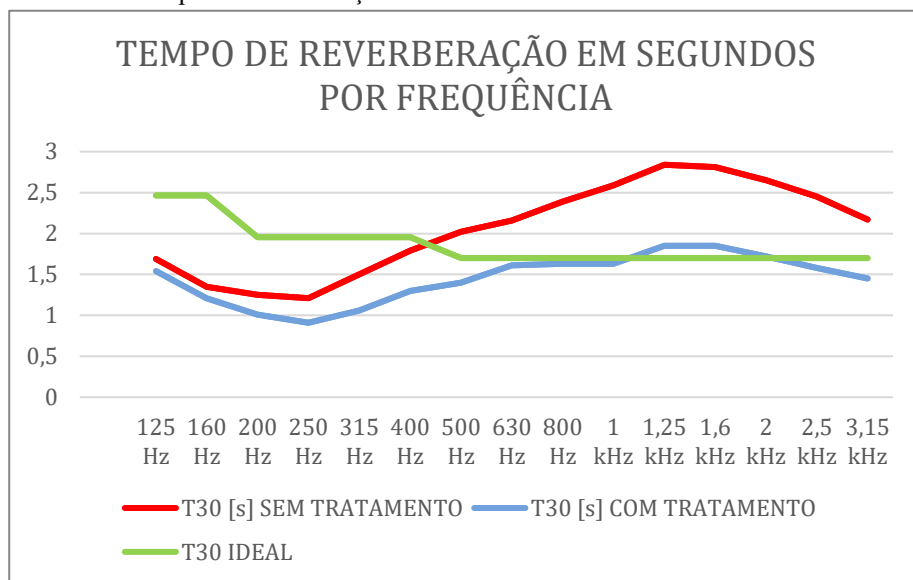
Na condição sem tratamento, os valores de T30 iniciaram em torno de 1,7 s em 125 Hz, reduziram até aproximadamente 1,2 s em 250 Hz e, a partir de 315 Hz, apresentaram elevação progressiva, atingindo os maiores valores entre 1,25 kHz e 1,6 kHz, com cerca de 2,8 s. Em seguida, houve redução gradual nas frequências mais altas, chegando a aproximadamente 2,2 s em 3,15 kHz.

Na condição com tratamento acústico, os valores foram consistentemente menores. O T30 iniciou em cerca de 1,5 s em 125 Hz, diminuiu até aproximadamente 0,9 s em 250 Hz e voltou a aumentar progressivamente até cerca de 1,8 s em 1,25 kHz e 1,6 kHz, reduzindo-se novamente até aproximadamente 1,4 s em 3,15 kHz.

Em relação à curva ideal, verificou-se que os valores com tratamento permaneceram mais próximos do padrão de referência em grande parte das frequências, especialmente entre 500 Hz e 3,15 kHz, enquanto a condição sem tratamento acústico apresentou maior afastamento, sobretudo nas frequências médias e altas.

De modo geral, o gráfico indica que a presença do tratamento acústico esteve associada à redução do tempo de reverberação e à maior aproximação dos valores em relação à curva ideal.

Gráfico 1. Tempo de Reverberação



Os resultados do presente estudo evidenciaram que a sala com tratamento acústico por meio de material sustentável apresentou redução do tempo de reverberação em comparação à sala sem tratamento, indicando melhora nas condições acústicas do ambiente. Esse achado é relevante, pois o tempo de reverberação constitui um parâmetro fundamental para a qualidade sonora de espaços escolares, uma vez que sua elevação pode comprometer a inteligibilidade da fala e, consequentemente, o processo de ensino-aprendizagem. Além do desempenho acústico observado, o produto desenvolvido neste estudo demonstrou potencial sob a perspectiva da sustentabilidade. A utilização de materiais reaproveitados e de baixo custo reforça a importância da elaboração de soluções ambientalmente responsáveis, capazes de associar funcionalidade técnica, viabilidade econômica e redução de impactos socioambientais. Nesse

sentido, Andrade (2021) destaca que materiais não convencionais são frequentemente associados à inovação tecnológica e à sustentabilidade, sendo empregados na confecção de produtos ecológicos que atendem a diretrizes voltadas à preservação ambiental.

Essa perspectiva também é corroborada por Serrano (2020), ao afirmar que a qualidade técnica de um produto, expressa no conforto sonoro, deve estar articulada à qualidade estética, à segurança e à sustentabilidade. Tal entendimento reforça a pertinência da proposta desenvolvida nesta pesquisa, uma vez que o material sustentável empregado não apenas contribuiu para a redução do tempo de reverberação, mas também se insere em uma tendência contemporânea de valorização de soluções que agredam menos o meio ambiente. Adicionalmente, a escolha de materiais alternativos mostrou-se coerente com o propósito central do estudo, que foi comparar o comportamento acústico de uma sala sem tratamento e de uma sala tratada com material sustentável. Conforme apontam Marques et al. (2018) e Souza (2015), a seleção de materiais alternativos para aplicações acústicas deve considerar, de modo prioritário, tanto a sustentabilidade quanto a capacidade de melhorar o desempenho sonoro do ambiente. Assim, os achados desta pesquisa sugerem que o difusor desenvolvido pode constituir uma alternativa promissora para espaços escolares públicos, ao reunir benefício acústico, baixo custo e responsabilidade ambiental.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a sala com tratamento acústico por meio de material sustentável apresentou menor tempo de reverberação em comparação à sala sem tratamento, evidenciando melhora nas condições acústicas do ambiente. Além disso, o difusor desenvolvido mostrou-se uma alternativa promissora para o contexto escolar, ao associar benefício acústico, baixo custo e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B.S. **Elaboração de painéis acústicos com a utilização de materiais sustentáveis alternativos**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do curso de Design Bacharelado da Universidade Federal de Alagoas. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.
- CLARK, C.; PAUNOVIC, K. WHO environmental noise guidelines for the european region: a systematic review on environmental noise and cognition. **Int J Environ Res Public Health**. V.15, 2018.
- FREIRE, M. R. **Iluminação natural em salas de aula: o caso das escolas FAEC em Salvador**. Porto Alegre: (Dissertação de Mestrado) – PROPAG -UFRGS, 1996.
- GUIDINI, R.F.; BERTONCELLO, F.; ZANCHETTA, S.; DRAGONE, M. Correlação entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor. **Revista: Social Bras. Fonoaudiologia**, V. 17, N.4, P. 398-404, 2012.
- KALLANKANDY, S.; DESWAL, S. A Comprehensive Review of Noise Measurement, Standards, Assessment, Geospatial Mapping and Public Health. **Ecological Questions**. V. 34, N.3, 2023.
- MARQUES, D. V. et al. "Propriedades de isolamento térmico, acústico e de resistência à compressão de placas de PU com a incorporação de resíduo de PET e alumina." **MIX Sustentável**. V.2, N.1, P.29-36, 2016.
- SERRANO, Pablo.. Portalacustica.info/sustentabilidade-acustica-e-design/. 2020. Acesso em 14 de março de 2026, disponível em Portal Acústica: <https://portalacustica.info/sustentabilidade-acustica-e-design/>
- SOUZA, E. S.; et al. Aplicação da fibra de coco no processo de isolamento termo acústico. **Revista gestão e sustentabilidade ambiental**. 2015.