

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE UMA DAS SALAS DE AULA DAS FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ (FAACZ).

Wagner Pereira da Silva (wagnerpds@gmail.com)

Aluno de graduação do curso de Engenharia Mecânica da FAACZ.

Harerton Oliveira Dourado (harerton@fsjb.edu.br)

Professor do curso de Engenharia Mecânica

RESUMO

A acústica de salas de aula desempenha um papel crucial no processo de ensino-aprendizagem, impactando diretamente a compreensão, concentração e desempenho de alunos e professores. Este estudo avaliou as condições acústicas de uma sala de aula da FAACZ - Faculdades Integradas de Aracruz, utilizando o método de resposta impulsiva proposto por Farina e implementado pelo software Room EQ Wizard. Foram medidos parâmetros acústicos fundamentais, incluindo o tempo de reverberação (RT60), clareza da fala (C50) e definição (D50). Os resultados indicaram um tempo de reverberação elevado, variando entre 2,2 s e 0,8 s, com valores de C50 e D50 abaixo das recomendações ideais para ambientes educacionais. A análise comparativa com outras salas da instituição e a literatura especializada evidenciou a necessidade de implementação de tratamentos acústicos para melhorar a inteligibilidade da fala e reduzir a fadiga auditiva, otimizando assim o ambiente de aprendizagem.

PALAVRAS-CHAVE: acústica, sala de aula, tempo de reverberação.

1 – INTRODUÇÃO

A acústica de salas de aula desempenha um papel importante no processo de ensino e aprendizagem. Estudos mostram que condições acústicas inadequadas podem afetar negativamente a compreensão da fala, a concentração e o desempenho acadêmico dos alunos (DOCKREILL; SHIELD, 2006; KLATTE et al., 2017). Além disso, a exposição prolongada a níveis elevados de ruído e tempos de reverberação longos pode prejudicar seriamente atividades não lexicais, como memória, habilidade de leitura, atenção e motivação (PRODI; VISENTIN, 2015).

Os impactos da acústica inadequada não se limitam aos alunos. Professores que trabalham em salas com maior reverberação são mais propensos a relatar irritabilidade, falta de energia após as aulas e menor satisfação com o trabalho (POLEWCZYK; JAROSZ, 2020). Estudos indicam que o ruído tem um impacto negativo no progresso de aprendizagem, tanto o ruído ambiental (externo) quanto o gerado nas salas de aula (SHIELD et al., 2015). Consequentemente, a melhoria das condições acústicas pode beneficiar significativamente o ambiente educacional.

Considerando a importância da acústica no contexto educacional, este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação acústica de uma sala de aula da FAACZ - Faculdades Integradas de Aracruz. A análise será baseada na medição de parâmetros acústicos tempo de reverberação, a clareza da fala (C50) e a definição (D50). Esses parâmetros são essenciais para compreender e avaliar a qualidade acústica do ambiente de aprendizagem, fornecendo insights úteis para possíveis melhorias.

2 –REFERENCIAL TEÓRICO

A acústica de ambientes fechados é um campo de estudo que analisa o comportamento do som em espaços confinados, como salas de aula, auditórios e escritórios. Ela se concentra em como as ondas sonoras interagem com as superfícies e objetos dentro desses ambientes, afetando a qualidade da audição e a

inteligibilidade da fala (EVEREST; POHLMANN, 2022; VALLE, 2007). Para avaliar e caracterizar a acústica de um espaço, são utilizados diversos parâmetros, como o tempo de reverberação, a clareza e a definição. Esses parâmetros fornecem informações sobre como o som se comporta no ambiente e como isso pode impactar a comunicação e o conforto acústico dos ocupantes.

2.1 – TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação (RT60) é um parâmetro fundamental na acústica de ambientes fechados, definido como o tempo necessário para que o nível de pressão sonora diminua 60 dB após a interrupção da fonte sonora (EVEREST; POHLMANN, 2022). Quando obtido de medições em campo, ele é calculado com base no decaimento da pressão sonora num período inicial de tempo após à interrupção da fonte (ex. 20 ms ou 30 ms). Este parâmetro é influenciado pelo volume da sala, pela área e pelos materiais das superfícies presentes. Um tempo de reverberação adequado é essencial para a inteligibilidade da fala e o conforto acústico. Tempos de reverberação muito longos podem causar sobreposição de sílabas e dificultar a compreensão, enquanto tempos muito curtos podem resultar em uma percepção não natural do som (EVEREST; POHLMANN, 2022).

2.2 – CLAREZA E DEFINIÇÃO

A clareza (C50) e a definição (D50) são parâmetros acústicos que avaliam a relação entre a energia sonora inicial e tardia em um ambiente. A clareza C50 é expressa em decibels e representa a razão logarítmica entre a energia sonora que chega nos primeiros 50 ms e a energia que chega após esse período (CHRISTENSEN; KOUTSOURIS; RINDEL, 2013). Já a definição D50 é expressa em porcentagem e representa a razão linear entre a energia sonora nos primeiros 50 ms e a energia total (BISTAFÁ; BRADLEY, 2000). Esses parâmetros são particularmente importantes para a inteligibilidade da fala em salas de aula. Valores mais altos de C50 e D50 indicam uma melhor distinção entre os sons diretos e reverberantes, favorecendo a compreensão da fala (ANSAY; ZANNIN, 2016; EVEREST; POHLMANN, 2022).

2.3 - RECOMENDAÇÕES PARA ACÚSTICA DE SALAS DE AULA

Não há normas para padrões acústicos no Brasil, mas está sendo estudada a possibilidade de se adotar a norma alemã DIN-18041 (NAKAZATO et al., 2019), que, para salas de aula, especifica $RT_{60} (s) = 0,32 \log V - 0,17$ (onde V é o volume (m³) da sala) e $C50 \geq 0$ dB.

3 – METODOLOGIA

Para a determinação dos parâmetros acústicos, foi utilizado o método proposto por Farina (2000), que utiliza uma varredura senoidal logarítmica para obter a resposta impulsiva do ambiente. Este sinal de teste é reproduzido no ambiente e gravado, sendo posteriormente processado para extrair a resposta impulsiva. Para tanto, foi empregado o software Room EQ Wizard (REW) v5.31 (MULCAHY, 2022), que implementa esta técnica. Após a captura da resposta impulsiva, o REW calcula automaticamente diversos parâmetros acústicos, incluindo o RT60, C50 e D50. No presente trabalho, RT60 será expresso em termos de um tempo de reverberação ótimo (Topt), que é baseado no tempo inicial de decaimento e em T30, fornecendo resultados mais adequados para ambientes pequenos.

3.1 – SALA ESTUDADA

A sala estudada foi a sala de n. do bloco A da FAACZ. Esta sala possui 8,6 m x 6,8 m x 2,8 m (comprimento, largura e altura), correspondente a um volume de 163,7 m³. Para as medições, a porta e a janela permaneceram fechadas.

3.2 –MEDIÇÕES

Para a captura do sinal gerado através do software REW foi utilizado um microfone do tipo capacitor ligado à uma interface de áudio (ambos da marca Behringer, Alemanha), uma caixa de som amplificada (marca Staner, Brasil) e um computador pessoal. Microfone e caixa de som foram montados em pedestais. A posição da caixa de som foi mantida constante, ao passo que a resposta impulsiva do ambiente foi captada em 5 posições distintas (Tabela 1). A Figura 1 ilustra a disposição do microfone em uma das posições de captura, bem como da caixa de som, tendo como referências horizontais as paredes esquerda (x) e da lousa (y) e, vertical (z), o chão.

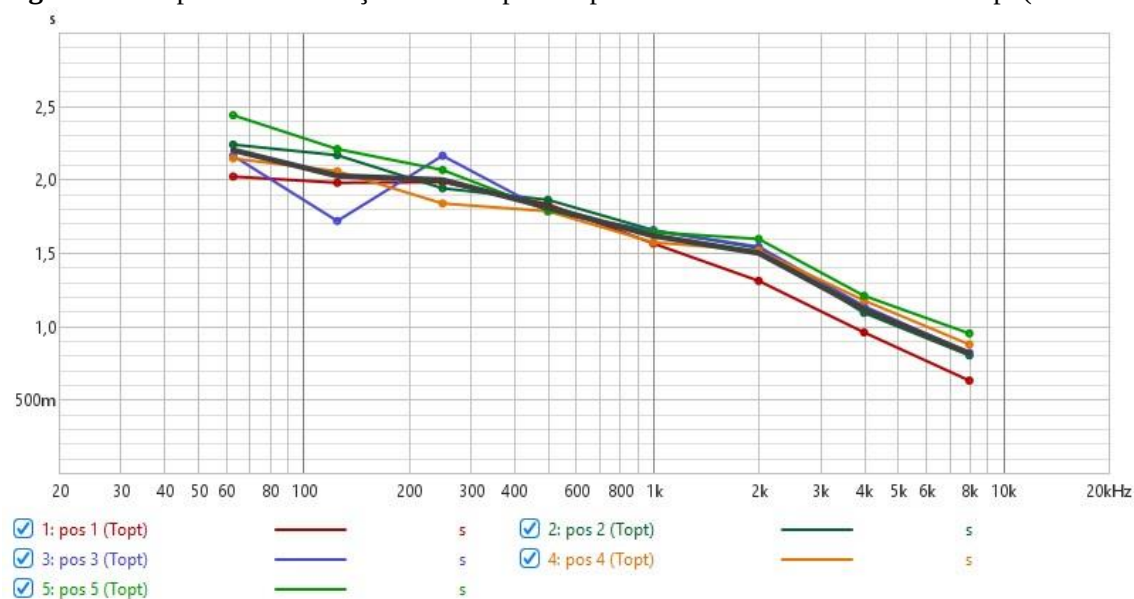
Tabela 1: posições do microfone (em metros)

POSIÇÃO	x (m)	y (m)	z (m)
1	3,47	4,85	1,23
2	4,61	5,69	1,23
3	3,39	2,88	1,23
4	1,16	3,45	1,23
5	2,45	4,20	1,23
Caixa de som	3,26	1,51	1,46

4 – RESUTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do tempo de reverberação estão mostrados na Figura 1, onde é possível observar que, na média das 5 posições, ele variou entre 2,2 s e 0,8 s. Na região do espectro predominantemente ocupada pela voz humana (100 Hz a 5 kHz), RT60 sempre esteve acima de 1,0 s. Com base na norma DIN-18041, o tempo de reverberação ideal para uma sala com o 163,7 m³ seria 0,54 s. Esses valores elevados de RT60 podem impactar negativamente a inteligibilidade da fala e o desempenho acadêmico dos alunos (DOCKREILL; SHIELD, 2006; KLATTE et al., 2017).

Figura 1: Tempo de reverberação. A linha preta representa a média dos valores de T_{opt} (ABNT-ISO 3382).



Os resultados para C₅₀ são mostrados na Figura 2 e os resultados para D₅₀, na Figura 3. O valor médio de C₅₀ variou entre -5 dB a 6,5 dB, com valores inferiores a 0 dB nas frequências inferiores a 1,5 kHz. Esses valores são inferiores à recomendação da norma DIN-18041 (C₅₀ ≥ 0 dB). Já os

valores de D50, na região entre 100 Hz a 5 kHz sempre foram inferiores a 74%. Apesar do valor de D50 ser classificado como bom (ANSAY; ZANNIN, 2016), o parâmetro D50 não leva em conta a presença de ruído no ambiente, o qual pode ser contabilizado como parte do som direto. Estudos indicam que boas condições acústicas para a inteligibilidade de fala em salas de aula universitárias requerem um valor de C50 de 7,3 dB ou mais (YONG-JI CHOI, 2020).

Figura 2: Valores de C50. A linha preta representa a média dos valores de T_{opt} (ABNT-ISO 3382).

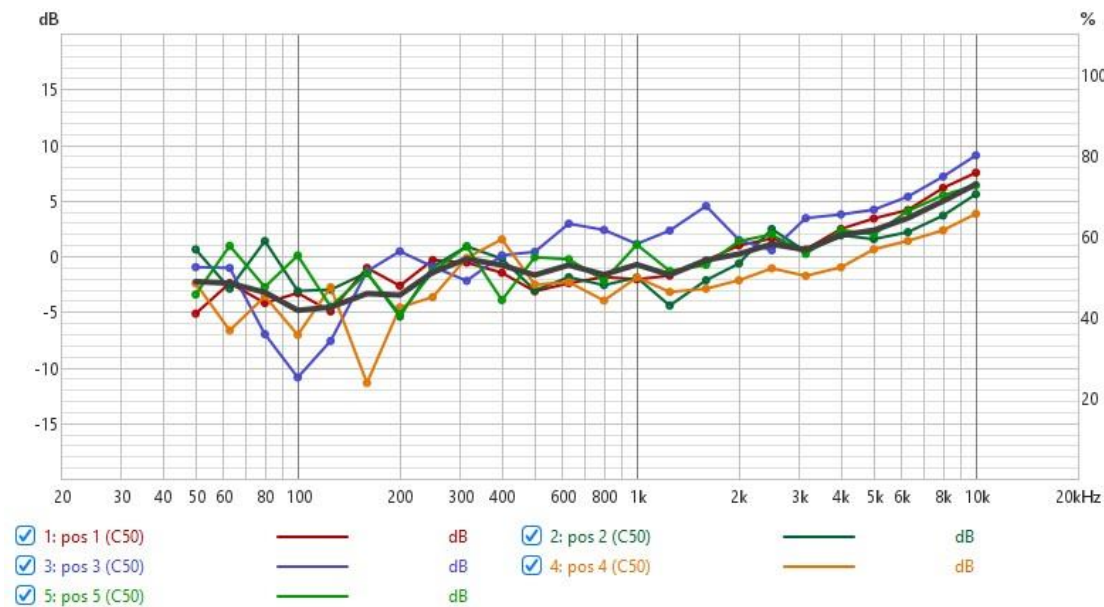
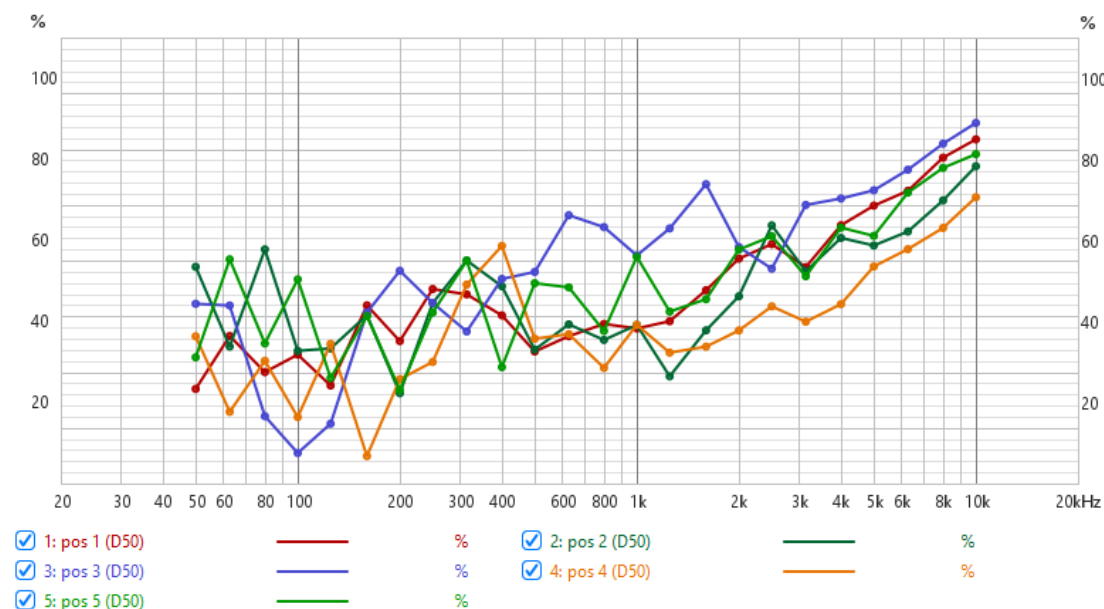


Figura 3: Valores de D50.



A sala estudada no presente trabalho não possuía nenhum tipo de condicionamento acústico, com piso e paredes em materiais com baixa absorção acústica. A escolha dos materiais de acabamento pode influenciar nas propriedades da sala. Em uma avaliação acústica de uma sala de aula do bloco B da FAACZ, Cruz, Teixeira e Dourado (2016) obtiveram RT₆₀ (expressos em termos de T₂₀ e T₃₀) inferiores a 1,20 s. Os valores de C50 para frequências acima 500 Hz foram superiores a 0 dB, com os valores de D50 foram superiores a 60% para a mesma região do espectro. A sala em

questão possuía paredes de gesso acartonado e teto com revestimento em lã de vidro, o que contribuiu para os valores inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Dessa forma, a sala estudada, bem como as demais salas do mesmo bloco, se beneficiariam de tratamento acústico. Pesquisas mostram que tratamentos acústicos de alta absorção melhoram a clareza da fala e reduzem o tempo de reverberação, levando a uma experiência subjetiva mais agradável da fala em salas comuns (ARVIDSSON et al., 2021). Além disso, o tratamento acústico em salas de aula pode melhorar significativamente a concentração, a capacidade de memória curta e o ritmo de trabalho dos alunos, ao mesmo tempo em que reduz a agressividade e a fadiga do professor (POLEWCZYK; JAROSZ, 2020).

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação acústica da sala de aula da FAACZ revelou condições não ideais para o ambiente de aprendizagem, evidenciando a necessidade de implementação de tratamentos acústicos para melhorar a inteligibilidade da fala, reduzir a fadiga auditiva e, conseqüentemente, otimizar o processo de ensino-aprendizagem.

6 – REFERÊNCIAS

ANSAY, Samuel; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Using the Parameters of Definition, D50, and Reverberation Time, RT, to Investigate the Acoustic Quality of Classrooms. **Canadian Acoustics**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 6–11, 2016. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2653>. Acesso em: 30 out. 2024.

ARVIDSSON, Emma et al. Subjective experience of speech depending on the acoustic treatment in an ordinary room. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 18, n. 23, p. 12274, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/23/12274/htm>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BISTAFA, Sylvio R.; BRADLEY, John S. Reverberation time and maximum background-noise level for classrooms from a comparative study of speech intelligibility metrics. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [s. l.], v. 107, n. 2, p. 861–875, 2000. Disponível em: </asa/jasa/article/107/2/861/555456/Reverberation-time-and-maximum-background-noise>. Acesso em: 30 out. 2024.

CHRISTENSEN, Claus Lynge; KOUTSOURIS, George; RINDEL, Jens Holger. The ISO 3382 parameters: Can we simulate them? Can we measure them. In: **2013, Toronto. Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics**, Toronto, ON, Canada. Toronto: [s. n.], 2013.

CRUZ, C. W. N. ; TEIXEIRA, R. S. ; DOURADO, H. O. . Avaliação acústica de uma sala de aula do curso de Engenharia de Produção na FAACZ. In: **ANAIS DA JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FAACZ**, Aracruz, 2016.

DOCKREILL, Julie E.; SHIELD, Bridget M. Acoustical barriers in classrooms: the impact of noise on performance in the classroom. **British Educational Research Journal**, [s. l.], v. 32, n. 3, p. 509–525, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1080/01411920600635494>. Acesso em: 31 out. 2024.

EVEREST, F Alton; POHLMANN, Ken. **Master Handbook of Acoustics**, Seventh Edition. [S. l.]: McGraw-Hill Education, 2022.

FARINA, Angelo. Simultaneous measurement of impulse response and distortion with a swept-sine technique. In: , 2000. **Audio Engineering Society Convention** 108. [S. l.: s. n.], 2000.

KLATTE, Maria et al. Effects of Classroom Acoustics on Performance and Well-Being in Elementary School Children: A Field Study. **Environment and Behavior**, [s. l.], v. 42, n. 5, p. 659–692, 2010. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0013916509336813>. Acesso em: 31 out. 2024.

MULCAHY, John. Room EQ Wizard. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <http://www.roomeqwizard.com/>.

NAKAZATO, Marcela et al. The applicability of DIN 18041 in Brazilian offices. In: , 2019. **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 7532–7540.

POLEWCZYK, Irena; JAROSZ, Mikołaj. Teachers' and students' assessment of the influence of school rooms acoustic treatment on their performance and wellbeing. **Archives of Acoustics**, [s. l.], v. 45, n. 3, p. 401–417, 2020. Disponível em: Acesso em: 19 jun. 2024.

PRODI, Nicola; VISENTIN, Chiara. Listening efficiency during lessons under various types of noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [s. l.], v. 138, n. 4, p. 2438–2448, 2015. Disponível em: </asa/jasa/article/138/4/2438/900226/Listening-efficiency-during-lessons-under-various>. Acesso em: 31 out. 2024.

SHIELD, Bridget et al. A survey of acoustic conditions and noise levels in secondary school classrooms in England. **The Journal of the Acoustical Society of America**, [s. l.], v. 137, n. 1, p. 177–188, 2015. Disponível em: </asa/jasa/article/137/1/177/910591/A-survey-of-acoustic-conditions-and-noise-levels>. Acesso em: 31 out. 2024.

VALLE, Sólón do. **Manual Prático de Acústica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2007.

YONG-JI CHOI. Measurements and Evaluations of Predictors for Speech Intelligibility Using Speech and Noise Levels Measured During Lectures. **Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 91–100, 2020. Disponível em: www.jkiaebbs.org/articles/xml/zkE1/. Acesso em: 19 jun. 2024.