

Diagnóstico de ruído de aparelhos de ar-condicionado em salas de aula da FECFAU - UNICAMP

Palavras-Chave: acústica de salas, ruído de ar-condicionado, qualidade acústica de salas de aula

Autores:

AMANDA FERNANDES MONTE, FECFAU – UNICAMP

Prof^a. Dr^a. STELAMARIS ROLLA BERTOLI (orientadora), FECFAU – UNICAMP

INTRODUÇÃO

Na concepção de um projeto, independente da finalidade da edificação, o desempenho acústico e o conforto térmico devem ser priorizados junto com os requisitos estruturais e arquitetônicos, visto que impactam diretamente a saúde e o desempenho dos ocupantes. Os sistemas de ventilação e condicionamento de ar são fontes comuns de ruído e podem comprometer a qualidade acústica do ambiente onde são instalados. Ao se tratar de salas de aula, esse aspecto ganha ainda mais relevância, dado que a falta de controle do ruído afeta diretamente as atividades de ensino e aprendizagem.

É fundamental estabelecer níveis de pressão sonora considerados aceitáveis para cada ambiente a fim de orientar arquitetos e engenheiros não só em situações de reclamação por parte dos usuários expostos ao ruído nesses espaços, mas também na fase de projeto de um novo edifício. No caso das salas de aula, o ruído ambiente pode ter origens diversas, como o som das atividades dos próprios alunos, sons vindos dos corredores, sons de computadores em funcionamento, entretanto destaca-se como uma das principais fontes o ruído gerado pelos sistemas de ventilação e condicionamento de ar. A maioria dos sistemas de climatização vendidos no mercado

operam com níveis de pressão sonora muitas vezes considerados elevados para as atividades de sala de aula.

Estudos internacionais realizados em escolas revelam que a exposição de crianças ao ruído, na etapa de aprendizagem é um fator de risco para o seu desenvolvimento da linguagem e da escrita (CARDOSO, 2008; VALLET, 2002; ALARCAO, FAFAIOL, BENTO COELHO, 2008; KARABIBER, VALLET, 2003). A qualidade acústica do ambiente é um importante elemento que influencia a aprendizagem verbal que, por sua vez, influencia a aprendizagem cognitiva. Nas salas de aula a inteligibilidade da fala é um fator crítico e fundamental, pois a comunicação nesses espaços se dá na maior parte do tempo através da palavra falada. A inteligibilidade da palavra falada é definida como a capacidade de compreender e interpretar com clareza os sons utilizados na linguagem e pode ser influenciada, segundo Nábělek e Nábělek (1997), por três fatores: o nível de pressão sonora da palavra, o tempo de reverberação e o ruído de fundo da sala.

Diversos estudos desenvolvidos no Brasil abordam a qualidade acústica das salas de aulas, revelando que a maioria apresenta níveis de ruído excessivos (AMORIM, 2007, RABELO, SANTOS, OLIVEIRA, MAGALHES, 2014; ZANNIN,

ZWIRTES, PASSERO, 2012). Destaca-se a pesquisa realizada por Oiticica et al. (2006) acerca da interferência dos equipamentos de ventilação na qualidade acústica das salas de aula em Maceió, Brasil, que constatou que 72,5% delas possuem um nível de ruído acima de 70 dB(A), muito superior aos 40 e 50 dB(A) estabelecidos pela norma ABNT NBR 10152:2017.

No que se refere à qualidade acústica de escolas e salas de aula, nota-se uma grande preocupação em grande parte dos países sobre os níveis de ruído e tempo de reverberação adequados para salas de aula. Países como os Estados Unidos e o Reino Unido possuem diretrizes específicas para o desempenho acústico de escolas, como é o caso da norma ANSI S12.60-2002 (ANSI, 2002) e do documento BB93 (DfES, 2003). No Brasil, não existe norma específica para adequação acústica de escolas e salas de aula, entretanto, a norma ABNT NBR 10152:2017 fixa os níveis de pressão sonora compatíveis com o conforto acústico de diversos ambientes e apresenta valores recomendados de som residual para salas de aula que podem ser usados como referência de avaliação e projeto.

METODOLOGIA

A presente pesquisa teve como principal objetivo a realização de medições dos níveis de pressão sonora no interior de salas de aula, com o propósito de estimar o ruído gerado por aparelhos de ar-condicionado instalados nesses ambientes. O estudo foi conduzido nas salas de aula do edifício da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, onde foram identificadas as salas que possuíam sistemas de climatização, incluindo ar-condicionado e/ou ventiladores. Nessas salas, avaliou-se o impacto do ruído gerado por esses equipamentos durante seu funcionamento.

As medições acústicas foram realizadas para obter os níveis de pressão sonora globais, expressos em decibels(dB), bem como dos valores ponderados em A[dB(A)]. Também foram registrados os níveis de pressão sonora em função de frequência em bandas de 1/1 oitava. Para as medições utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora (sonômetro) modelo BK2238, da marca Bruel & Kjaer.

O procedimento de medição seguiu as recomendações das normas NBR 10151:2019 e NBR 10152:2017, com o sonômetro calibrado e o microfone posicionado a aproximadamente 1,2 metro do piso, afastado de paredes e objetos próximos, conforme indicado nas normas. O número de pontos de medição variou em cada sala devido a diferença de dimensões e número de fontes de ruído de cada sala. Medições de 30 segundos por ponto em ambiente controlado asseguraram dados representativos.

As coletas de dados consideraram diferentes condições operacionais, com os equipamentos de climatização ligados e desligados, sendo mantidas as portas e janelas fechadas, as luzes acesas e demais eletrônicos desligados. Nos casos em que havia ventiladores instalados na sala, os níveis sonoros também foram medidos com os ventiladores ligados, a fim de separar o ruído emitido por cada tipo de fonte de ruído e avaliar sua contribuição para o ruído ambiente. No cenário com maior número de equipamentos de ventilação e condicionamento do ar em operação, identificou-se o ponto mais ruidoso da sala, onde foram feitas todas as medições dos espectros sonoros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o apoio da CPROJ (2025) da FECFAU, foram obtidas as plantas baixas e o modelo 3D das salas da faculdade, permitindo uma análise espacial mais precisa dos ambientes e a elaboração de croquis

detalhados para o estudo acústico. Essas informações foram organizadas na aba nomeada “Informes” em forma de tabela incluindo a existência de equipamentos de ventilação e ou ar-condicionado presentes (Tabela 1), marca e modelo quando possível (Tabela 2) e as dimensões das salas (Tabela 3). Os dados coletados nas medições acústicas foram registrados em planilhas.

Para facilitar o armazenamento e a análise dos dados coletados nas medições acústicas, foram criados dois tipos de arquivos eletrônicos. A planilha Google (Figura 1) contém abas específicas para cada sala, onde são registrados os valores dos parâmetros acústicos medidos, permitindo análises quantitativas e comparativas futuras. Os documentos Google (Figura 2) armazenam informações complementares e observações qualitativas que complementam o contexto dos dados.

Para a análise, adotaram-se os níveis da ABNT NBR 10152:2017, com valores globais entre 40 e 50 dB(A) e curva NC-35 como máxima recomendada para salas de aula. As medições variaram significativamente, com várias salas ultrapassando 50 dB(A) com sistemas de climatização em operação. As curvas NC obtida com os aparelhos de climatização em funcionamento, variaram de NC-35 a NC-50, revelando ruídos elevados nas frequências médias (125 Hz a 1kHz), críticas para a comunicação oral.

As medições mostraram que os níveis de ruído nas salas da FECFAU excedem os limites da ABNT NBR 10152:2017 quando ar-condicionados e ventiladores operam simultaneamente. Além disso, as variações encontradas entre salas indicam que a localização dos equipamentos e características ambientais afetam a propagação do ruído, destacando a necessidade de planejamento acústico individualizado. Assim, os resultados reforçam

estudos prévios sobre níveis inadequados em ambientes escolares, enfatizando a importância de medidas efetivas desde a fase de projeto e da aquisição de equipamentos de ar-condicionado e ou ventiladores adequados.

Tabela 1 – Informações sobre equipamentos de ventilação e ar-condicionado das salas de aula da FECFAU.

SALAS DE AULA FECFAU - Objetos de medição			
SALAS	POSSUI AC?	POSSUI VENT.?	Objetos de medições realizadas
001	☒	☐	AC
111	☐	☒	VENT.
112	☒	☒	AC + VENT.
113	☐	☒	VENT.
114	☒	☒	AC + VENT.
116	☒	☒	AC + VENT.
221	☐	☒	VENT.
223	☒	☐	AC
224	☒	☐	AC
225	☐	☒	VENT.
331	☐	☒	VENT.
332	☐	☒	VENT.
333	☒	☐	AC
334	☒	☐	AC
335	☒	☐	AC
336	☒	☒	AC + VENT.
PG 201	☒	☐	AC
PG 202	☒	☐	AC
PG 203	☒	☐	AC

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 – Informações sobre equipamentos de ventilação e ar-condicionado das salas de aula da FECFAU.

SALAS DE AULA FECFAU — Equipamentos				
SALAS	AR-CONDICIONADO		VENTILADOR	
	QTDE	MARCA	QTDE	MARCA
001	5	Springer Mundial z1000	-	-
111	-	-	6	Mondial
112	2	Carrier	2	Venti Delta
113	-	-	1	Venti Delta
114	2	Carrier	1	Venti Delta
116	3	Carrier	5	Venti Delta
221	-	-	6	Ventisol
223	1	Carrier	-	-
224	2	Carrier	-	-
225	-	-	4	Venti Delta
331	-	-	6	Venti Delta
332	-	-	1	Não foi possível identificar
333	1	Carrier	-	-
334	2	Springer Mondial	-	-
335	2	Carrier	-	-
336	3	Elgin	2	Delta Premium
PG 201	1	Elgin	-	-
PG 202	1	Elgin	-	-
PG 203	2	Elgin	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 – Informações sobre dimensões das salas de aula da FECFAU.

SALAS DE AULA FECFAU — Dimensões das salas			
SALAS	VOLUME	ÁREA	ALTURA
001	746,07	160,10	4,66
111	544,34	160,10	3,40
112	313,62	92,24	3,40
113	154,29	45,38	3,40
114	313,62	92,24	3,40
116	543,69	159,91	3,40
221	544,34	160,10	3,40
223	233,95	68,81	3,40
224	445,88	131,14	3,40
225	533,49	156,91	3,40
331	544,34	160,10	3,40
332	154,29	45,38	3,40
333	154,29	45,38	3,40
334	154,29	45,38	3,40
335	313,62	92,24	3,40
336	531,08	156,20	3,40
PG 201	139,54	41,04	3,40
PG 202	139,54	41,04	3,40
PG 203	281,49	82,79	3,40

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 1 – Exemplos de dados coletados na medição de ruído e espectros da sala CA114 dispostos em planilha.

Fonte: Elaborado pelo autor.

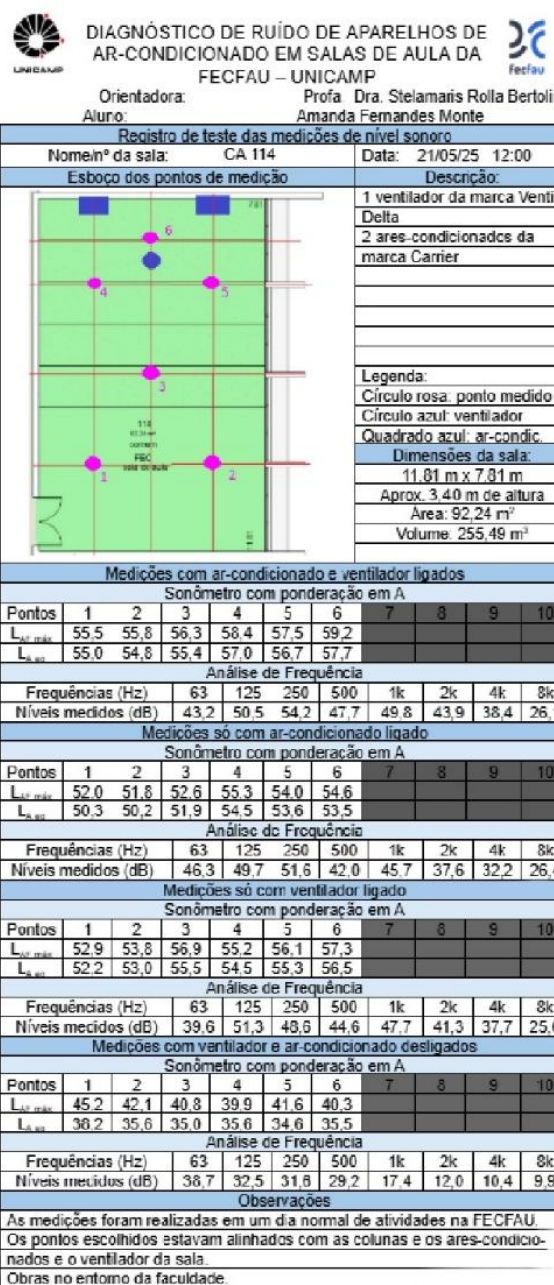


Figura 2 – Registro da coleta de dados de medição, contendo espectros sonoros e esquema com pontos de fonte e microfone de uma sala de aula avaliada.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÕES

As medições acústicas realizadas evidenciaram que os níveis de ruído gerados pelos sistemas de ventilação e ar-condicionado instalados nas salas de aula da FECFAU excederam os limites recomendados pela ABNT NBR 10152:2017, para ambientes educacionais. Essa condição se mostrou ainda mais crítica quando os aparelhos de ar-condicionado operaram simultaneamente com

ventiladores, visto que os ventiladores geraram ruídos tão intensos quanto os sistemas de ar-condicionado e apresentaram variações maiores, podendo ser mais prejudiciais à concentração e à inteligibilidade da fala em ambiente de ensino.

Além disso, a análise espectral realizada em pontos estratégicos permitiu identificar as faixas de frequência mais críticas, bem como distinguir a contribuição de cada equipamento para o ruído ambiente conforme a configuração presente em cada sala. Esses resultados reforçaram a importância de um bom planejamento acústico desde a fase de concepção do projeto, especialmente nos ambientes escolares onde a inteligibilidade da fala interfere diretamente na qualidade do ensino e do aprendizado.

BIBLIOGRAFIA

- ALARCÃO, D.; FAFAIOL, C.; BENTO COELHO, J. L. **Acústica de salas de aula**. In: *Anais Acústica 2008*, Coimbra, 2008.
- AMORIM, A. E. B. **Forma geométrica e qualidade acústica de salas de aula**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI S12.60-2002: Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools**. New York, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2017.
- CARDOSO, I. A. **A importância da acústica no processo de aprendizagem – diferentes estratégias de implementação**. Universidade de Coimbra, 2008. Coordenação de Projetos da FECFAU – UNICAMP.
- Plantas arquitetônicas e modelos 3D (Revit) das salas de aula da FECFAU**. Campinas, 2025. Fornecido mediante solicitação. Não publicado.
- DfES – DEPARTMENT FOR EDUCATION AND SKILLS. **BB93 – Acoustic design of schools: performance standards**. London, 2003.
- KARABIBER; VALLET. **Classroom acoustics policies – an overview**. In: *Euronoise*, Naples, 2003.
- NABELEK, A.; NABELEK, I. **Acústica da sala e percepção da fala**. In: KATZ, J. (Org.). *Tratado de audiologia clínica*. São Paulo: Manole, 1997.
- OITICICA, M. L. G. R; et al. **Interferência dos ventiladores na qualidade acústica das salas de aula da rede pública de ensino fundamental da cidade de Maceió-AL**. In: *XXVI ENEGEP*, Fortaleza, 2006.
- PASSERO, C. R. M. **Avaliação e adequação acústica de escritórios panorâmicos através de medições e simulações**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- RABELO, A. T. V.; SANTOS, J. N.; OLIVEIRA, R. C.; MAGALHÃES, M. C. **Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes**. *CoDAS*, v. 26, n. 5, 2014.
- VALLET, M.; et al. **Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings**. *Institute of Noise Control Engineering*, 2002.
- ZANNIN, P. H. T.; ZWIRTES, D. P. Z.; PASSERO, C. R. M. **Assessment of acoustic quality in classroom based on measurements, perceptions and noise control**. Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2012.