

AValiação DO DESEMPENHO ACÚSTICO EM SALAS DE AULA DO CEFET-PR

**PEDRAZZI, Thayse (1); ENGEL, Daniel (2);
KRÜGER, Eduardo (3); ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta (4)**

(1) Acad. Engenharia da Produção Civil CEFET-PR - e-mail: pedrazzi@zipmail.com.br

(2) Acad. Engenharia da Produção Civil CEFET-PR - e-mail: dengel@uol.com.br

(3) Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia/ Eng. da Produção Civil - CEFET-PR:
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - Av. 7 de setembro, 3165 - 80230-901 Curitiba –
Paraná - e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(4) Prof. Dr. Laboratório de Acústica Ambiental/Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica - Universidade Federal do Paraná – Departamento de Engenharia Mecânica - Centro
Politécnico – Bairro Jardim das Américas - CEP: 81531-990 Curitiba – Paraná
e-mail: zannin@demec.ufpr.br

RESUMO

O conforto acústico é um dos fatores essenciais para a realização de atividades em salas de aula, em especial as que exigem um alto nível de concentração. O presente trabalho apresenta uma análise das características acústicas das salas de aula do bloco de engenharia do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR. Para se fazer uma avaliação acústica do ambiente das salas de aula, buscou-se os valores críticos de níveis de ruído e frequência de ruído urbano nas situações mais problemáticas, ou seja, no primeiro pavimento e no horário de maior fluxo de trânsito ao redor da edificação. Os valores críticos foram obtidos através de medições realizadas, considerando as situações de janela aberta e fechada.

ABSTRACT

Acoustic comfort is one of the essential factors to assure a good learning and teaching performance in classrooms, specially when a high level of concentration is required. This article presents an analysis of acoustic characteristics of classrooms in the Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR. This analysis comprehended measurements of critical noise levels and frequencies regarding urban sources, in their most unfavorable conditions, i.e., in the first pavement and during rush hours. Both open and closed window situations were considered.

1. INTRODUÇÃO

O ruído urbano depende em geral menos do tipo de construção que do próprio local de origem, sendo resultante do plano geral da cidade e de suas disposições urbanísticas.

O ruído é um fator contaminante muito antigo, que na atualidade, devido ao avanço industrial, crescimento das cidades e evolução do transporte está sempre presente. Assim, tem-se a necessidade de estudos dos problemas acústicos dos edifícios, com o objetivo de conseguir condições mínimas exigidas em qualidade acústica em seu interior, de acordo com o uso e atividades dos ocupantes.

Durante anos, eram apenas suficientes os conhecimentos adquiridos com a experiência para resolver problemas acústicos que ocorriam nas edificações. Nas cidades atuais estamos imersos em ambientes ruidosos procedentes de um grande número de fontes, exteriores e interiores aos edifícios. Desta forma, faz-se necessário o estabelecimento de exigências crescentes de qualidade acústica nos edifícios e, de maneira simultânea, propostas de novos materiais, mais eficientes para o tratamento acústico de ambientes. Os avanços da ciência e tecnologia nos permitem a utilização de materiais mais eficazes na construção, atendendo às necessidades do usuário, que exige maior qualidade acústica nos edifícios. A acústica e a arquitetura tornam-se a cada dia mais interligadas durante o projeto e construção. A maioria dos problemas de ordem acústica poderiam ser solucionados durante o projeto de arquitetura. Para tal, é necessário conhecer o funcionamento do edifício e os princípios da acústica arquitetônica, identificar as fontes de ruído, conhecer os materiais com características de absorção acústica e os materiais com características de isolamento acústico. Nesta fase do projeto é desejável a colaboração estreita entre o engenheiro acústico e o arquiteto.

Em países de clima predominantemente tropical, como é o caso do Brasil, há ainda aspectos agravantes (KOENIGSBERGER, 1973):

- grande parte das atividades cotidianas são desenvolvidas ao ar livre, diferentemente das condições de países frios;
- haverá sempre um conflito entre exigências de controle de calor e de ruído, especialmente no quente-úmido, onde construções leves e ventiladas são indicadas, o que prejudica o controle da penetração de ruído.

A sala de aula é um local que exige um alto nível de concentração por parte de alunos e professores, podendo ser influenciados pelas condições ambientais deficientes do recinto, sendo a principal causa de sintomas desagradáveis: cansaço, desânimo, saídas freqüentes das salas, dentre outros, que culminam na perda de concentração e conseqüentemente prejudica o processo de ensino e aprendizagem.

A proposta de um estudo de avaliação do desempenho acústico das salas de aula do bloco de engenharia do CEFET-PR foi comprovada através: da avaliação do comportamento dos usuários quanto ao nível de ruído existente e pelo desconforto por ele gerado, e pelas leituras de níveis de ruído executadas nas salas de aula.

2. CARACTERIZAÇÃO DAS SALAS DE AULA

O CEFET-PR teve seu início como Escola Técnica de Curitiba em 1942, sendo transformado em Centro Federal de Educação Tecnológica em 1978. O terreno tem área de 25.096,00 m² e atualmente uma área total construída de 42.112,54 m². À época da Escola Técnica, Curitiba contava com 140.656 habitantes (IBGE, 1940). Atualmente a cidade conta com 1.586.898 de habitantes (IBGE, 2000).

O quarteirão onde a Instituição se situa é delimitado pelas avenidas: Sete de Setembro, Marechal Floriano, Silva Jardim e Desembargador Westphalen. No final da década de 40 foram feitos a pavimentação, o saneamento e a urbanização da Avenida Sete de Setembro. A Avenida Marechal Floriano até a década de 50 era via principal de acesso ao centro, por onde passava o bonde elétrico (desde 1913 até 1950) e automóveis. A partir de 1992, esta avenida recebeu ainda uma canaleta para os primeiros ônibus biarticulados, sendo intensificado o tráfego existente até então.

Verifica-se então que o CEFET-PR sempre esteve localizado em local de intenso ruído urbano. As salas analisadas situam-se no bloco da Engenharia, que tem suas faces voltadas para as Avenidas Sete de Setembro e Marechal Floriano.

3. METODOLOGIA ADOTADA

A avaliação do desempenho acústico nas salas de aula do CEFET-PR deu-se em duas etapas:

1. avaliação do conforto acústico, junto aos alunos, usuários das salas de aula, com a aplicação de questionários; e,
2. avaliação dos níveis de ruído no interior das salas de aula.

Para tanto, foram realizadas medições dos níveis de ruído externo dentro dos ambientes, nos horários de pico do dia, que avaliaram o desempenho acústico da edificação na situação mais crítica. O horário crítico, das dezoito às dezenove horas durante os dias úteis da semana, foi determinado através de observações do fluxo de veículos das vias externas à edificação. As medições foram realizadas nas salas de aula do primeiro pavimento do bloco sem a presença de alunos, pois pretendia-se avaliar apenas o ruído externo presente no pavimento mais crítico. Foram, assim, consideradas duas situações nas salas para leitura de medidas:

1. com todas as janelas abertas, para se obter o nível real de ruído externo; e,
2. com todas as janelas fechadas, para verificar a redução de ruído proporcionado pelas esquadrias e vidros existentes.

Para executar as medidas foram utilizados dois medidores de nível de pressão sonora, classificados de acordo com as normas internacionais, como sendo tipo 1, que é destinado para operações em campo externo e/ou laboratórios com precisão de $\pm 0,41$ dB.

Para a avaliação das salas de aula, foram determinados 5 (cinco) pontos de medição, um ponto central e os outros em cada extremo da sala, obtendo-se assim uma avaliação do ambiente por completo. Esta metodologia foi aplicada em todas as salas, seguindo as especificações da norma NBR 10151/87 (ABNT, 1987).

4. AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO: RESPOSTAS DOS USUÁRIOS

O comportamento dos usuários foi analisado através de um questionário, que avaliou a relação destes com o ruído no ambiente de sua residência e também das salas de aula, verificando ainda a classificação dada a esse ruído e principais consequências geradas por ele.

Para avaliar a sensação dos alunos quanto à presença do ruído externo foi perguntado a eles, se os ruídos realmente incomodam e qual seria a classificação dada a esse ruído (Fig. 1 e 2).

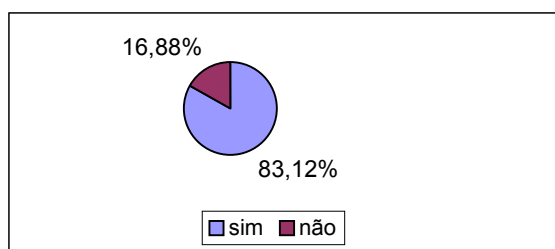


Fig. 1: Percepção quanto à presença do ruído externo.

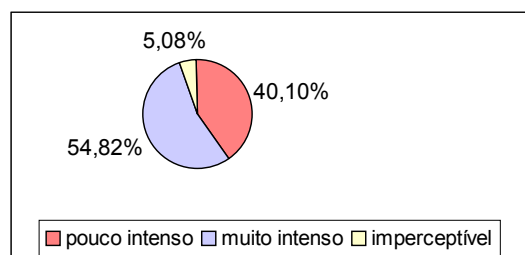


Fig. 2: Classificação do ruído externo.

Assim, concluímos que o ruído é realmente uma fonte de desconforto, percebido pela maioria como muito intenso, o que prejudica a concentração dos alunos durante as aulas.

5. AVALIAÇÃO DO CONFORTO ACÚSTICO: MEDIÇÕES

Através das leituras realizadas, foram obtidos os níveis de ruído equivalente global, que representa uma média dos níveis de ruído medidos, obtidos durante o tempo de medição, para cada ponto determinado nas salas de aula do primeiro pavimento do bloco. Além disso obteve-se ainda os níveis sonoros equivalente nas frequências centrais das bandas de oitava, determinadas por norma, ambos para situação de janela aberta e fechada, a fim de se poder classificar as salas de aula, conforme as curvas de avaliação de ruído (NC), da norma NBR 10152/87.

Com os níveis de ruído equivalente global de cada ponto, foram calculados os níveis de pressão sonora médio para cada sala. Estes valores calculados, foram comparados com os parâmetros de conforto e aceitabilidade tabelados pela NBR 10152/87, que prescreve, para escolas, o nível sonoro máximo de conforto nas salas de aula como sendo 40 dB (A) e a faixa de aceitabilidade de 40 a 50 dB (A).

Os valores obtidos de níveis de pressão sonora médio para cada sala estão resumidos na Tab. 1. Com os níveis sonoros equivalentes nas frequências centrais das bandas de oitava medidos nos pontos determinados, buscou-se o maior por sala, que determina a frequência crítica a ser isolada do ambiente externo (SILVA, 1997).

Tabela 1: Valores obtidos de nível de pressão sonora médio em dB(A)

Sala de aula	Situação	NPS (médio) dB (A)
E 101	janela aberta	55,60
E 101	janela fechada	47,10
E 104	janela aberta	56,50
E 104	janela fechada	46,10
E 106	janela aberta	59,26
E 106	janela fechada	48,70
E 107	janela aberta	60,78
E 107	janela fechada	51,59
E108	janela aberta	59,35

Com os valores máximos de níveis sonoros equivalente encontrados e suas respectivas frequências, foram obtidas as curvas de avaliação de ruído (NC), no gráfico *Níveis de Pressão Sonora x Frequências Centrais das Bandas de Oitava* da NBR 10152/87. As curvas de avaliação de ruído (NC) encontradas foram comparadas com os parâmetros de conforto e aceitabilidade tabelados pela norma, que prescreve, para escolas, a curva de avaliação de ruído máxima de conforto nas salas de aula como sendo NC 35 e a faixa de aceitabilidade de NC 35 a NC 45.

Como exemplo, tomamos a sala E 108, na qual, com a situação das janelas abertas, nos pontos determinados foram medidos os níveis sonoros equivalentes em suas respectivas frequências, obtendo-se o espectro da Fig. 3.

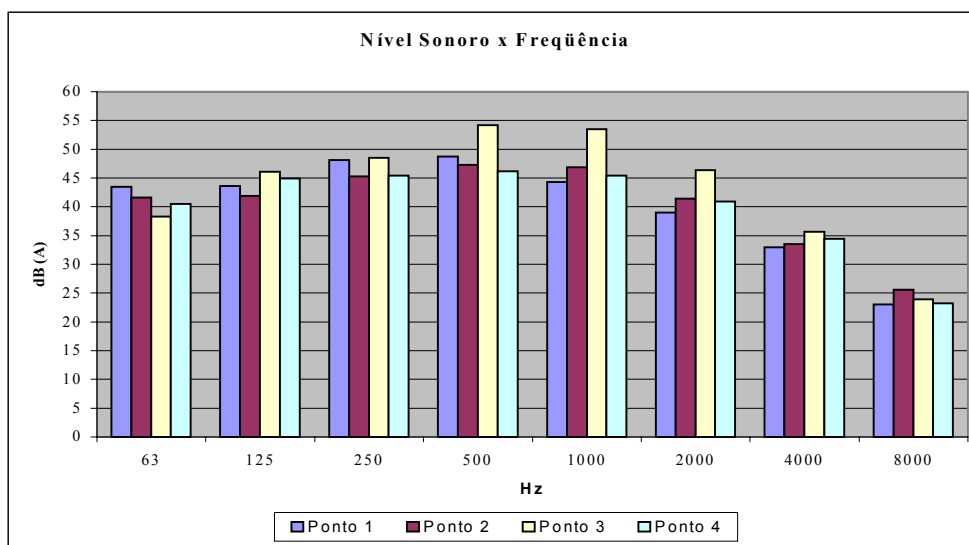


Fig. 3: Níveis sonoros × frequência para a sala E-108

O espectro mostra que, na frequência de banda de oitava de 500 Hz tem-se o maior nível sonoro para aquele ponto na sala de aula, ou seja, 54,20 dB (A). Esse par de valores é aplicado no gráfico *Níveis de Pressão Sonora x Frequências Centrais das Bandas de Oitava* da norma NBR 10152/87, obtendo-se a curva de avaliação de ruído mais próxima, NC 50. Para avaliar o desempenho acústico da sala de aula, faz-se a comparação entre essa curva de avaliação de ruído obtida com a curva máxima de conforto determinada pela norma. Neste caso, NC 50 é maior que NC 35 e ainda maior que NC 45, ou seja, o nível sonoro existente no ambiente da sala de aula em estudo não é aceitável e muito menos confortável.

Na Tab. 2 são apresentados resumidamente os valores máximos obtidos de níveis sonoros equivalente nas frequências centrais das bandas de oitava e curvas de avaliação de ruído medidos por sala.

Tab. 2: Valores obtidos de frequência e curvas de avaliação de ruído

Sala de aula	Situação	Leq (dB A)	Frequência (Hz)	NC
E 101	Jan. aberta	45,50	2000	45
E 101	Jan. fechada	36,50	1000	35
E 104	Jan. aberta	46,80	1000	45
E 104	Jan. fechada	35,10	500	30
E 106	Jan. aberta	51,00	1000	50
E 106	Jan. fechada	37,40	1000	35
E 107	Jan. aberta	54,20	1000	55
E 107	Jan. fechada	42,00	250	30
E 108	Jan. aberta	54,20	500	50

Análise comparativa dos valores obtidos de nível de pressão sonora médio e curvas de avaliação de ruído com os limite máximo de avaliação de ruído para conforto, estão resumidos na Tab. 3.

Tab. 3: Análise comparativa dos resultados

Sala de aula	Situação	NPS (médio)		NC	
		Confortável	Aceitável	Confortável	Aceitável
E 101	jan. aberta	não	não	não	sim
E 101	jan. fechada	não	sim	sim	sim
E 104	jan. aberta	não	não	não	sim
E 104	jan. fechada	não	sim	sim	sim
E 106	jan. aberta	não	não	não	não
E 106	jan. fechada	não	sim	sim	sim
E 107	jan. aberta	não	não	não	não
E 107	jan. fechada	não	não	sim	sim
E108	jan. aberta	não	não	não	não

Para fazer uma análise das condições de viabilidade do desempenho acústico das salas de aula são consultadas as condições de confortabilidade de NPS_(médio) e NC, pois representam o nível sonoro de conforto. Os valores de confortabilidade de NPS_(médio) são os parâmetros fundamentais para a classificação da situação atual das salas de aula, enquanto que os valores de NC são uma alternativa para essa classificação, sendo as frequências associadas a estes valores de grande importância para o dimensionamento do isolamento acústico, pois representam uma referência de valores críticos a serem evitados.

Observa-se, através da TABELA 1, que os níveis de pressão sonora médio nas salas de aula não são confortáveis, pois todos os resultados obtidos encontram-se acima de 40 dB (A). Sob o ponto de vista de NC, algumas salas mostraram-se confortáveis, ou seja, têm os seus valores abaixo de NC 35 e outras, na maioria, não confortáveis, pois estão acima de NC 35, limite máximo de avaliação de ruído para conforto.

Assim, verifica-se que as salas de aula não estão confortáveis e requerem um estudo de tratamento acústico, que vise reduzir o nível de ruído externo no ambiente aos valores de conforto.

6. CONCLUSÃO

Visando estabelecer valores máximos para o nível de intensidade sonora compatíveis com padrões adequados de conforto e bem-estar, a ABNT determina, através da NBR 10152/87, os limites aceitáveis para diversos locais, em função de sua ocupação. Certas cidades ou regiões possuem também legislação específica que define os níveis máximos de ruído admissíveis em diversas circunstâncias, em horas do dia ou da noite. É recomendável ao projetista confirmar junto às autoridades locais, antes da elaboração do projeto arquitetônico, a exigência dessa legislação.

Na cidade de Curitiba, a Prefeitura Municipal através da lei 8.583/95 (PMC, 1995), que dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem estar e do sossego público, afirma que no Setor Estrutural (PMC, 2000), onde o CEFET-PR está situado, os limites máximos permissíveis de ruído, para o período diurno, são de 65 dB (A), para o período vespertino, de 60 dB (A) e, para o período noturno, de 55 dB (A).

Verificamos que, nas ruas ao redor da instituição, o nível de ruído urbano médio no horário de maior fluxo chegou a 69 dB (A), o que caracteriza que o limite permissível no horário vespertino está sendo ultrapassado e que a instituição está num local inadequado para seu funcionamento. Assim, caberia à Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba fazer um controle do ruído na zona do setor estrutural, reduzindo os níveis de ruído ao limite máximo permitido de 60 dB (A). Porém, esta medida não solucionaria o problema acústico na instituição, pois esta redução não seria significativa o suficiente para tornar o ambiente nas salas de aulas confortáveis, ou seja, níveis sonoros menores ou no máximo iguais a 40 dB (A).

Com a solução de isolamento acústico adotada para deixar o nível de ruído nas salas de aula de acordo com os valores determinados em norma e convenientemente confortáveis, surgirá então, o problema da renovação do ar que exige estudo especial de tratamento; isolamento térmico e sistemas de condicionadores de ar. Pois, para manter o nível de ruído ótimo no ambiente, as janelas deverão permanecer hermeticamente fechadas.

Assim, verifica-se a importância de haver um estudo complementar do desempenho térmico, lumínico e ergonômico, elementos definidores da área de investigação do conforto ambiental (RIVERO, 1986), proporcionando uma melhor produtividade para alunos e professores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Níveis de Ruído para Conforto Acústico*. NBR 10152. Rio de Janeiro : 1987.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico de 1940*. Rio de Janeiro : IBGE, 1940.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico de 2000*. Rio de Janeiro : IBGE, 2000.
- KOENIGSBERGER, O.H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A. & SZOKOLAY, S. V. *Manual of tropical housing and building*. Londres: Longman, 1973.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *Lei de Uso do Solo*, LEI 9.800. Curitiba, 2000.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *Ruídos Urbanos e Proteção do Bem Estar e do Sossego Público*, LEI 8.583. Curitiba, 1995.
- RIVERO, Roberto. *Arquitetura e Clima: Acondicionamento Térmico*. Porto Alegre: Luzzato, 1986.
- SILVA, Prof. Pércles. *Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar*. 3. ed. São Paulo : Editora Termo Acústica Ltda., 1997.

8. AGRADECIMENTOS

Ao Professor Paulo Henrique Trombetta Zannin do Laboratório de Acústica Ambiental da Universidade Federal do Paraná - UFPR - pelo empréstimo dos aparelhos de medição, adquiridos através de fundos provenientes do CNPq e do DAAD – *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico).