



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Avaliação do impacto do ruído de transporte em escolas e percepção de professores e alunos em Fortaleza/Brasil

PEIXOTO, N.G.M¹; ARY JUNIOR, I. J.²; AZEVEDO FILHO, M.A.N.²; BRITO, F.A.

¹ Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, nara.peixoto@usp.br;

^{2,3} Departamento de Engenharia de Transportes, Fortaleza, CE, Brasil, azevedo@det.ufc.br; ivan@det.ufc.br.

Resumo

Os impactos ambientais acústicos gerados pelos modais de transporte nos centros urbanos apresentam-se como possíveis fontes de anomalias funcionais percebidas na saúde física e comportamental das pessoas. O que se agrava nos ambientes escolares de países como o Brasil devido ao baixo grau de planejamento acústico das edificações e cidades. O presente trabalho tem como objetivos analisar o impacto das fontes de ruído rodoviário, ferroviário e aeroviário em escolas e avaliar o incômodo gerado em professores e alunos. Foram escolhidas quatro escolas públicas na cidade de Fortaleza e analisadas as relações entre as medições acústicas internas e externas às salas, os elementos físicos das escolas e as entrevistas realizadas em duas dessas escolas envolvendo professores e alunos. Como resultado, tipologias horizontais das escolas possuem maior isolamento das fachadas devido ao efeito de sombra acústica entre os blocos. Já em disposições verticais deve haver preocupação com o ruído produzido por pátios e corredores da escola e soluções de isolamento das salas. Quanto a percepção das pessoas, o maior número de reclamações ocorreu devido a passagem de trens, motocicletas e veículos pesados. 60% dos professores relataram problemas na garganta e 40% citaram dificuldades de compreensão da fala e escuta. Entretanto, a quantidade de reclamações foi menor na escola que atingiu os maiores níveis de ruído, o que indica que fatores de vulnerabilidade social podem implicar em menor percepção de incômodo pelo ruído.

Palavras-chave: ruído rodoviário; escolas; incômodo ao ruído; acústica ambiental.

Evaluation of transportation noise in schools and impacts on students and teachers' annoyance in the city of Fortaleza, Brazil.

Abstract

The noise pollution generated by transportation system in urban areas is known to cause functional anomalies perceived in people's physical and behavioral health. In Brazil, educational buildings are exposed to high noise levels due to low degree of acoustic planning. The present work aims to analyze the impact of road, rail and air traffic noise sources in schools and the annoyance of teachers and students. Four public schools in the city of Fortaleza were chosen and the relationships between the acoustic measurements inside and outside the rooms, the physical elements of the schools and the interviews conducted in two of these schools involving teachers and students were analyzed. As a result, horizontal school typologies have greater facade insulation due to the acoustic shadow effect between the blocks. In vertical arrangements, on the other hand, there should be concern about the noise produced by schoolyards and solutions for room insulation. The greatest number of complaints of teachers and students occurred due to the passage of trains, motorcycles and heavy vehicles. 60% of the teachers reported throat problems and 40% cited difficulties in speech understanding and hearing. However, the number of complaints was lower in the school with the highest noise levels, indicating that social vulnerability factors may imply a lower perception of noise annoyance.

Keywords: road traffic noise; school; noise annoyance; environmental noise



1. INTRODUÇÃO

Diversos problemas encontrados em uma escola podem afetar o desempenho e bem-estar do estudante, por exemplo conforto térmico, acústico, aspectos sociológicos, pedagógicos e até mesmo políticos. Alunos de escolas com influência de altos níveis de ruído encontram-se, pelo menos, com alguns meses de atraso no aprendizado em relação àqueles que foram expostos de forma menos agressiva. O ruído em sala de aula foi associado à dificuldade de os alunos realizarem atividades de concentração, memorização da matéria e entendimento de interpretação [1]. Os alunos mais novos são mais sensíveis ao ruído que os mais velhos. Isso porque a habilidade de entendimento da fala ainda não é plena até a idade de 15 anos, logo as crianças são ouvintes menos efetivos do que os adultos [2].

Distúrbios na saúde também são constantemente observados, afetando em especial a saúde dos professores. Em questionário aplicado junto aos professores de escolas do Rio de Janeiro, 50% dos professores afirmam que o nível de ruído e o espaço físico sempre interferem no rendimento do aluno [3]. Destes, 30% afirmaram que isto ocorre frequentemente e 20% esporadicamente. Os níveis de ruído ambiental em sala de aula são altos e se correlacionam com o aumento da intensidade das vozes das professoras [4].

Diante dessa problemática, a estrutura física das salas é um fator crítico em diversas escolas brasileiras. Isso porque, em geral, as escolas não são projetadas considerando aspectos acústico-arquitetônicos [5] e seguem um modelo padrão de edificação. O distanciamento entre projeto e usuário reforça o caráter impessoal que as edificações escolares são pensadas e propostas, o que potencializa problemas de ruído nas salas de aula.

No interior das salas de aula, recomenda-se que os níveis LAeq de ruído no interior de uma sala de aula estejam entre 35 e 45 dB [6]. A norma NBR 10.152 [7] estabelece limites de LAeq 40 a 50 dB em salas de aula desocupadas de escolas. Nos ambientes de circulação a Norma define 45 a 55 dB para conforto acústico. Segundo a

norma NBR 10151 [8], que estabelece os níveis sonoros para ambientes externos, o LAeq máximo admitido para áreas de escolas no período diurno é de 50 dB. Embora níveis entre 50 dB e 65 dB, embora aceitáveis, podem provocar estresse leve, dando início ao desconforto auditivo, vigilância e agitação. Níveis LAeq acima de 70 dB são causadores de irritabilidade [9].

Ressalta-se que não somente os valores globais se relacionam com os níveis de incômodo gerados em professores e alunos. O tipo de fonte sonora causa diferentes percepções e exige diferentes soluções para mitigação eficiente do problema. Além disso, uma fonte pode ser mascarada por outra e um determinado nível LAeq causar maior ou menor incômodo nos usuários. Nos tipos de fontes externas, destacam-se as fontes advindas do transporte rodoviário, que são mais frequentes no meio urbano. Já as fontes de meios de transporte metroviário e aeroviário diferenciam-se por ruídos intensos de curta duração durante a passagem desses veículos.

O objetivo do presente trabalho é analisar o impacto das fontes de ruído rodoviário, ferroviário e aeroviário em escolas e relacionar isso com o incômodo gerado em professores e alunos. Foram considerados aspectos físicos das fontes e relacionados com as respostas subjetivas e comentários adicionais feitos pelos entrevistados.

2. METODOLOGIA

Como estudo de caso, foram escolhidas 4 escolas públicas de ensino fundamental e médio na cidade de Fortaleza, no Brasil, que fazem frente a avenidas que possuem alto fluxo de veículos (Figuras 1 a 8). Duas dessas escolas localizam-se próximo ao aeroporto da cidade (Escola A e D) e, além disso, em uma delas há uma linha de trem metropolitano (Escola A). Todas as escolas podem ser classificadas em área “mista, com vocação comercial e administrativa”, cujo LAeq máximo permitido é 60 dB segundo a NBR 10.151. Escola A localiza-se a 200m da rota de aterrissagem aviões do aeroporto de Fortaleza, em uma zona classificada como AEA - Área Especial aeroportuária.

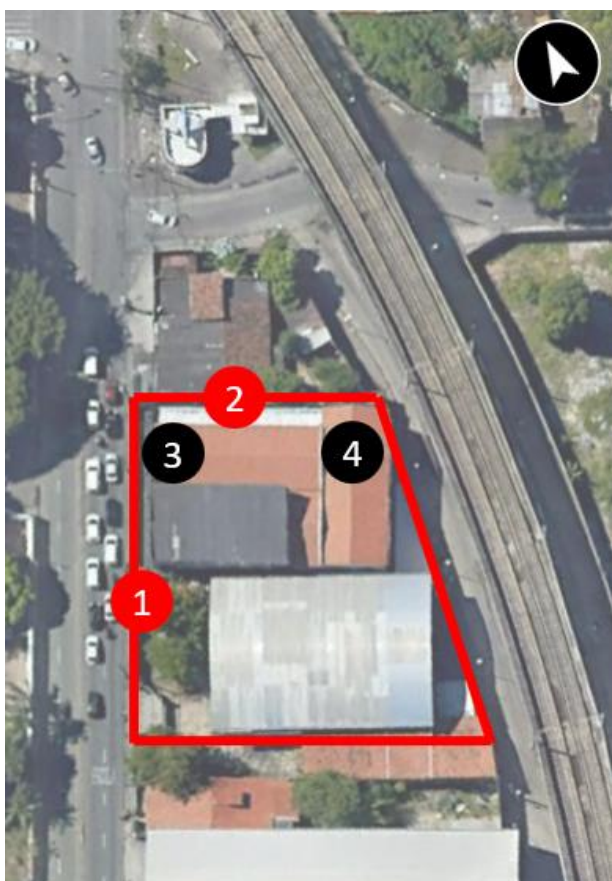


Figura 1: Pontos de medição na escola A.



Figura 2: Pontos de medição na escola B.



Figura 3: Pontos de medição na escola C.



Figura 4: Pontos de medição na escola D.



Figura 5: ESCOLA A: Visto do Ponto P4 (em cima) e Visita externa da fachada mais próxima à plataforma do metro (embaixo).



Figura 7: ESCOLA C - Vista interna da sala de aula - ponto P1 (em cima) - e vista do corredor – Ponto P2 (embaixo).

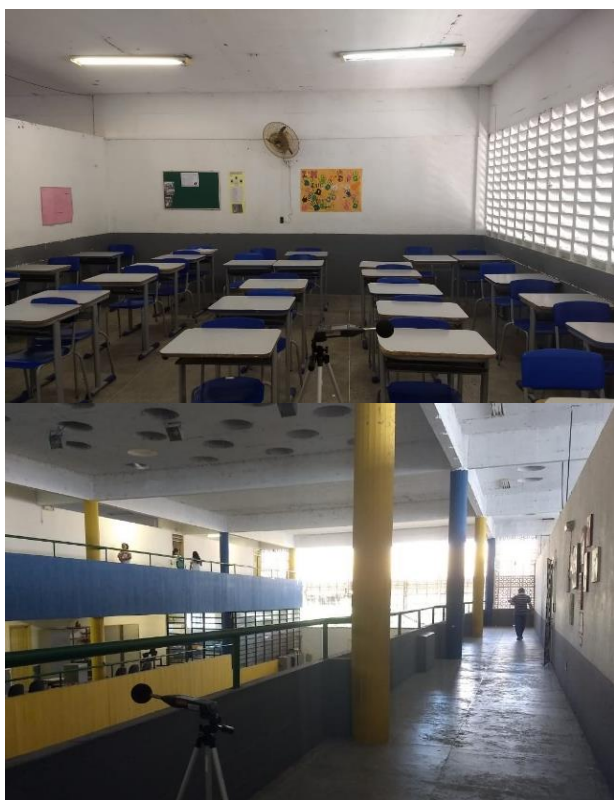


Figura 6: ESCOLA B: Vista interna da sala de aula - ponto P1 (em cima) - e vista do corredor – Ponto P2 (embaixo).



Figura 8: ESCOLA D - Visita interna da sala mais próxima à avenida - ponto P1 (em cima) e vista externa da fachada do edifício (embaixo).

Correspondem às áreas vizinhas dos aeródromos e das instalações de auxílio à navegação aérea sujeitas a restrições especiais compondo-se do sítio aeroportuário e das áreas de maior incidência de ruídos decorrentes das operações das aeronaves [10]. A escola D está a 1200m de distância horizontal da rota de decolagem de aviões que trafegam a aproximadamente 300m de altitude, o que pode vir a ser uma influência desse modo de transporte mesmo fora da zona AEA. A frota de aviões do aeroporto é composta em sua maioria por Boeings, passando a uma taxa de frequência de 1 voo a cada 30min, em especial no período da tarde. A frequência de trens ocorre a cada 21 minutos para cada sentido da linha.

Quanto à estrutura física das edificações, as Escolas A e B possuem mais de um pavimento e a quadra esportiva localiza-se ao lado do bloco das salas devido às limitações de área do terreno. Já as escolas C e D possuem implantação semelhante com blocos dispostos em um único pavimento. Há um bloco principal administrativo ou com salas de aula em frente à via, enquanto os demais blocos são conectados por corredores cobertos. As quadras esportivas de todas as escolas possuem cobertura metálica, mas não possuem fechamento lateral.

Para medição dos dados de ruído, foi utilizado o sonômetro DB 200 da marca KIMO classe 2, conforme NBR 10151. Foram medidos durante períodos de 10hs às 16hs. Foram realizadas medições externas na calçada das avenidas, em dependências internas às escolas como pátios e corredores, nas salas de aula mais próximas da avenida (sala fachada) e em sala de aula mais distantes da avenida (sala fundos). As medições

no interior das salas ocorreram sem a presença de aulas, já que o objetivo é avaliar o ruído de fundo. Em algumas medições foi utilizado o sonômetro modelo DEC 5030 Classe 2 da marca Instrutherm, que indica o espectro de frequência. As medições foram realizadas externamente para caracterização das fontes de tráfego. A temperatura estava entre 30°C e 31°C e a velocidade do ar variou entre 2m/s e 2,4m/s.

Nas medições externas, foi realizada contagem de veículo durante 15 minutos, que foram categorizados em leves, motos e pesados (ônibus, vans, caminhões). Para a Escola D foram utilizados dados de fluxo de veículos da Carta Acústica de Fortaleza [11]. Além disso, na Escola A foi levantado o fluxo metroviário através de relatório da Companhia de Metrô de Fortaleza sobre a linha Sul, cuja maior parte do trajeto funciona sobre a superfície. Em 2017, quando foram realizadas as medições, o horário de funcionamento iniciava-se às 6:34 e encerra às 20:00, com intervalo de 21 minutos entre os veículos. Os trens de unidade elétrica possuem extensão de 80m e trafegam a uma velocidade máxima admitida de 70km/h com redução de 25 km/h nas entradas dos aparelhos de mudança de via.

Para avaliar a percepção dos eventos sonoros e os níveis de ruído causados pelo tráfego de veículos, foram realizadas entrevistas nas Escolas A e D. A tabela 1 indica as perguntas direcionada aos professores e alunos, totalizando 30 entrevistas. Nas demais escolas isso foi impossibilitado devido à Pandemia de Covid 19. Assim, ressalta-se que os resultados dessa pesquisa são exploratórios,

Tabela 1: Perguntas feitas aos professores e alunos durante as entrevistas.

1.Há quanto tempo você estuda ou trabalha (como professor) nessa escola?
2.Você nota algum ruído externo à Escola causado pelos meios de transporte? Se sim, quais os tipos de fonte.
3.Você percebeu algum sintoma de saúde decorrente do ruído, como por exemplo Rouquidão, Problemas de Garganta, Dificuldade de Audição, Zumbido, Stress? Se sim, quais sintomas você tem percebido?
4.Você identifica alguma diferença no comportamento das crianças de uma sala mais ruidosa em relação a uma sala com menos ruído? Qual a relevância dessa diferença?
5. Dentro da sala de aula mais ruidosa existem mais dificuldades pedagógicas? Quais são as dificuldades?



possibilitando auxiliar novas pesquisas que se aprofundem no tema.

3. RESULTADOS

3.1 Influência de fonte rodoviária, aeroviária e metroviária nos níveis de ruído

Durante as entrevistas, um problema comumente relatado foi a passagem de ônibus e motos. Eventos da passagem de alguns desses veículos têm maior potencial de causar incômodo devido à discrepância dos níveis LAeq em relação ao ruído de fundo. A figura 9 indica dois momentos em que os picos de LAeq(1s) foram aproximadamente 80 dB: abertura de semáforo com a aceleração de veículos leves e passagem de ônibus em fluxo contínuo. Mesmo com o mesmo nível LAeq, a passagem de ônibus causou uma diferença de mais de 10 dB em relação ao fluxo contínuo. Logo, ressalta-se que apenas o valor LAeq pode não refletir a percepção de incômodo das pessoas, sendo relevante o tipo de veículo e banda de frequência característica.

O fluxo de motos foi semelhante no entorno das escolas, variando entre 20% e 30%. Na cidade de Fortaleza esse modo é bastante utilizado para deslocamentos de trabalho, sendo majoritariamente utilizado por homens jovens. Esse perfil está relacionado a uma direção mais agressiva e, adicionando alteração do escapamento das motos, pode haver acréscimo de 10 dB em relação a veículos leves [12]. Quanto aos veículos pesados, nas escolas C e D houve volume relevante de veículos de carga. Já nas escolas localizadas nas áreas centrais da cidade (A e B), houve predominância de ônibus.

Ônibus tendem a causar menores níveis de ruído do que veículos de carga devido a um maior controle e regularização do estado de conservação dos veículos. Outro estudo realizado na cidade de Fortaleza constatou que a passagem de um único veículo de carga gerou até 104 dB no LAeq (1s) devido aos freios durante a desaceleração [13].

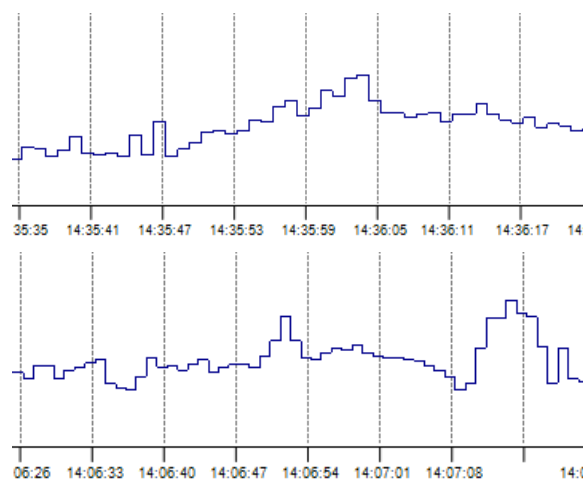


Figura 9: Níveis sonoros por segundo durante (A) Abertura do semáforo com fluxo de veículos leves; (B) Passagem de veículo pesado.

Quanto às características das fontes de tráfego, as medições realizadas na via ao fundo da escola A captaram a passagem de trens e de aviões a uma altitude de aproximadamente 12m e 180m, respectivamente. Considerando apenas ruído rodoviário, o LAeq foi 64.5 db, sendo registrado um máximo (Lamax) de 87.2 db durante 20 segundos da passagem de um trem. Esse tipo de ruído tem importante componente nas baixas frequências, entre 125 Hz a 500 Hz (Figura 10),

Tabela 2: Fluxo de veículos coletado durante 15 minutos por via em cada escola analisada.

Local	Data da medição	Tipo de via	Tipo de veículos e fluxo (15min)			
			Leve	Motos	Pesados	% pesados
Escola A	08/02/2017	Arterial	308	163	53	12,03%
Escola B	08/10/2018	Arterial	391	102	21	4,69%
Escola C	25/09/2018	Arterial	474	238	90	13,41%
Escola D	14/01/2015	Expressa	1656	505	115	5,82%

o que ocasiona ainda vibrações na estrutura da escola devido à proximidade com o elevado do trem. Devido à soma desses fatores, a fonte metroviária foi percebida com maior relevância pelos entrevistados (Figura 12). A passagem de um veículo ocasiona inevitável interrupção da aula.

Na escola A, a passagem de aviões em rota de pouso ocorreu durante aproximadamente 10 segundos atingindo no máximo 81,6 dB. Ao contrário da passagem de trens, o tipo de ruído gerado possui forte componente nas bandas de frequência médias e altas, de 500Hz a 4000Hz.

Assim, nessa situação com a interferência dos modos ferroviário e aeroviário (em pouso), uma solução efetiva deverá contemplar diferentes materiais para isolamento acústico, pois o pico do ruído está concentrado em diferentes bandas de frequência.

No caso da Escola D, a figura 11 mostra medições feitas na calçada, em frente à BR 116 e distante aproximadamente 1300 m da rota de decolagem de voos do aeroporto da cidade. Uma das curvas representa a situação padrão apenas com o ruído rodoviário e a outra o momento da passagem de um avião. A

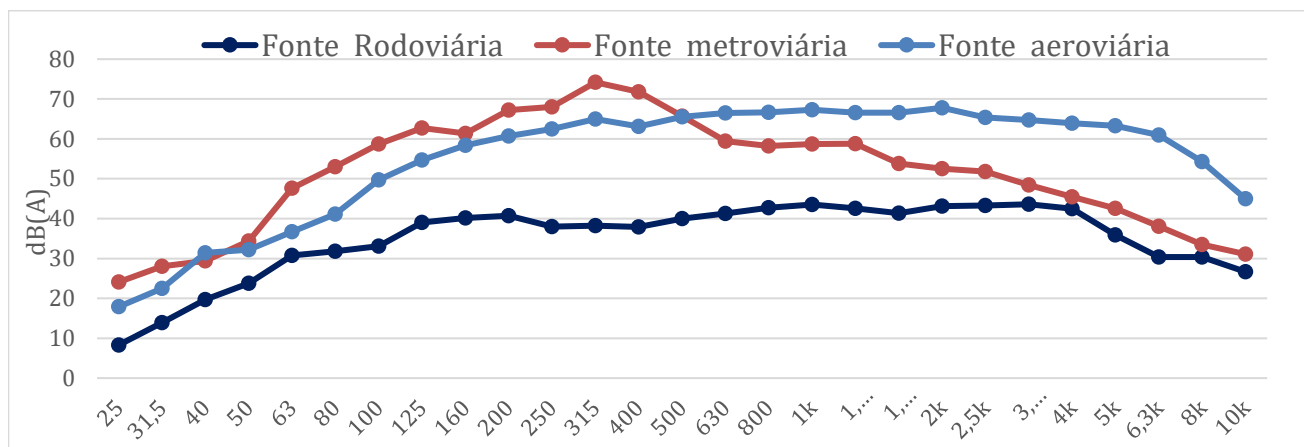


Figura 10: Fontes sonoras no entorno da Escola A, por bandade frequencia.

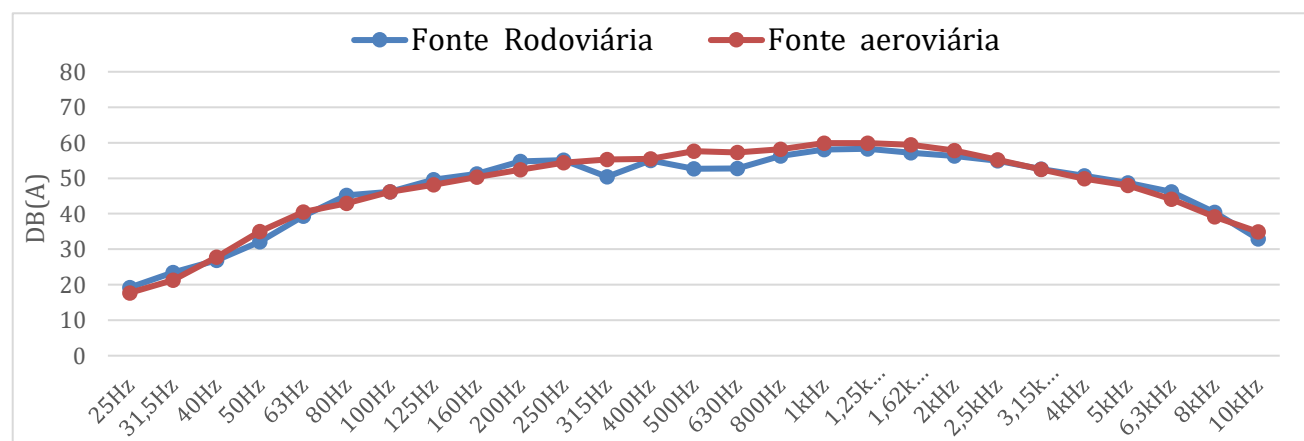


Figura 11: Fontes sonoras no entorno da Escola D, por bandade frequencia.

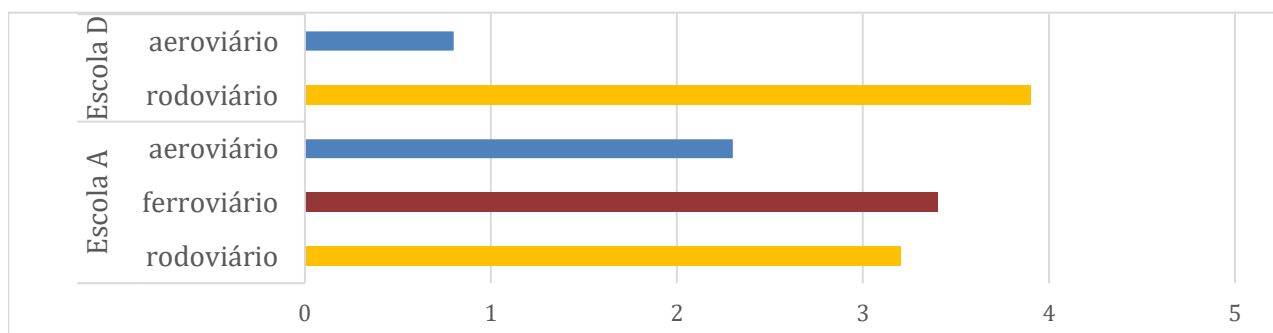


Figura 12: Qual a relevância do ruído externo à Escola causado?



sobreposição das curvas pode ser devido ao alto fluxo de veículos na BR 116, que gerou alto L_{Aeq} de 75.8 dB. Os altos valores nas bandas de 1/3 de oitava entre 500Hz a 1000Hz podem causar mascaramento da fala humana, o que é um problema crítico no ambiente escolar. As entrevistas apontam que o ruído rodoviário foi percebido com maior relevância, embora a fonte aeroviária também tenha sido citada (Figura 12). Isso indica que mesmo com o mascaramento, a passagem de aviões pode ser um problema do ponto de vista subjetivo.

3.2 Elementos das edificações e níveis sonoros nas salas de aula

Em relação a configuração espacial, a Escola A possui limitações devido ao tamanho do terreno. Considerando apenas o ruído rodoviário foram constatados altos níveis L_{Aeq} tanto no exterior da escola (68.7 dB) quanto no corredor (66.4 dB), conforme ilustra a figura 13. Na tentativa de solucionar o impacto do ruído da avenida, a abertura da esquadria da sala mais próxima da fachada foi vedada. Apesar desse isolamento, essa sala registrou L_{Aeq} 63.3 dB e foram constatados outros problemas relacionados ao desconforto térmico e lumínico. Esse tipo de reforma feita pelos gestores da escola sem algum tipo de consulta técnica é um problema comum em escolas brasileiras [5]. Isso indica a necessidade de um maior investimento tanto do poder público como da comunidade técnica e científica. Nesse caso, outro tipo de solução com uso de materiais para isolamento da fachada e barreiras nas esquadrias poderia ser mais adequado.

A Tabela 3 indica os valores medidos na Escola A durante a passagem de trem e avião. A situação mais crítica ocorre na sala de fundos, onde a passagem de aeronaves causa L_{Aeq} 69.3 dB e L_{max} 78.9 dB. Porém o maior distúrbio ocorre durante a passagem de trens, com L_{Aeq} 73.1 dB e um pico de 83.1 dB. Ressalta-se que a implantação da escola é anterior ao funcionamento dos trens urbanos, que retomaram o funcionamento em 2013. Devido a isso, além dos problemas internos constatados nessa escola, é importante ressaltar a ausência de medidas do poder público de atenuação do impacto do ruído causado pelos trens urbanos

no entorno. Em diversas situações o Estudo de Impacto de Vizinhaça pode indicar a necessidade de barreira de proteção ao longo da linha de trem [14].

A escola B se destaca pelos altos níveis de ruído produzidos na própria escola, atingindo 76.1 dB no ponto P2 localizado no corredor. Essa medição foi feita em período que não havia aulas (13hs) e houve predominância de vozes humanas. Essa situação é comum também em período de aulas devido a diferentes horários para recreio entre as séries menores e maiores. Isso agrava-se pelo vazamento desse ruído para as salas de aula devido a existência de janelas nas paredes divisórias entre salas de aula e corredor. Assim como na escola A, as janelas são elementos fracos acusticamente e responsáveis pela diminuição na capacidade de isolamento sonoro entre os ambientes.

Na sala de aula com ventiladores de teto (p4) o L_{Aeq} foi 65.4dB, ou seja, quase o mesmo nível 65.9 dB medido externo à edificação (p1). Já na sala próxima à fachada, o fechamento das esquadrias devido a presença de ar condicionado causou redução do nível para 61.9 dB. Apesar disso, esse valor é superior ao definido pela NBR 10151, o que indica que esse tipo de implantação com pátio interno coberto entre blocos não é aconselhável para edificações escolares. Nessa configuração, soluções de barreira acústica externa à fachada possuem menor eficiência.

Nas escolas C e D, percebe-se uma grande diferença entre o ruído externo e os demais níveis medidos nas salas e no pátio da escola. Isso porque a disposição horizontal dos blocos paralelos causa sombra acústica nos blocos mais distantes da via. O bloco de salas mais próximo da avenida é mais afetado pelo ruído rodoviário e nesse aspecto essas duas escolas têm diferentes configurações. Na escola C a sala mais próxima à via (p3) mantém as janelas fechadas devido ao ar condicionado, causando maior isolamento acústico do que as salas do fundo que não possuem ar condicionado. Trata-se de bloco administrativo e com laboratórios que, em geral, já necessitam desse condicionamento.

Já na escola D, as salas mais próximas à via não possuem ar-condicionado, o que torna necessário que as janelas da fachada voltada para a via permaneçam abertas. Observou-se a presença de salas com ar condicionado em outros blocos, o que não é a melhor solução do ponto de vista acústico. Além disso, essa escola não possui qualquer barreira entre o edifício e a Avenida e, devido ao grande fluxo de veículos nesta via (LAeq 73.3 dB), foi registrado alto LAeq nessas salas (66.4 dB). Apesar disso, a sala de fundos apresentou um dos menores níveis registrados dentre as escolas (55.3 dB). Isso reafirma o lado positivo desse tipo de implantação e, no caso dessa escola, o problema decorre da organização das salas nos blocos.

3.3 Percepção de professores e alunos

Apesar de os níveis de ruído mais críticos terem sido encontrados na Escola A, as entrevistas feitas nas escolas A e D antes da pandemia de

Covid19 apontam que professores e alunos percebem o problema acústico com menor relevância do que na escola D (Figuras 14 a 18). Isso ocorre porque o contexto de vulnerabilidade social dos alunos dessa escola torna o problema acústico secundário diante das diversas dificuldades cotidianas.

As respostas sobre as dificuldades pedagógicas nas salas mais ruidosas e os problemas de saúde em decorrência do ruído foram mais amenas na escola A. Quando perguntados se o ruído externo na sala mais ruidosa afeta o comportamento dos estudantes, na escola A 29% dos professores afirmaram que isso não ocorre porque depende da maturidade da turma. Já na escola D, 8% dos professores fizeram esse comentário mesmo com ambas as escolas possuindo estudantes com faixas etárias semelhantes.

Na Escola D, mais de 80% dos entrevistados creditaram muita ou extrema relevância no ruído causado por ônibus, carros, caminhões e,

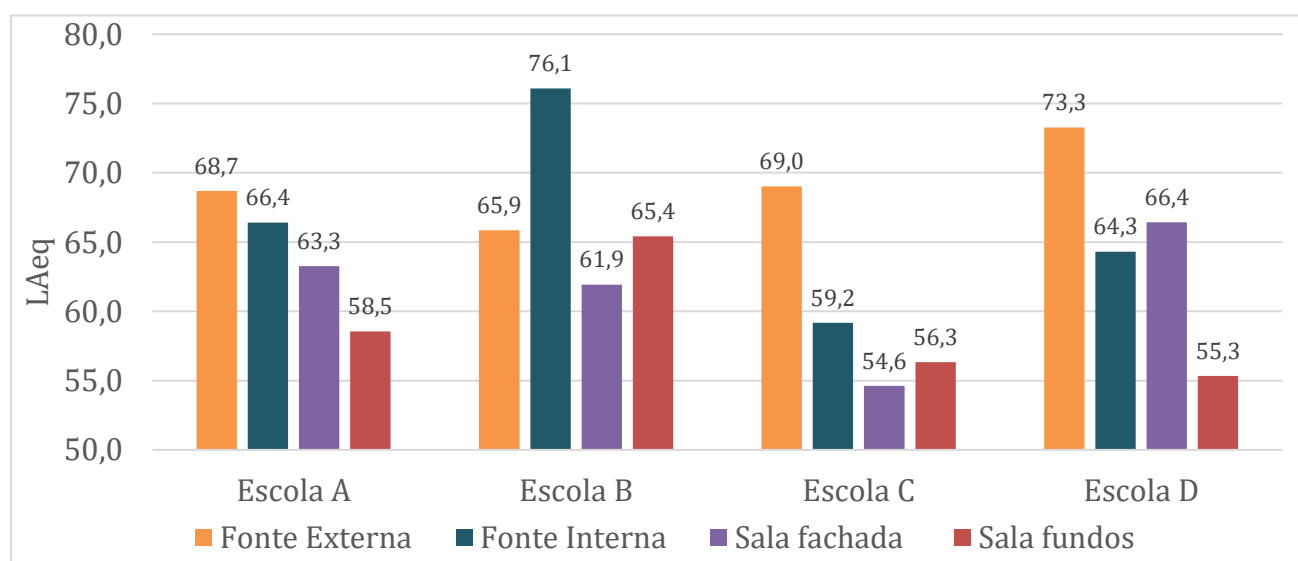


Figura 13: Fontes sonoras no entorno da Escola A, por banda de frequência.

Tabela 3: Níveis sonoros em situações de tráfego normal e na passagem de trem ou avião na Escola A.

	SALA FUNDOS (P4)			CORREDOR (P2)		
	RODOVIÁRIO	METRO	AVIÃO	RODOVIÁRIO	METRO	AVIÃO
LAeq	58,5	73,1	69,3	66,4	71,3	67,2
LAmáx	---	83,1	78,9	---	80,0	76,4



principalmente, motos na rodovia. Embora essa escola também possua estudantes expostos a vulnerabilidades sociais, os autores perceberam que os entrevistados possuem maior foco no desempenho escolar e no acesso ao ensino superior. Logo, o ruído nas salas de aula causou maior impacto no ensino e aprendizagem.

Alguns professores na Escola D utilizavam microfones devido a problemas de fala e a maioria (60%) reportou problemas na sala mais ruidosa, como por exemplo, agitação entre estudantes, menor concentração na sala de aula, dificuldade de ouvir e falar. Esse problema pode estar relacionado ao mascaramento da fala humana, como anteriormente mencionado. Além disso, observando a Figura 8 tem-se que as salas de aula possuem um alto pé-direito, o que pode agravar o Tempo de Reverberação (3). Na escola D foi reportada ainda distração visual devido à ausência de barreiras entre a sala de aula e a avenida. Os professores de ambas as escolas afirmaram haver perda de tempo de aula devido a passagens de veículos de ambos os meios de transporte.

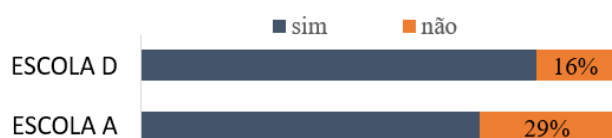


Figura 14: Respostas à pergunta: Você identifica alguma diferença no comportamento das crianças de uma sala mais ruidosa em relação a uma sala com menos ruído?

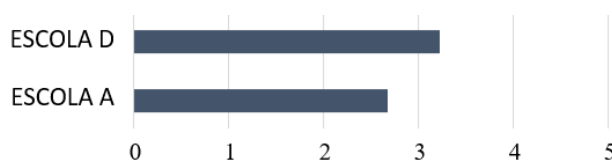


Figura 15: Respostas à pergunta: Qual a relevância dessa diferença?

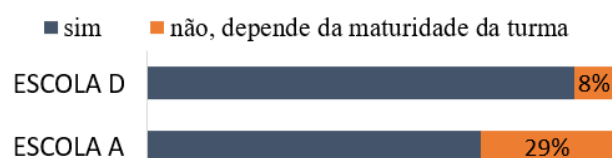


Figura 16: Respostas à pergunta: Dentro da sala de aula mais ruidosa existem mais dificuldades pedagógicas?

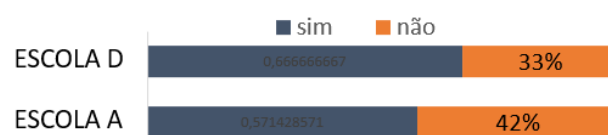


Figura 17: Respostas à pergunta: Você percebeu algum sintoma de saúde decorrente do ruído?

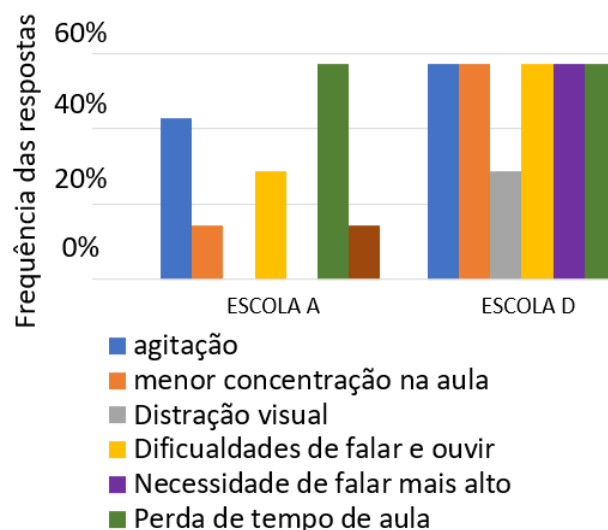


Figura 18: Respostas à pergunta: Quais as dificuldades pedagógicas devido ao ruído?

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram avaliadas 4 escolas próximas a grandes avenidas da cidade de Fortaleza, considerando o ponto de vista do isolamento acústico com o exterior. Duas escolas também localizam-se próxima a rota de trens e aviões. Em geral, percebeu-se que o ruído causado pelos transportes muitas vezes é negligenciado em escolas públicas brasileiras. Os problemas acústicos ocorrem devido a escolha do terreno, o modo de implantação, tipologia adotada para a edificação e disposição das salas. Foram encontradas diversas situações em que o problema poderia ser atenuado através de soluções simples, como reorganização de salas, ou soluções mais complexas, como aplicação de barreiras acústicas no exterior da escola ou em equipamentos públicos do entorno.

A tipologia da edificação onde os blocos são dispostos paralelos à avenida otimiza o isolamento das fachadas. Isso porque somente o bloco mais próximo da avenida é diretamente afetado pelo ruído rodoviário, enquanto os

demais estão sombreados acusticamente. Na escola que obteve os melhores níveis de isolamento (Escola C), esse primeiro bloco possui atividades administrativas e laboratórios que já necessitavam ar condicionado. Já a tipologia vertical avaliada (Escola B) possui patio interno coberto entre os blocos de sala que potencializa o vazamento do ruído gerado dentro da escola para as salas de aula.

Nas entrevistas realizadas em duas escolas, diferente do esperado, os professores e alunos percebem o problema acústico com menor relevância na escola que apresentou maiores níveis sonoros. Isso ocorre porque o contexto de vulnerabilidade social dos alunos dessa escola torna o problema acústico secundário diante das diversas dificuldades cotidianas. Já na outra escola os autores perceberam que os entrevistados possuem maior foco no desempenho escolar e no acesso ao ensino superior. Logo, o ruído nas salas de aula causou maior impacto no ensino e aprendizagem.

Em todos os casos o ruído rodoviário medido nas fachadas foi superior a 65 dB e possui alto componente nas frequências próximas a fala humanas (500 Hz a 1000 Hz). Isso levou professores de uma das escolas a utilizarem microfones para evitar dores de garganta. Nas medições sonoras dessa escola o ruído rodoviário mascarou até mesmo o ruído aeroviário. Apesar disso, a fonte aeroviária foi citada nas entrevistas, o que pode ser um problema do ponto de vista subjetivo. Em outra Escola na situação em pouso de aviões, a fonte aeroviária apresentou forte componente nas bandas de frequência média e alta, de 500 Hz a 6300 Hz. Já a passagem de trens teve forte componente nas baixas frequências, entre 125Hz e 500Hz, o que ocasionou ainda vibrações na estrutura da escola devido à proximidade com o elevado do trem.

Portanto, uma solução efetiva para isolamento acústico poderá contemplar diferentes materiais e formas. A complexidade do problema e soluções pouco efetivas adotadas nas escolas pelos próprios usuários indicam a necessidade de um maior investimento em busca por soluções tanto pelo poder público quanto pela comunidade técnica e científica.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- [1] Caric, I., Cudina, M. Disturbing Effects of Noise in Classroom of a Primary School. In: Proceedings of 17th International Congress on Acoustics. Rome. 2001.
- [2] Celik, E.; Karabiber, Z. A Pilot Study on the Ratio of Schools and Students Affected from Noise. In: Proceedings of the International Symposium on Noise Control for Educational Buildings. Istanbul, p. 1-12, 2000.
- [3] SANTOS, M.; SLAMA, J. Ruído no ambiente escolar: Causas e conseqüências. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/93. Florianópolis, 1993. p. 301-306.
- [4] Guidini, R.F.; Bertoncello, F.; Zanchetta, S.; Dragone, M.L.S. Correlações entre ruído ambiental em sala de aula e voz do professor. Rev Soc Bras Fonoaudiol. 17(4): 398-404, 2012
- [5] LOSSO, M.A.F. Qualidade acústica de edificações escolares em santa catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.
- [6] Thierry L, Meyer-Bisch C. Hearing loss due to partly impulsive industrial noise exposure at levels between 87 and 90 dB(A). The Journal of the Acoustical Society of America. 84(2): 651–9, 1988.
- [7] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio De Janeiro, 1987.
- [8] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10151: Medição e Avaliação De Níveis De Pressão Sonora Em Áreas Habitadas — Aplicação De Uso Geral. Rio De Janeiro, 2019.
- [9] World Health Organization (WHO) environmental noise guidelines for the European region. WHO regional office for Europe. Copenhagen. Denmark. 2018.
- [10] Prefeitura de Fortaleza. Lei complementar nº 236 de 11 de agosto de 2017 parcelamento, uso e ocupação do solo. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br>.
- [11] Prefeitura de Fortaleza. Carta Acustica de Fortaleza. Disponível em: <https://cartaacusticadefortaleza.com.br/>
- [12] Forcetto, A.L.S. Poluição Sonora Urbana: a influência de modificações em escapamentos de motocicletas na emissão de ruído. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [13] Peixoto, N.G.M., Desenvolvimento de Método de Mapeamento do Ruído de Tráfego Rodoviário em Áreas



Urbanas Utilizando SIG de Acesso Aberto e Validação na Cidade De Fortaleza. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

[14] Vieira, A.L.O. Simulações de Barreiras Acústicas Para atenuação do Ruído Gerado pelo Metrô-DF. Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentada à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa. Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.