

Submetido 04/06/2024. Aprovado 25/02/2025

Avaliação: revisão duplo-anônimo

Desempenho acústico de salas de aula do bloco 600 do IFG, Campus Formosa

ACOUSTIC PERFORMANCE OF CLASSROOMS IN BLOCK 600 OF FEDERAL INSTITUTE OF GOIÁS, CAMPUS FORMOSA

DESEMPEÑO ACÚSTICO DE LAS CLASES DEL BLOQUE 600 DEL INSTITUTO FEDERAL DE GOIÁS, CAMPUS FORMOSA

Mariana de Moura Vaz Silva
Instituto Federal de Goiás (IFG)
marianademourafsa@hotmail.com

Daniel Ordine Vieira Lopes
Instituto Federal de Goiás (IFG)
daniel.ordine@ifg.edu.br

Resumo

Neste artigo são apresentados resultados da análise dos parâmetros acústicos de níveis de pressão sonora equivalente e do tempo de reverberação das salas de aula e corredores de circulação no bloco 600 do *campus* Formosa, Instituto Federal de Goiás, utilizando os métodos descritos pela ABNT nas normas técnicas NBR 10152 de 2017 e NBR 12179. O local analisado é utilizado para aulas do curso de bacharelado em engenharia civil e do curso técnico em edificações na modalidade EJA. Trata-se de um galpão provido de laboratórios e salas com particularidades únicas em relação ao restante da instituição. O espaço conta com algumas paredes de *drywall* e salas em tamanhos distintos entre si, o que gerou o interesse em conhecer suas atuais condições acústicas. Conhecer essas instalações possibilitou avaliar possíveis prejuízos na compreensão da fala de docentes e transtornos que prejudicam a atenção e o bem-estar de alunos. Com o levantamento desses parâmetros, foi possível compará-los com os valores de referência normatizados e classificar o desempenho acústico das salas, chegando à conclusão de que os ambientes analisados não são confortáveis acusticamente. Diante desses resultados foram sugeridas possíveis melhorias das salas para uma acústica mais significativa e eficiente.

Palavras-chave: desempenho acústico; conforto acústico; acústica de ambientes.

Abstract

This paper presents results for the acoustic parameters analysis of equivalent sound pressure levels and reverberation time characteristic of classrooms and circulation corridors in block 600 of the Formosa campus, Federal Institute of Goiás, using the methods described in the technical standards ABNT-NBR 10152 and ABNT-NBR 12179. The analyzed location is used for classes of the bachelor's degree course in civil engineering and technical course in the EJA modality in buildings, being a shed provided with laboratories and rooms with unique particularities in relation to the rest of the institution with some dry-wall walls and rooms in different sizes from each other, which generated interest in knowing its current acoustic conditions. To know them makes it possible to assess possible impairments in the comprehensibility of teachers' speech and disorders that impair students' attention and well-being. With the survey

of these parameters, it was possible to compare them with the standardized reference values and classify the acoustic performance of the rooms, reaching the conclusion that the analyzed environments are not acoustically comfortable. A possible solution and indications for possible improvements of the rooms in a more significant and efficient way were suggested.

Keywords: acoustic performance; acoustic comfort; room acoustics.

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del análisis de los parámetros acústicos de los niveles de presión sonora equivalente y del tiempo de reverberación de las aulas y pasillos del bloque 600 del campus Formosa, Instituto Federal de Goiás, utilizando los métodos descritos por la ABNT en las normas técnicas NBR 10152 de 2017 y NBR 12179. El lugar analizado se utiliza para las clases del curso de licenciatura en ingeniería civil y del curso técnico en edificación en la modalidad EJA. Se trata de un galpón provisto de laboratorios y salas con particularidades únicas en relación con el resto de la institución. El espacio cuenta con algunas paredes de yeso y salas de diferentes tamaños, lo que generó interés en conocer sus condiciones acústicas actuales. Conocer estas instalaciones permitió evaluar posibles daños en la comprensión del habla de los profesores y trastornos que perjudican la atención y el bienestar de los alumnos. Con la recopilación de estos parámetros, fue posible compararlos con los valores de referencia normalizados y clasificar el rendimiento acústico de las salas, llegando a la conclusión de que los ambientes analizados no son acústicamente confortables. Ante estos resultados, se sugirieron posibles mejoras en las salas para lograr una acústica más significativa y eficiente.

Palabras clave: rendimiento acústico; confort acústico; acústica de ambientes.

Introdução

O processo de ensino-aprendizagem é bastante influenciado pelo conforto do ambiente. A literatura médica e educacional aponta como a falta de cuidado com a temperatura, iluminação ou acústica do ambiente prejudica o processo educativo (Knowles; Holton III; Swanson, 2005; Gonçalves; Silva; Coutinho, 2009; Pinheiro; Masson; Lopes, 2017).

Dois fatores principais condicionam a qualidade acústica de um ambiente: o isolamento acústico e o tratamento acústico (Bistafa, 2018). Isolamento acústico diz respeito a como um ambiente permite a entrada de sons externos ou que os sons produzidos internamente se propaguem para o exterior. Em um ambiente escolar, o isolamento acústico será fundamental para que os sons produzidos dentro das salas de aula não interfiram entre si e que sons de outros ambientes (pátio, cantina, rua, quadra de esportes etc.) não atrapalhem os emitidos em sala.

Já o tratamento acústico diz respeito principalmente a como os sons são refletidos e absorvidos internamente. O interesse, aqui, reside principalmente no tempo de reverberação, que é a medida aproximada do tempo que um som produzido no ambiente continua a ser ouvido após sua interrupção devido às diversas reflexões da onda sonora no ambiente. Esse parâmetro é capaz de interferir consideravelmente na inteligibilidade da fala (Gonçalves; Silva; Coutinho, 2009). Quando o ambiente possui um alto tempo de reverberação, os sons produzidos durante a fala se misturam, dificultando a compreensão dos estudantes.

A combinação de pouco isolamento acústico e um tempo de reverberação (TR) inadequado pode gerar diversos problemas para a aprendizagem, entre eles a, já mencionada, piora na inteligibilidade da fala. Acrescenta-se o excesso de ruídos externos ou o

excesso de reverberação interna, que também podem ocasionar danos para a voz, principalmente de professores, que precisam compensar a inadequação acústica da sala falando mais alto (Pinheiro; Masson; Lopes, 2017). Esse cenário pode produzir nos ocupantes do ambiente irritabilidade, fadiga, dores de cabeça entre outros problemas diversos.

Neste artigo são analisadas as características acústicas de salas de aula no *campus* Formosa do Instituto Federal de Goiás (IFG), especificamente no bloco de salas de aula destinadas ao ensino de engenharia civil. Para isso, foram realizadas medições dos ruídos externos nas salas e cálculos dos tempos de reverberação.

As salas de aula do bloco 600, também denominado bloco tecnológico, foram construídas em 2014, com a proposta de abrigar o eixo de engenharias do local. É constituído por quatro salas de aula no pavimento térreo e seis salas no pavimento superior. O bloco conta também com áreas de laboratório e dois banheiros no pavimento térreo, que não foram objeto deste estudo. Inicialmente, no projeto, todas as vedações internas eram de alvenaria convencional, mas, após uma reforma, em 2016, foram instaladas paredes de gesso acartonado, com o objetivo de aumentar as salas para receberem novas turmas da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

A análise revelou que todas as salas analisadas estão inadequadas. Assim, ao final do estudo são apresentadas propostas simples que podem ser implementadas para melhoria da qualidade acústica dos ambientes e para um ambiente mais propício para o processo educativo.

Revisão da bibliografia

Parâmetros acústicos de ambientes

Alguns parâmetros são importantes para caracterizar a acústica de um ambiente: o nível de ruído, medido em decibéis (dB), e o tempo de reverberação, medido em segundos. Também é importante o conceito de coeficiente de absorção e de transmissão. Esses conceitos são brevemente explorados nesta seção.

Para descrever os fenômenos de maior interesse na acústica de ambientes, considerou-se que o meio principal de propagação do som é o ar. Quando uma onda sonora incide em uma barreira, há três fenômenos que podem acontecer com proporções distintas, a depender do material: reflexão da onda; absorção (conversão em calor); e transmissão através do material. O princípio de conservação de energia determina que a soma da Intensidade Sonora (potência sonora por unidade de área), das ondas refletida, absorvida e transmitida deve ser igual à energia da onda incidente, conforme a Equação 1,

$$I_{\text{incidente}} = I_{\text{refletida}} + I_{\text{absorvida}} + I_{\text{transmitida}}, \quad (1)$$

onde os termos representam respectivamente a intensidade sonora incidente em uma superfície $I_{\text{incidente}}$, a refletida de volta ao meio original $I_{\text{refletida}}$, a absorvida pelo material e dissipada $I_{\text{absorvida}}$, e a transmitida através do meio $I_{\text{transmitida}}$. Dividindo todos os termos pela intensidade incidente obtemos a Equação 2,

$$1 = \frac{I_{refletida}}{I_{incidente}} + \frac{I_{absorvida}}{I_{incidente}} + \frac{I_{transmitida}}{I_{incidente}}. \quad (2)$$

Quando há interesse nos efeitos de reflexão interna de um ambiente, uma característica importante dos objetos e materiais presentes neste ambiente a ser considerada é o coeficiente de absorção. Esse coeficiente, representado geralmente por α , mede a proporção da intensidade sonora absorvida e transmitida através de um material (ou seja, os dois últimos termos da eq. (2)), de modo que o coeficiente terá seu valor mínimo (zero) se refletir por completo a onda incidente e terá valor máximo (um) se absorver ou transmitir totalmente a energia incidente (Bistafa, 2018), conforme a Equação 3,

$$\alpha = \frac{I_{absorvida} + I_{transmitida}}{I_{incidente}} = 1 - \frac{I_{refletida}}{I_{incidente}}, \quad (3)$$

onde é chamado “coeficiente de absorção” e os demais termos são as intensidades sonoras presentes nas equações 1 e 2.

Apesar do nome, o coeficiente de absorção não leva em conta somente a parcela de energia absorvida. Uma ampla janela aberta, por exemplo, possui um coeficiente de absorção máximo. No entanto, a grandeza é relevante no contexto de tratamento acústico, pois quanto mais materiais com alto menores as reflexões sonoras indesejadas, seja porque o som é absorvido pelos materiais, seja porque é transmitido para fora do recinto.

O coeficiente de absorção sonora pode ser solicitado ao fabricante do material ou medido diretamente, através de procedimentos padronizados, utilizando-se tubos de impedância ou câmaras acústicas (Costa, 2003). No entanto, havendo interesse em isolar os ruídos de um ambiente de seu exterior, deve-se considerar, então, o coeficiente de transmissão sonora, representado por $\tau = I_{transmitida} / I_{incidente}$. Destaca-se que quanto menor for esse valor, melhor será o objetivo de isolamento.

Outro parâmetro importante para a caracterização de espaços físicos é o tempo de reverberação (TR), que diz respeito ao efeito físico ondulatório do som produzido por uma fonte e refletido em diferentes superfícies, atingindo de forma repetitiva o receptor (um ouvinte ou um equipamento de gravação, por exemplo) e provocando um efeito de prolongamento da sua duração.

Quando o som refletido chega ao receptor com intervalos de tempo geralmente superiores a 0,1s da recepção do som direto da fonte, o efeito percebido não será de prolongamento, mas de repetição do som, recebendo, então, o nome de eco. Em salas de aula e auditórios escolares, geralmente não há espaço suficiente para manifestação do eco, que requer barreiras com distâncias bem maiores. A reverberação é responsável por causar dificuldade de inteligibilidade da fala em ambientes e, conseqüentemente, desconforto (Costa, 2020). A Figura 1 representa a reflexão de uma onda sonora.

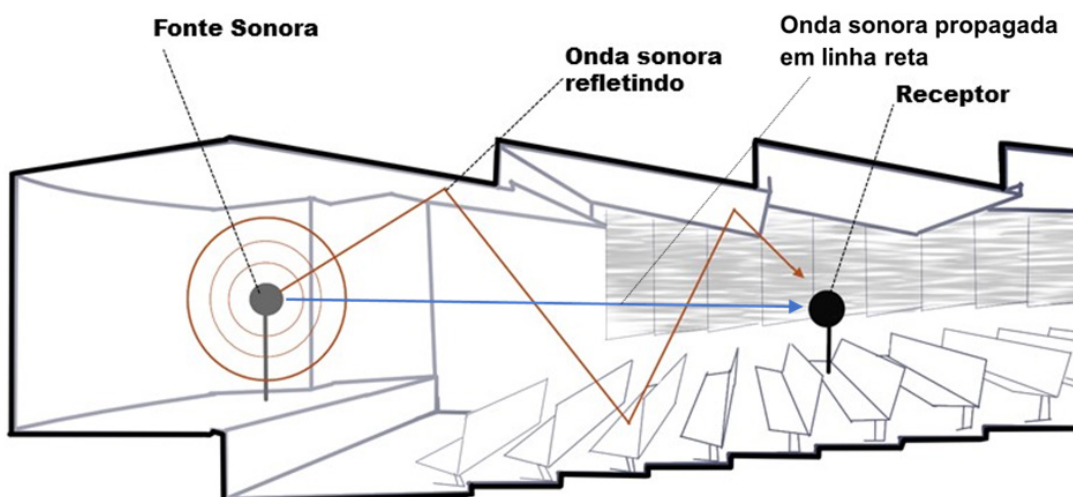


Figura 1 – Representação da reflexão de uma onda sonora

Fonte: Adaptada de Brandão (2016, p. 104).

Convenciona-se medir o Tempo de Reverberação (TR) como o tempo necessário para que o nível de pressão sonora de um som emitido decaia 60 dB. O decaimento está intrinsecamente relacionado à absorção sonora dos materiais dos elementos que compõem a sala, pois, se as superfícies são boas refletoras, o som permanecerá sendo refletido por um tempo. O Tempo de Reverberação (TR), em segundos, pode ser calculado de forma simplificada através da fórmula de Sabine (Costa, 2020), representada na Equação (4),

$$TR = \frac{0,16 \cdot V}{S\alpha}, \quad (4)$$

onde V é o volume da sala (medido em m^3) e $S\alpha = \sum S_i \alpha_i$ é a soma dos coeficientes de absorção de cada material presente na sala α_i , ponderados pela área do material S_i (medida em m^2). A fórmula de Sabine, equação 4, é indicada para a medição do som em salas com $S\alpha$ de até $0,2m^2$. Para salas com materiais bem mais absorventes, ou ambientes amplos onde a absorção do som através do ar deve ser levada em conta, outras fórmulas são utilizadas, as quais não serão mencionadas aqui, pois, para o interesse deste artigo, a Equação 4 é suficiente.

Sala de aula e riscos à saúde

Tendo em vista o comportamento do som em recintos fechados, abordados nas seções anteriores, vale refletir sobre o quanto esses eventos podem poluir com ruídos uma sala de aula, cujo objetivo principal é a comunicação de forma clara e acessível.

Em escolas, o ruído de fundo será qualquer um além da voz do professor e está relacionado a condições normais de utilização. Esse ruído pode advir da própria sala, como também de ambientes externos, onde sua incidência na sala dependerá da capacidade de isolamento das divisas (Losso, 2003). Um dos problemas associados ao ruído em sala de aula está relacionado à saúde vocal do professor, que, em uma tentativa de vencer o ruído de fundo, pode acabar realizando um esforço e alterações

vocais bruscas. Apesar disso, a qualidade acústica em um edifício escolar ainda não é uma prioridade (Pinheiro; Masson; Lopes, 2017).

Muitas pesquisas relacionam problemas de saúde humana e exposição a ruídos com ambientes agressivos, como indústrias, exigindo forte presença de técnicos de segurança do trabalho, em cumprimento à legislação fortemente aplicada nesse tipo de ambiente. Já em ambientes residenciais e educacionais não é comum ver essa cobrança por parte dos órgãos fiscalizadores (Eniz, 2004).

Todos esses estudos e pesquisas relacionados à saúde auditiva nas indústrias são de grande importância, tendo em vista que destacam e difundem os impactos na saúde física de quem se expõe a altos níveis de pressão sonora em forma de ruídos. Bistafa (2018) destaca a influência do tempo de exposição e o nível de ruído em decibéis para um indivíduo comum em um ambiente de trabalho contínuo, que reflete um aumento na probabilidade de problemas auditivos. O autor ainda aponta que, além dos danos à percepção auditiva, o ruído pode gerar problemas psicossociais no indivíduo, como ansiedade, estresse, isolamento e violência, interferindo na saúde mental da pessoa e nas pessoas próximas como a família. Isso pode gerar perdas no nível social, que levam a pessoa a se isolar mais, amplificando os sintomas.

Nas últimas décadas, estudos importantes têm analisado o impacto de ruídos de ambientes escolares em crianças (Stansfeld; Clark, 2015) e em outros grupos vulneráveis, como idosos (Van Kamp; Davies, 2013), bem como o impacto de ambientes acusticamente inadequados na saúde vocal de professores (Gonçalves; Silva; Coutinho, 2009; Martins *et al.*, 2014). O ruído surge então como uma interferência que compete com a fala do professor, tornando a desatenção e distração algo comum ao aluno e prejudicando sua aprendizagem de forma significativa (Eniz, 2004).

Como dito anteriormente, a capacidade de isolamento ao ruído depende de todo o conjunto das partições de uma sala. É importante ressaltar que em várias pesquisas na área (Gonçalves; Silva; Coutinho, 2009; Krüger; Zannin, 2004; Losso, 2003; Pedrazzi *et al.*, 2001; Santos Junior; Gomes; Oliveira, 2019), as salas de aula analisadas não estavam dentro das especificações acústicas consideradas recomendáveis para esses ambientes. Essas especificações, detalhadas em normas técnicas, são discutidas na seção seguinte.

Normas técnicas

Tendo em vista os inúmeros problemas relacionados ao ruído, fez-se necessário criar normas para padronização de técnicas para edificações e para evitar desempenhos prejudiciais. A norma principal, que aborda todos os requisitos básicos de uma edificação, é a NBR 15575 (ABNT, 2013), composta por outras cinco partes, que detalham, consecutivamente: sistemas estruturais; sistemas de pisos; sistemas de vedações verticais internas e externas; sistemas de coberturas; sistemas hidrossanitários. Essa norma serve como procedimento para coleta de dados e avaliação do desempenho de edificações, abordando sobre durabilidade, resistência ao fogo (incêndio), entre outros assuntos. A norma expõe ainda os requisitos de desempenho acústico para vedações, preocupando-se principalmente com a questão de ruídos externos de diversas naturezas.

Outra norma importante é a NBR 12179 (ABNT, 1992), que tem como objetivo proporcionar, através da coleta das condições do local, maneiras de realizar um tratamento acústico adequado à função do recinto. Uma vez que este trabalho tem como objetivo somente coletar as informações das condições atuais dos espaços e classificá-las em relação ao desempenho, serão aproveitados desta norma somente

os procedimentos do estudo geométrico para o cálculo de Tempo de Reverberação (TR) e as formas de avaliação. Para calcular o TR de uma sala, a norma dispõe de duas fórmulas: fórmula de Sabine, apresentada na seção 2.1, e a fórmula de Eyring. Os valores de coeficientes de absorção estimados nos ambientes analisados neste trabalho permitiram trabalhar com a fórmula de Sabine (Equação 4).

Os resultados de TR devem ser comparados ao valor da TR ótima. Esses valores se encontram na NBR 12179, em um gráfico em anexo. Se os valores calculados para o ambiente analisado estiverem dentro de uma margem de 10% dos valores de referência são considerados satisfatórios no desempenho para TR.

Para as aferições acústicas de nível de pressão sonora existem duas normas brasileiras: a NBR 10151 (ABNT, 2019), que dispõe dos requisitos para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em aplicações de uso geral; e a NBR 10152 (ABNT, 2017), que dispõe da mesma composição de requisitos, porém para a aplicação em ambientes internos. A NBR 10152 é composta por alguns itens importantes de serem mencionados: instrumentação; calibração; descritores e procedimentos de medição; método de medição; avaliação sonora; e relatório de medição e avaliação.

Quanto à instrumentação, a norma determina que o equipamento medidor seja da classe 1 ou classe 2 e que atenda aos critérios da IEC 61672:2020, a norma técnica internacional que especifica os instrumentos calibradores de intensidade sonora. O medidor deve estar calibrado para as faixas de frequências possíveis de serem medidas e possuir filtros de correção em A ou em S.¹ Além disso, deve possuir um calibrador classe 1 ou 2, a depender do medidor, que será usado para calibrar o sonômetro antes de cada série de medição. No fim de cada série, deve ser feita a leitura utilizando o sonômetro acoplado ao calibrador sonoro. Se houver uma variação de 5 dB com relação aos valores medidos é necessário refazer as leituras. O medidor e calibrador sonoro devem possuir certificado de calibração em laboratório membro da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro).

As medições devem ser suficientes para a caracterização do objeto de estudo. Durante o processo são necessários no mínimo 3 pontos em salas de até 30 m². A cada 30 m² acima disso é necessário adicionar 1 ponto. É recomendado ainda que as salas estejam em sua configuração comum de uso, e de preferência na ausência dos usuários. Os pontos devem ser distribuídos de modo que fiquem a pelo menos 1 metro de distância de paredes, mobiliários, janelas e portas (ABNT, 2017).

A norma apresenta dois possíveis métodos para coleta e análise dos níveis de pressão sonora de um ambiente: o método simplificado, no qual é usado a análise dos níveis globais de pressão sonora; e o método detalhado, que, além na análise global, mede também a pressão sonora espectral nas bandas de 1/1 de oitava (ABNT, 2017).

Devido às limitações técnicas dos equipamentos disponíveis para esta pesquisa, focou-se no método simplificado da NBR 10152. Neste, é necessário que o tempo de medição em cada ponto seja maior ou igual a 30s. O resultado da medição deverá ser composto pela média das medidas em cada ponto, dessa forma será necessário inseri-los na Equação 5, que fornece o valor representativo global do ambiente como um todo,

¹ Os filtros de ponderação A e S são utilizados para ajustar a medição do som à sensibilidade do ouvido humano. O filtro A é o mais comum em avaliações de ruído ambiental, pois simula a percepção humana em diferentes frequências, enquanto o filtro S (sem ponderação) considera todas as frequências igualmente, sendo usado em análises técnicas específicas.

$$L_{A,Eq,30s} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_{Aeq,30s,p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq,30s,p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{Aeq,30s,pn}}{10}} \right) \right], \quad (5)$$

onde $L_{A,Eq,30s}$ indica a média de pressão sonora equivalente do ambiente usando ponderação A (ou seja, filtrada para a sensibilidade do ouvido humano), tomado como uma média dos índices $L_{Aeq,30s,p1}$ etc., isto é, os níveis de pressão sonora equivalente com ponderação A medidos durante 30 segundos ou mais nos pontos $p1, p2, \dots, pn$. Além do valor médio representativo, há também o nível máximo de pressão sonora representativo de um ambiente ($L_{AS,Max}$), que é representado pelo maior registro entre os níveis de pressão sonora medidos em cada ponto na série de medição da sala.

Para análise e avaliação dos resultados, a NBR 10152 (ABNT, 2017) estabelece que os valores apurados devem ser comparados com os valores representativos para cada parâmetro. Para o método simplificado deverão ser observado os valores de $L_{A,Eq,30s}$ e $L_{AS,Max}$. Abaixo, a tabela mostra alguns valores de referência dispostos na norma.

Finalidade de uso: Valores de referência			
Educacionais	RLA_{eq} (dB)	$RLAS_{max}$ (dB)	RLNC
Circulações	50	55	45
Berçários	40	45	35
Salas de aula	35	40	30
Salas de música	35	40	30

Tabela 1 – Valores de referência para ambientes internos de acordo com a finalidade de uso
Fonte: ABNT (2017, p. 13).

Dessa forma, se os resultados se enquadram nos valores de referência, o ambiente se enquadra nos requisitos mínimos de desempenho, pois as normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 10152 (ABNT, 2017) obedecem aos critérios da NBR 15575: 2021, em suas partes 4 e 5 (ABNT, 2021).

Por fim, é importante ressaltar a necessidade da verificação da em cada série de medida. Indica-se a ABNT ISO/IEC GUIA 98-3:2014, ou o anexo C da norma contendo o método simplificado para tal. Nela, são consideradas duas variáveis de incerteza, a instrumentação de medição (a) e a repetibilidade e representatividade (b).

A incerteza padrão combinada será dada por

$$u = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (6)$$

Onde a incerteza padrão combinada é dada em dB, os valores atribuídos a são respectivamente 1 ou 2 para instrumentação de classe “1” ou “2”, e é o desvio padrão da média dos valores medidos.

Metodologia

A metodologia de trabalho foi dividida em duas partes: uma para a obtenção dos níveis de pressão sonora (NP), outra para o tempo de reverberação (TR).

Para identificação da NP, buscou-se, inicialmente, equipamentos que estivessem de acordo com a NBR 10152 (ABNT, 2017), garantindo a calibração. Então foram preparadas as plantas de cada recinto a ser analisado e a determinação de onde os equipamentos seriam colocados. Também foi determinado em quais dias e horários as medições seriam feitas, obedecendo às exigências das normas.

Para TR, primeiramente foi feito um cálculo aproximado do volume dos ambientes e dos valores de na Equação 4, a partir do qual foi constatado que a fórmula de Sabine seria adequada para o cálculo de TR. Então foram levantados de maneira minuciosa os materiais e objetos presentes em cada sala e a área de superfície de cada material, como também o coeficiente de absorção de cada material e a quantidade média de usuários por sala.

Objeto de estudo

As medições de nível de pressão sonora e do cálculo do tempo de reverberação foram realizadas nas salas e corredores do bloco 600 do IFG, *campus* Formosa. As salas estão distribuídas em dois pavimentos, sendo quatro localizadas no pavimento térreo e cinco no pavimento superior. Ambos os pavimentos possuem corredor para circulação de pessoas. As Figuras 2 e 3 mostram as disposições das salas.

No pavimento térreo todas as divisas das salas são compostas por alvenaria cerâmica, com acabamento em pintura lisa, e possuem pé direito de 2,80 m e acabamento em laje pintada.

No pavimento superior há divisas em gesso “Drywall” (sem preenchimentos) nos limites entre as salas e o restante das divisas em alvenaria cerâmica, todas com acabamento em pintura lisa, assim como no térreo, e pé direito de 2,78 m, e acabamento em laje pintada.

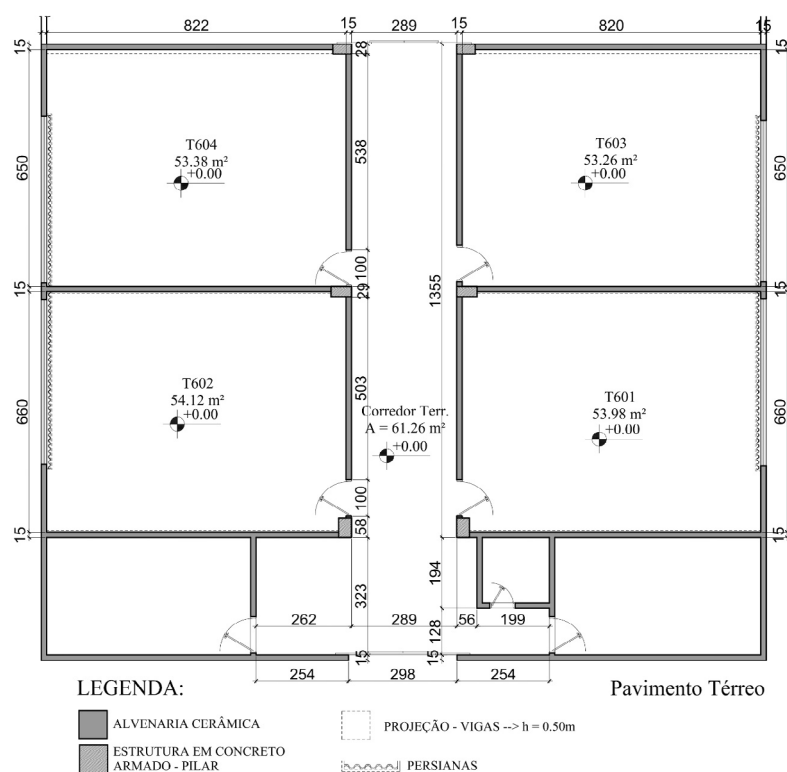
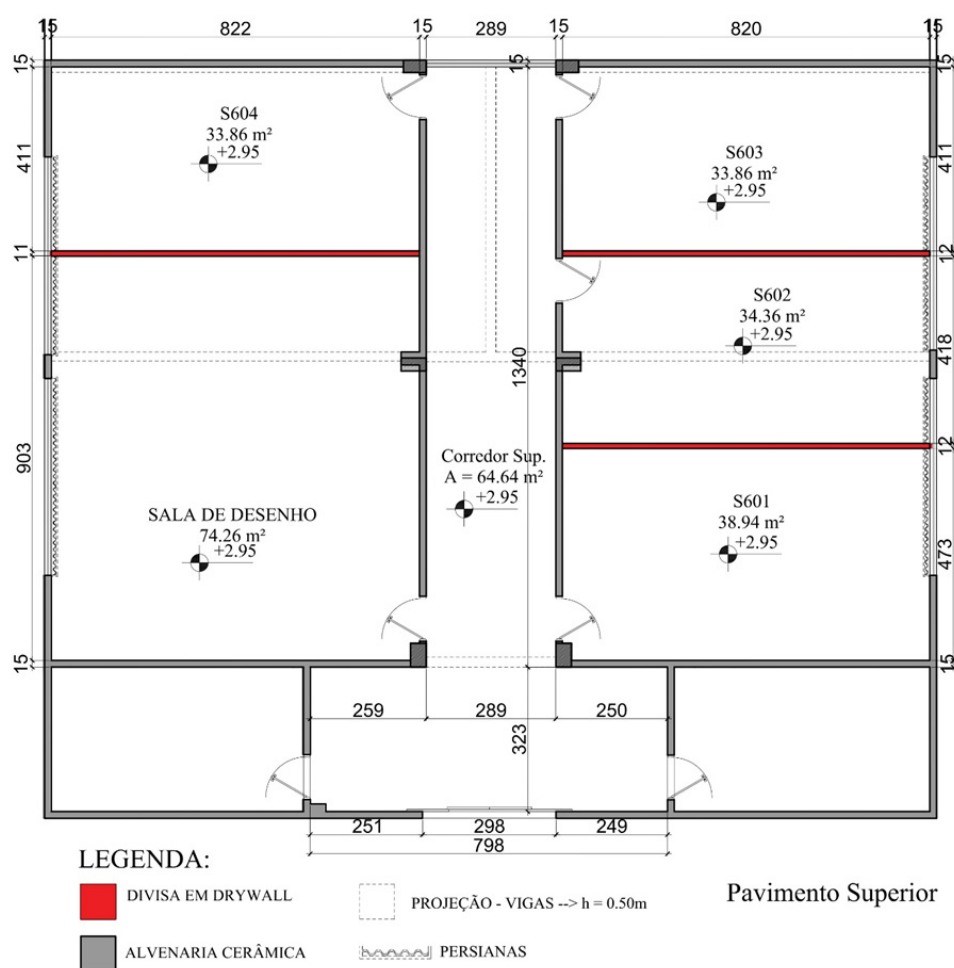


Figura 2 – Planta de pavimento térreo das salas estudadas

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2023).



As salas possuem entre 18 e 30 cadeiras, lousas, portas de madeira de 1,00 x 2,10 m, e janelas que variam de largura, além de persianas em PVC ou tecido. A Figura 4 apresenta uma das salas do pavimento superior. No total, foram analisadas 4 salas no pavimento térreo, o corredor térreo, 5 salas no pavimento superior e o corredor superior.

Para melhor apresentação, são expostas, na sequência, as plantas simplificadas. As plantas detalhadas com mobiliário e os cortes podem ser solicitadas aos autores, se necessário.

Com a coleta inicial da composição das salas, foram mensuradas as suas respectivas características acústicas: nível de pressão sonora equivalente e tempo de reverberação.



Figura 4 – Foto de uma das salas a serem estudadas à esquerda, e um equipamento ajustado para as medições à direita

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2022).

Nível de pressão sonora equivalente

Devido ao objeto de estudo ser composto por ambientes internos, para a determinação dos níveis de pressão sonora foram utilizadas as normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 10152 (ABNT, 2017), descritas na seção 2.3.

O equipamento medidor foi o ITDEC 4000 da Instrutemp, sendo do tipo 2, com precisão de $\pm 1.5\text{dB}$, escala de frequência de 31. Hz a 8.5 KHz, filtro de correção disponível em A ou C, e escala de pressão sonora que varia de 30 a 130 dB. Esse medidor foi ajustado com o filtro de correção em A, gerando valores para $L_{A,eq}$ (Nível de pressão sonora equivalente ponderada em A) em decibéis.

O medidor foi acompanhado de um calibrador sonoro do modelo TES-1356, tipo 2, com níveis de pressão sonora de saída de 94dB e 114 dB, frequência de saída de 1000Hz e em concordância com a IEC 60942.

As medições foram realizadas durante o período de maior ocupação das salas, enquanto as atividades em outros espaços adjacentes ocorreram normalmente, de acordo com a rotina da instituição.

Devido à recomendação da norma, de que a coleta seja realizada na ausência de usuários, foram realizadas as medições no ambiente com esta configuração: a sala estudada encontrava-se completamente vazia, enquanto as demais estavam em funcionamento, contribuindo com ruídos que, ao serem transmitidos para a sala, incidiram no equipamento.

As datas e horários das medições para cada sala estão indicadas na Tabela 2. É possível obter o memorial descritivo com mais detalhes de medição mediante solicitação aos autores.

Data e hora das medições de níveis de pressão sonora

Pavimento	Local	Área (m)	Nº de pontos	Data de medição	Horário de medição
Térreo	T601	53,98	3	20/10/2022	20:50
	T602	54,12	3	27/10/2022	20:30
	T603	53,26	3	20/10/2022	19:40
	T604	53,38	3	20/10/2022	20:00
	Corredor T.	61,26	4	20/10/2022	20:20
Superior	S601	38,84	3	20/10/2022	21:15
	S602	34,36	3	24/10/2022	20:00
	S603	33,86	3	20/10/2022	21:45
	S604	33,86	3	24/10/2022	21:05
	Sala de Desenho	74,26	4	24/10/2022	21:30
	Corredor S.	64,64	4	20/10/2022	21:30

Tabela 2 – Datas e horários das medições dos LAeq em cada sala

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2023).

A norma NBR 10152 (ABNT, 2017) especifica que sejam adotados três pontos de coleta de dados para salas até 30m², e que seja adicionado mais um ponto a cada 30m² que exceda os 30m². Com isso, foi possível fazer a planta de locação de pontos para as medições de nível de pressão sonora. A distribuição dos pontos está exibida nas Figuras 5 e 6.

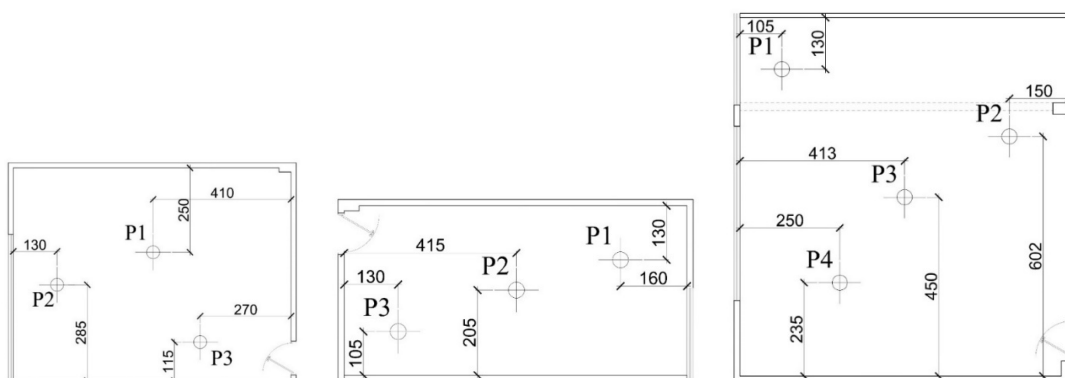


Figura 5 – Locação de pontos (LAeq) nas Salas T601, T602, T603 e T604 (esq.), Salas S601, S602, S603 e S604 (centro), Sala de Desenho (dir.)

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2022).

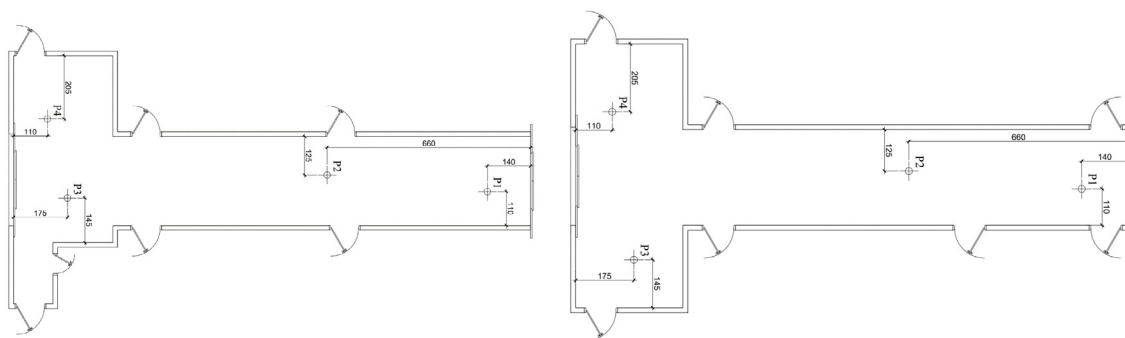


Figura 6 – Locação de pontos (LAeq) no corredor do pavimento térreo (esq.) e pavimento superior (dir.)

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2022).

O método simplificado foi adotado devido à limitação do medidor sonoro, que não possui filtros de oitava, sendo feita somente a análise global dos resultados. Assim foi obtido o valor de nível de pressão sonora equivalente ponderada em A ($L_{A,Eq,30s}$) que será apresentado na próxima seção.

Os resultados foram então comparados com a Tabela 1 da seção, que trata dos valores de referência contidos na NBR 10152 (ABNT, 2017) e, dessa forma, foi investigado se os ambientes analisados atendem aos requisitos mínimos de adequabilidade para o uso proposto.

Tempo de reverberação

Para o cálculo do tempo de reverberação foi adotado o método proposto na norma NBR 12179 (ABNT, 1992), descrito na seção 2.3. A fórmula utilizada (Sabine e/ou Eyring) depende do coeficiente médio de absorção e, por isso, os valores obtidos nas salas analisadas permitiram trabalhar somente com a fórmula de Sabine.

Com o auxílio de softwares de planilhas eletrônicas foram adicionados os dados coletados para cada sala, incluindo suas dimensões espaciais, área, volume, os materiais que compõem a própria sala, os móveis e quantidade média de alunos. A absorção do ar para as salas foi ignorada, devido ao seu volume pequeno.

Para medição dos valores dos coeficientes dos materiais foram adotados os valores médios indicados nas tabelas de referência presentes na NBR 12179:1992 (ABNT, 1992). A quantidade de ocupação adotada foi a lotação máxima e a completamente vazia, escolhidas pelo fato de alguns períodos dos cursos serem mais cheios que outros, gerando uma importância de uma análise nesse sentido.

Resultados e discussões

Esta seção foi dividida considerando-se os dois tipos de análise realizados: 4.1, referente aos níveis de pressão sonora, e 4.2, sobre o tempo de reverberação.

Resultados dos níveis de pressão sonora equivalente

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos e sua comparação com os valores de referência

Resultados das medições - $L_{Aeq,30s}$							
Pavimento / Ambiente	$L_{Aeq,30s,P1}$ (dB)	$L_{Aeq,30s,P2}$ (dB)	$L_{Aeq,30s,P3}$ (dB)	$L_{Aeq,30s,P4}$ (dB)	$L_{Aeq,30s}$ (média) (dB)	$L_{Aeq,30s}$ Valor de Ref.	Comparativo com o Valor de Ref.
Térreo							
T601	45,7	49,8	46,6	-	$47,7 \pm 2,4$	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
T602	42,9	45,3	45,6	-	$44,8 \pm 2,2$	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
T603	40,5	41,9	44,5	-	$42,6 \pm 2,3$	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
T604	41,6	41,4	41,5	-	$41,5 \pm 2,0$	35 ± 5 dB	Dentro do limite
Corredor Ter.	55,3	64,5	60,2	60,3	$61,2 \pm 2,7$	50 ± 5 dB	Além da Tolerância

Superior							
S601	45,1	45,6	45,0	-	45,2 ± 2,0	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
S602	40,3	43,0	47,1	-	44,4 ± 2,8	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
S603	45,5	45,3	45,8	-	45,5 ± 2,0	35 ± 5 dB	Além da Tolerância
S604	40,5	40,9	41,3	-	40,9 ± 2,0	35 ± 5 dB	Dentro do limite
Sala de Desenho	41,3	42,0	40,2	41,2	41,2 ± 2,0	35 ± 5 dB	Dentro do limite
Corredor Sup.	51,3	48,5	45,3	43,0	48,1 ± 2,7	50 ± 5 dB	Dentro do limite

Tabela 3 – Resultados das medições de e sua comparação com os valores de referência

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2024).

É possível notar que somente 3 salas estavam dentro do valor recomendado, e que, mesmo assim, estava nos limites da tolerância de erro, algumas delas com valores bem acima do recomendado. Além disso, o corredor térreo ficou bem distante do valor recomendado. Dois fatores explicam este dado: durante a coleta uma das salas de aula estava com a porta aberta; boa parte do ruído medido possivelmente vinha desta sala. Além disso, o térreo pode receber mais ruídos, tanto das salas adjacentes como dos produzidos na laje superior.

Outra análise interessante é que as salas mais próximas às entradas do bloco e mais à direita (T601, T602, T603, S601, S602, S603) possuem os maiores valores de , o que pode indicar maiores defeitos de isolamentos nessas salas ou uma maior interferência dos outros blocos do instituto. As salas com menores valores são as mais próximas do estacionamento e mais próximas dos laboratórios. A Figura 7 mostra a distribuição dos blocos e a indicação das salas mais ruidosas.

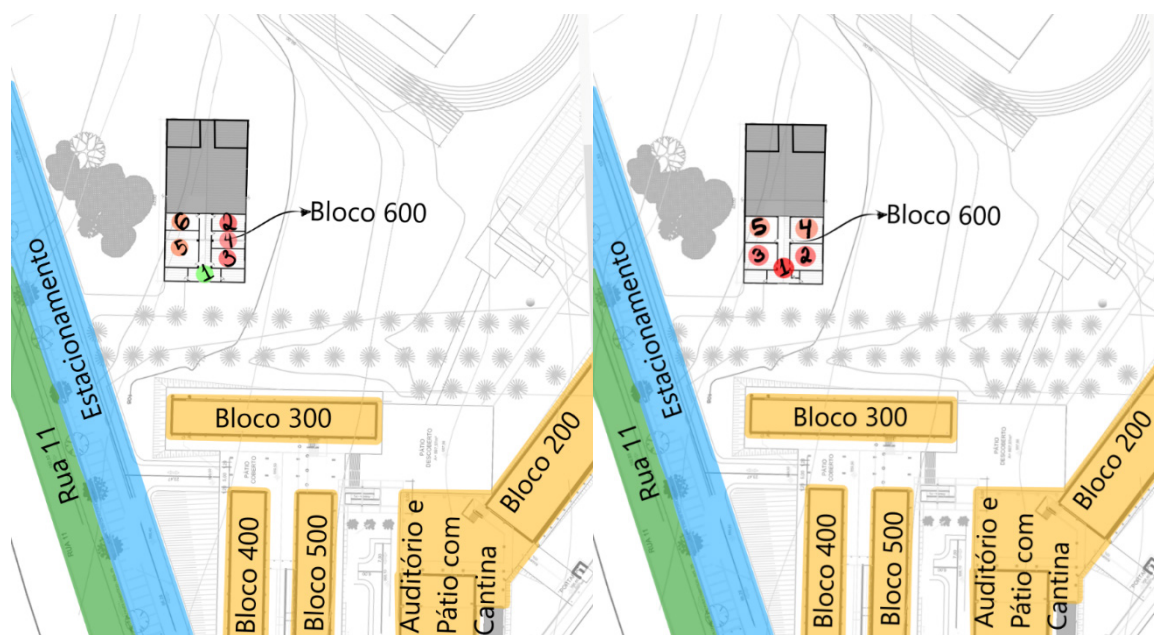


Figura 7 – Análise global do instituto e a classificação das salas do Bloco 600 em ordem decrescente do ambiente de maior ruído (1) para o de menor ruído. Térreo (esq.) e Pavimento superior (dir.)

Fonte: Elaborada pelo/os autores/as (2023).

Na Figura 7, em amarelo são representados os blocos ocupados que contribuem com ruídos em todo o meio. Em azul encontra-se o estacionamento, no qual durante as aulas há pouca movimentação e produção de ruídos. Em verde, uma das ruas que dão acesso ao instituto. No bloco 600 há um galpão, indicado em cinza, que não foi analisado. Ele contém um pátio interno e laboratórios ao fundo. A divisão das salas do bloco 600 e sua numeração do ponto com maior $L_{A,Eq,30s}$ para o menor (1 é o ambiente mais ruidoso, 5 o menos ruidoso).

Parece haver uma correlação da proximidade das salas com o restante dos espaços da instituição. O ambiente indicado em 1 (Corredor térreo) também tem altas chances de sofrer influências dos outros blocos, porém, como dito anteriormente, ele sofreu forte interferência da sala T602 que contava com a porta aberta.

No pavimento superior, em termos de valor unitário de $L_{A,Eq,30s}$, tem-se como mais ruidoso o corredor superior e em sequência, na ordem decrescente em ruído, as salas S603, S601, S602, Sala de desenho e S604. Semelhantemente ao térreo, com exceção da sala de desenho, há maiores valores nas salas voltadas para o bloco 300 e 200, incluindo assim a S603 que se encontra no sentido oposto ao estacionamento.

Resultados dos tempos de reverberação calculados

O tempo de reverberação foi definido para todos os ambientes pela fórmula de Sabine, na frequência de 500 Hz. Foram obtidos valores para a sala ocupada e para a sala desocupada, com o intuito de avaliar suas condições nas duas configurações. Entretanto, para efeitos de classificação foram adotados os valores de TR para as salas desocupadas, visto que os valores de referências da maioria das normas internacionais consideram essa condição.

É possível notar que foram obtidos valores bastante altos e que, ao compará-los com a NBR 12179 (1992), não poderiam ser avaliados pela figura em anexo da mesma, tanto pelos altos valores quanto por não conter os valores recomendados para uma sala de aula.

Assim, foi consultada a norma estrangeira ANSI S12.60 (2010), com realização de coleta do valor recomendado para as salas de aula na condição desocupada com volume menor que 283 m³ e para frequências de 500 Hz.

Resultados dos tempos de reverberação calculados (medidos em segundos)						
Pavimento / Ambiente	Volume (m³)	TR Sala Desocupada	TR Sala ocupada	Recom. ANSI - Sala Desocupada	Atende ao ideal?	Porcent. acima do recomendado (sala desocupada)
Térreo						
T601	149,46	2,33	1,46	0,6	Não	288%
T602	151,54	2,35	1,45		Não	292%
T603	149,13	2,42	1,49		Não	303%
T604	151,14	2,42	1,49		Não	303%
Corredor Térreo	171,53	2,70	-	Não Requer	-	-
Superior						
S601	108,25	2,16	1,39	0,6	Não	260%
S602	95,52	1,69	1,13		Não	182%
S603	94,13	2,03	1,27		Não	238%
S604	94,13	2,07	1,28		Não	245%
Sala de Desenho	206,44	1,59	1,28		Não	165%
Corredor Superior	179,7	2,86	-	Não Requer	-	-

Tabela 4 – Resultados dos tempos de reverberação para TR60 e sua comparação com o valor de referência
Fonte: Elaborado pelos/as autores/as (2024)

Todas as salas encontram-se em condições inadequadas de conforto acústico com relação ao tempo de reverberação, inclusive quando completamente ocupadas, com valores de tempo de reverberação variando de aproximadamente duas a três vezes o recomendado. A sala de desenho obteve os menores valores, devido ao ambiente possuir mobílias com maiores coeficientes de absorção, como mais cadeiras estofadas.

Para elaborar uma proposta de intervenção, usou-se como representante de cada pavimento a sala com o maior TR, que, no caso, foram as salas T603 e S601. Buscou-se, através de sites de fabricantes de revestimentos acústicos, algum material de fácil instalação e bom custo-benefício para tornar essas duas salas adequadas pela ANSI S12.60 (2010), reduzindo seu TR para 0,6s. Para as simulações, foi escolhido então o produto “revestimento acústico Lã de Pet 30mm”, da empresa Vibrasom (Vibrashop Tecnologia Acústica, 2022), com coeficiente de absorção de 1,02 por metro quadrado na frequência de 500 Hz.

Para a sala T603 seriam necessárias 78 placas do material. Comprando oito kits com dez placas, no valor de R\$ 350 cada, seria necessário um valor de R\$ 2800 (valores de maio de 2024). Já para a sala S601 foram requeridas 56 placas do material. O kit com 60 sairia por R\$2100 (valores de maio de 2024). Foram projetadas 24 placas sobre cada lateral das alvenarias e o restante foi usado para completar o teto nas proximidades do quadro, superfície de grande reflexão da voz do professor.

Assim, com um valor aproximado de R\$ 2.500 por sala, e um total de nove salas, bem como a aplicação por equipe especializada, estimou-se algo próximo de 30 a 40 mil reais para o tratamento acústico em todas as salas do bloco com o material indicado. É bem possível que valores mais baixos possam ser conseguidos por um melhor planejamento e soluções mais simples e de baixo custo.

Poderia ser feito o tratamento nas aberturas, para facilitar a adequação de ambas as salas, ou algum tratamento no piso (por exemplo, cobertura do piso em carpete). Entretanto, para afirmar a melhor solução deveria ser feito um estudo mais completo,

procurando reduzir não só o problema da alta reverberação como também os altos níveis de ruído aéreo, apontados pela análise dos níveis de pressão sonora equivalente feita na seção anterior.

Propor várias soluções diferentes, analisando o custo-benefício, seria o ideal antes de realizar qualquer intervenção. Vincular soluções para os problemas térmicos que as salas possuem ao grande aquecimento interno se mostra também necessário, pois é um problema comumente relatado pelos usuários e, como foi visto na seção anterior, é comum que os professores ministrem as aulas com as portas abertas para tentar melhorar a ventilação e efeitos de temperatura do local, salas que não possuem ar-condicionado ou ventilador.

Considerações finais

Este trabalho buscou avaliar a qualidade acústica das salas de aula de um dos blocos de salas no *campus* Formosa do Instituto Federal de Goiás, aplicando os procedimentos descritos nas normas NBR 10152 (ABNT, 2017) e NBR 12179 (ABNT, 1992). Para as medições de nível de pressão sonora foi utilizado um decibelímetro classe II, implicando na análise simplificada indicada na norma para determinação dos níveis de pressão sonora equivalentes. Já a NBR 12179 (ABNT, 1992) foi útil para modelar o tempo de reverberação sem o uso de instrumentação, já que não foi possível obter o equipamento para tal.

Com toda a análise realizada, conclui-se que as salas de aula do bloco 600 não se adequam às exigências das normas referenciadas que tratam do desempenho acústico. Foram analisados somente os níveis de pressão sonora equivalente ($L_{A,Eq,30s}$) e o tempo de reverberação estimado. Para o primeiro, apenas o corredor do pavimento superior se enquadrou nos limites definidos pela norma NBR 10152 (ABNT, 2017) para ambientes de circulação. O corredor térreo teve um valor para $L_{A,Eq,30s}$ de 61,2 dB, ultrapassando 11,2 dB do valor recomendado. Já todas as nove salas de aula contabilizadas no bloco tiveram valores de acima inclusive da tolerância de ± 5 dB do valor de referência.

Os resultados indicam um alto teor de ruído que penetra as vedações ou aberturas das salas e poluem o espaço. Como visto na revisão bibliográfica, o ruído é um grande responsável pela perda de eficiência no ensino, visto que pode causar distrações, incômodos e dores de cabeça. Também é preocupante para a saúde vocal dos professores, que tentam compensar interferência de ruídos com mais intensidade na voz.

Os tempos de reverberação calculados foram os dados mais preocupantes: todas as salas encontram fora do valor de referência ideal para uma sala de aula, em valores até três vezes maiores que o recomendado. Mesmo a sala com o menor tempo de reverberação calculado ainda apresentava valor quase 2 vezes maior que o recomendado.

Apenas como simulação simplificada, tem-se valores na ordem de dois a três mil reais por sala que podem ser suficientes para torná-las bem mais confortáveis acusticamente. Muitas vezes é necessário pensar em adquirir equipamentos eletrônicos muito mais dispendiosos e negligenciar melhorias fundamentais para um ambiente de aprendizagem mais confortável e eficaz, além de garantir melhores condições de trabalho e menos riscos à saúde de professores.

Entretanto, vale ressaltar que não foi proposta uma solução para o problema do isolamento acústico das salas, que recebem muitos ruídos externos. Assim, para uma solução ótima deveria buscar-se a solução dos dois problemas em conjunto. Outro fator a considerar é o desempenho térmico das salas, que podem ser bastante alterados pela mudança de materiais de revestimento nos ambientes.

Este trabalho focou em descrever a atual situação das salas do bloco 600 do Instituto Federal de Goiás, *campus* Formosa com os recursos de tempo, pessoal e equipamentos disponíveis. Possíveis continuações desta investigação incluem: a obtenção dos níveis de pressão sonora em diferentes bandas de frequência; a medição direta dos tempos de reverberação; a medição dos parâmetros acústicos nos outros blocos de salas de aula, bem como no bloco administrativo; e o planejamento mais detalhado e aprofundado de intervenções arquitetônicas nas salas de aula, levando em conta e conforto acústico e térmico.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575-1: Edificações Habitacionais. Desempenho Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro, ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10151: Acústica: Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas para aplicação de uso geral*. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 3. ed. São Paulo, 2018.

COSTA, A. B. F. *Metodologia de aplicação da NBR ISO 3382-2 e análise dos tempos de reverberação das salas de aula do prédio 11209 do campus centro da UFRGS*. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) — Porto Alegre: Escola de Engenharia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020.

COSTA, E. C. *Acústica técnica*. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2003.

ENIZ, A. O. *Poluição sonora em escolas do Distrito Federal*. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2004.

GONÇALVES, V. S. B.; SILVA, L. B.; COUTINHO, A. S. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. *Production*, v. 19, n. 3, p. 466–476, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/3ZsxxgQVby3qXP5PsvM7dqQk/>. Acesso em: 22 maio 2025.

KNOWLES, M. S.; HOLTON III, E. F.; SWANSON, R. A. *The Adult Learner*. Burlington, MA: Elsevier, 2005.

KRÜGER, E. L.; ZANNIN, P. H. T. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. *Building and Environment*, v. 39, n. 9, p. 1055-1063, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/28381690/Acoustic_thermal_and_luminous_comfort_in_classrooms. Acesso em: 22 maio 2025.

LOSSO, M. A. F. Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação. *Acústica Arquitetura*, 2003. Disponível em: <https://acustica.arq.br/artigos/qualidade-acustica-de-edificacoes-escolares-em-santa-catarina-marco-losso/>. Acesso em: 22 maio 2025.

MARTINS, R. H. G. *et al.* Voice Disorders in Teachers. A Review. *Journal of Voice*, v. 28, n. 6, p. 716-724, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24929935/>. Acesso em: 22 maio 2025.

PEDRAZZI, T. *et al.* Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do Cefet-PR. Anais do ENCAC. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4 e 3, São Pedro, 2001. Anais [...]. São Pedro: Antac, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Zannin/publication/330657964_AVALIACAO_DO_DESEMPENHO_ACUSTICO_EM_SALAS_DE_AULA_DO_CEFET-PR/links/5c4cd9f3a6fdccd6b5cc23bd/AVALIACAO-DO-DESEMPENHO-ACUSTICO-EM-SALAS-DE-AULA-DO-CEFET-PR.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

PINHEIRO, E. N. S.; MASSON, M. L. V.; LOPES, M. M. D'SOUZA C. A voz do professor: do projeto arquitetônico à acústica da sala de aula. *Distúrbios da Comunicação*, v. 26, n. 1, p. 10-19, 2017. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/dic/article/view/29660>. Acesso em: 15 maio 2022.

SANTOS JUNIOR, A. A. DOS; GOMES, D. C.; OLIVEIRA, T. S. DE. Avaliação da qualidade acústica de salas de aula de uma escola pública na cidade de Samambaia - DF. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2019.

STANSFELD, S.; CLARK, C. Health Effects of Noise Exposure in Children. *Current Environmental Health Reports*, v. 2, n. 2, p. 171-178, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26231366/>. Acesso em: 15 maio 2022.

VAN KAMP, I.; DAVIES, H. Noise and health in vulnerable groups: A review. *Noise and Health*, v. 15, n. 64, p. 153, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23689296/>. Acesso em: 15 maio 2022.

VIBRASHOP TECNOLOGIA ACÚSTICA. Revestimento Acustico Lã de Pet 30mm - Kit. *Vibra Shop*, [2025]. Disponível em: <https://www.vibrashop.com.br/forros-revestimentos/revestimento-la-pet-30>. Acesso em: 23 nov. 2022.