

Análise do desempenho acústico de um laboratório acadêmico de conforto ambiental

Analysis of the acoustic performance of an academic environmental comfort laboratory

JÚLIO CÉSAR DA SILVA LEONEL
Discente de Arquitetura e Urbanismo (UNIPAM)
E-mail: juliocsl@unipam.edu.br

JOÃO PAULO ALVES DE FARIA
Professor orientador UNIPAM
E-mail: joaopaf@unipam.edu.br

RESUMO: O conforto acústico arquitetônico é altamente relevante devido à sua relação com a qualidade de vida das pessoas, especialmente em espaços destinados às atividades de ensino e aprendizagem, onde impacta o desempenho de alunos e professores. Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho acústico interno de um laboratório acadêmico de Conforto Ambiental de uma instituição de ensino superior. Foram identificadas as condições acústicas, realizadas medições do nível de pressão sonora interna e calculado o tempo de reverberação. Os dados obtidos foram analisados com base em parâmetros normativos. Os resultados mostraram que o tempo de reverberação estava acima do parâmetro de referência de 0,6 segundos. Quanto ao nível de pressão sonora interna, os resultados se mantiveram acima do limite máximo de 45 dB. Conclui-se que o nível de pressão sonora interno da sala e o tempo de reverberação estão fora dos parâmetros normativos.

Palavras chaves: acústica arquitetônica; desempenho acústico; conforto acústico.

ABSTRACT: Architectural acoustic comfort is highly relevant due to its relationship with people's quality of life, especially in spaces intended for teaching and learning activities, where it impacts the performance of students and teachers. This study aimed to evaluate the internal acoustic performance of an academic Environmental Comfort laboratory at a higher education institution. Acoustic conditions were identified, internal sound pressure levels were measured, and reverberation time was calculated. The data obtained were analyzed based on normative parameters. The results showed that the reverberation time was above the reference parameter of 0.6 seconds. Regarding the internal sound pressure level, the results remained above the maximum limit of 45 dB. It is concluded that the internal sound pressure level and the reverberation time of the room are outside the normative parameters.

Keywords: architectural acoustics; acoustic performance; acoustic comfort.

1 INTRODUÇÃO

O campo do conforto ambiental é interdisciplinar e abrange uma diversidade de profissionais tanto na arquitetura e urbanismo quanto nas engenharias. Na

construção civil, está relacionado principalmente com o desempenho térmico, lumínico e acústico dos espaços construídos. Os estudos relativos à importância do conforto ambiental não são recentes. Entretanto, nos últimos anos, a ampliação da preocupação com a sustentabilidade e a saúde física e mental tem colocado a acústica no foco das discussões, uma vez que, segundo Silva (2011, p. 4), “a influência do ruído na inteligência, principalmente na capacidade de atenção do indivíduo, reduz o rendimento do trabalho, tanto intelectual quanto fisicamente”. Além disso, o bom desempenho acústico dos espaços e, conseqüentemente, a boa saúde auditiva são de grande importância, pois a percepção espacial na arquitetura e no urbanismo é construída, além de outros aspectos, pela percepção e experimentação do comportamento sonoro nos ambientes. É por isso que Tuan (2012, p. 26) deixa explícito que, em uma situação de perda de audição e surdez, “o espaço se contrai”, ou seja, a percepção e a leitura do ambiente e do conteúdo nele compartilhado de forma sonora (oral e auditiva) são reduzidas e prejudicadas.

É sabido ainda que, apesar de toda a importância do desempenho acústico das edificações, em cidades do interior do país, desconsiderando as capitais e cidades de maior porte, ambientes projetados e executados para o bom desempenho acústico são raros. Isso significa que, para o público leigo e inclusive para os profissionais em formação ou já habilitados para atuar em acústica arquitetônica, a existência, o contato e a vivência com ambientes e elementos acusticamente corretos não são uma realidade. Esse distanciamento dos exemplares de acústica arquitetônica é um componente desfavorável para sua difusão e popularização, e principalmente para a ampliação da afinidade dos profissionais com a acústica como um campo de atuação.

Deste modo, o aprofundamento da formação dos profissionais no que diz respeito à complexidade dos elementos de projeto e intervenção de acústica arquitetônica amplia sua capacidade de atuação profissional no mercado de pós-graduação. Sendo assim, é necessário compreender como se dá, no campo da acústica arquitetônica, o desempenho dos espaços destinados à formação profissional, como por exemplo os Laboratórios de Conforto Ambiental, uma vez que estes possivelmente podem ser a primeira oportunidade de contato dos discentes com um ambiente acusticamente configurado. Isso significa que o Laboratório de Conforto Ambiental, proposto para análise neste projeto de pesquisa, é de suma importância na formação profissional como referência prática real e, por isso, pode ser necessária sua adequação para uma melhor qualificação de sua função.

O desenvolvimento desta pesquisa justifica-se pela importância de que os ambientes em geral, mais especificamente aqueles voltados para atividades educacionais, possuam um bom desempenho acústico, uma vez que este é um dos critérios que contribuem para a eficiência do processo de ensino e aprendizagem. Além disso, o estudo contribui para a percepção da necessidade de adequação acústica do laboratório em análise, podendo ser uma referência espacial construtiva (no caso de adequações futuras) para exemplificação e experimentação no meio acadêmico.

O trabalho teve como objetivo geral verificar o desempenho acústico do ambiente de um laboratório acadêmico de Conforto Ambiental e como objetivos específicos: identificar as condições acústicas do laboratório de Conforto Ambiental, realizar medições do nível de pressão sonora no ambiente em estudo, desenvolver o

cálculo do tempo de reverberação do ambiente em estudo e analisar os dados relativos às medições e ao cálculo do tempo de reverberação com os parâmetros normativos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 CONCEITOS BÁSICOS EM ACÚSTICA

A Acústica é uma área que trabalha com o som, desde sua fonte até sua propagação, seja em ambientes fechados ou abertos. O som é uma vibração em meio elástico (gasoso, líquido ou sólido), cuja energia progride rapidamente; sem essas propriedades, o som não pode ser propagado.

A frequência sonora é uma característica das ondas periódicas, representada pelo número de vibrações completas em um segundo, sendo expressa em Hertz (Hz). A faixa auditiva humana varia de 16 Hz a cerca de 20.000 Hz.

O comportamento da onda sonora se diferencia em campo livre, quando encontra obstáculos, ou em locais fechados. Em campo livre, "o sinal recebido pelo receptor deve-se somente ao som direto emitido pela fonte" (Brandão, 2016, p. 88). Em uma sala de aula, é comum que diversas frentes de onda sonora se propaguem em campo livre até que atinjam uma superfície. Quando uma onda sonora encontra um obstáculo (ou superfície), uma parte da energia incidente é refletida, outra é absorvida e uma terceira é transmitida.

Em locais fechados, o estudo é desenvolvido a partir da chamada Acústica de Salas. Nesses casos, há uma série de considerações que precisam ser observadas. "É comum, em uma sala, que o campo acústico possa ser formado pela soma de diversas frentes de onda se propagando em campo livre (até que a onda atinja uma superfície)" (Brandão, 2016, p. 88). A resposta sonora da sala, no entanto, depende de uma série de fatores, que vão desde suas dimensões e geometria, até o tipo de revestimento das superfícies, o mobiliário e o número de pessoas presentes no recinto.

2.2 DESEMPENHO ACÚSTICO ARQUITETÔNICO

O desempenho acústico arquitetônico das salas de aula é um fator relevante na influência do espaço físico sobre o sucesso do processo de ensino e aprendizagem, considerando os efeitos negativos na saúde humana quando não há um desempenho acústico adequado. Neste estudo, o espaço denominado Laboratório Acadêmico de Conforto Ambiental será tratado como uma Sala de Aula, dentro da tipologia de Salas para Fala, uma vez que essa é sua principal função nas atividades acadêmicas. Na literatura sobre acústica, essa é uma tipologia de sala analisada e com orientações específicas fornecidas pelos principais autores.

Segundo Brandão (2016, p. 556), "a qualidade do interior do recinto (luminosa, térmica, acústica, etc.) foi associada à performance dos alunos e à sua satisfação com o curso em questão, mostrando que a qualidade da sala tem impacto considerável na aceitação dos alunos". Além disso, Brandão (2016) enfatiza que um dos principais fatores a se considerar no desempenho acústico de uma sala de aula é a inteligibilidade da fala, uma vez que esta é a função primordial do ambiente e a fala é uma das atividades

principais no processo de ensino e aprendizagem. Para tanto, uma das ferramentas de análise do desempenho acústico é a avaliação da inteligibilidade da fala no ambiente. Em relação a isso, Brandão (2012, p. 526) explica que "é comum ter mais dificuldades de entender a palavra falada em ambientes altamente ruidosos ou altamente reverberantes. Em ambos os casos, o interlocutor tende a aumentar a voz, o que tende a aumentar os picos". Os fatores que predominantemente afetam a inteligibilidade da fala são: "(I) a relação sinal-ruído (SNR) entre o nível de pressão sonora (NPS) gerado pelo interlocutor no ambiente e o ruído de fundo presente no seu interior; e (II) a reverberação presente na sala" (Brandão, 2012, p. 525).

Para Bistafa (2011, p. 17), o som se torna ruído quando causa efeitos indesejáveis nos usuários dos espaços, como, por exemplo, a "perda da audição e aumento da pressão arterial (efeitos fisiológicos), incômodos (efeitos psicológicos), como perturbação do sono, estresse, tensão, queda do desempenho; interferência com a comunicação oral, que por sua vez provoca irritação", entre outros fatores que despertam de modo inconsciente a apatia, a irritabilidade e a raiva (Murgel, 2007). Isso demonstra a relevância do estudo e da aplicação dos projetos de acústica no cotidiano, inclusive em ambientes de aprendizagem. O desempenho acústico das salas deve proporcionar aos alunos um ambiente adequado para o desenvolvimento de suas atividades. Contudo, é notória a falta de adequação desses ambientes.

As questões relativas ao desempenho acústico ambiental e arquitetônico estão relacionadas à forma como as manifestações sonoras ocorrem nos espaços construídos, internos ou externos, e sua relação com a contribuição ou interferência nas atividades humanas. Em ambientes internos, como salas de aula e laboratórios acadêmicos, os principais critérios a serem observados são a materialidade do espaço no que diz respeito à capacidade de refletir ou absorver as ondas sonoras, o comportamento do som gerado no espaço interno, e como o som gerado nos ambientes externos interfere nesse espaço. Esses critérios são caracterizados no campo da acústica arquitetônica como Condicionamento, Isolamento e Isolação.

Além da relevante bibliografia existente no campo, há parâmetros e critérios relacionados ao tratamento acústico de recintos fechados estabelecidos pelas normas ABNT NBR 12179, nas quais se podem encontrar procedimentos para medições acústicas dos ambientes em análise.

No que diz respeito ao Condicionamento Acústico, é necessário o desenvolvimento do cálculo do Tempo de Reverberação (TR) do ambiente. Segundo Costa (2003, p. 57) e tendo como referência Sabine¹, TR é o tempo "necessário para que a intensidade energética do som residual atinja um milionésimo de seu valor de regime inicial". Em outras palavras, toma-se como referência o TR60, que é o tempo (em segundos) que um som leva para reduzir em 60 decibéis² em sua potência sonora após a interrupção da emissão pela fonte. Cada ambiente possui uma referência de tempo (em segundos) para a permanência do som, resultado do processo de absorção e/ou reflexão nas superfícies. Na prática, há ambientes em que é ideal que o som permaneça refletindo

¹ Sabine foi um matemático pioneiro no ramo da acústica.

² Unidade utilizada para medir a intensidade de um som.

por mais tempo e outros em que é ideal que o som permaneça refletindo por menos tempo, dependendo das suas características e necessidades.

Ainda segundo Costa (2003), o cálculo do TR do ambiente é realizado a partir da fórmula de Sabine, que é determinado pela volumetria (em metros cúbicos), as áreas de sua materialidade (em metros quadrados) relacionadas aos respectivos coeficientes de absorção (em porcentagem), a ocupação humana e o tipo de uso destinado ao ambiente.

O estudo geométrico acústico é de extrema importância para o desenvolvimento de um condicionamento acústico eficaz. Diversos tipos de ambientes, como auditórios, teatros e cinemas, devem ter suas plantas e cortes examinados, considerando a materialidade empregada e a localização das fontes sonoras. Tal estudo visa compreender a distribuição dos sons diretos e refletidos, proporcionando melhores condições de audibilidade.

No cálculo do tempo de reverberação em ambientes fechados, são utilizadas duas fórmulas principais: a fórmula de Sabine e a fórmula de Eyring, que diferem em suas abordagens e aplicações. De acordo com Brandão (2016), na fórmula de Sabine, o tempo de reverberação é determinado pela relação entre o volume da sala, a área de superfície dos elementos construtivos, o coeficiente médio de absorção sonora dessas superfícies e a constante de absorção do ar. Esta constante é considerada porque o ar, como meio de propagação das ondas sonoras, possui densidade específica que interfere na amortização e consumo de energia da onda durante a propagação. A fórmula é a seguinte: $T = 0,161 \times V / A \times \alpha$. Onde T é o tempo de reverberação em segundos; V é o volume da sala em metros cúbicos; A é a área total de superfície das paredes em metros quadrados; α é o coeficiente médio de absorção sonora das superfícies.

Já na fórmula de Eyring, a abordagem considera a reflexão do som nas superfícies do ambiente e sua difusão no espaço, levando em conta a forma e a disposição das superfícies: $T = 0,161 \times V / A \times (1 - R)$. Onde: T é o tempo de reverberação em segundos; V é o volume da sala em metros cúbicos; A é a área total de superfície das paredes em metros quadrados; R é o coeficiente de reflexão sonora médio das superfícies.

Segundo Brandão (2008), "a fórmula de Sabine é utilizada em casos simples e regulares, onde a geometria da sala é bem definida e as superfícies são homogêneas e isotrópicas. Já a fórmula de Eyring é mais adequada para ambientes com superfícies irregulares, descontínuas ou com características específicas de reflexão e difusão sonora". De acordo com Silva (2011), Eyring apresentou uma fórmula mais elaborada para corrigir os erros associados a superfícies altamente absorventes.

No que diz respeito ao Isolamento, a necessidade de isolamento acústico de um ambiente está relacionada com a interferência dos ruídos aéreos produzidos em ambientes externos ao ambiente em análise, que podem ser transmitidos pela matéria (sólida, líquida ou gasosa), como por exemplo, vedações e frestas. Aplicando ao foco deste estudo, trata-se principalmente das possíveis transmissões de sons indesejados (ou ruídos) provenientes de salas de aula ou ambientes adjacentes, o que pode ser controlado dependendo do tipo de ruído (principalmente pela sua frequência) e da materialidade das vedações do ambiente. Cada material possui um índice de atenuação específico para cada frequência sonora (Souza; Almeida; Bragança, 2006).

Ainda dentro do processo de Isolamento, a terminologia Isolação refere-se ao impedimento da invasão de ruídos de impacto, causados por choques mecânicos nos elementos construtivos da edificação e produzidos em outros ambientes, sejam transmitidos para o ambiente em análise. Na pesquisa, isto se refere aos possíveis ruídos provenientes de impactos nos elementos de vedação (principalmente alvenaria) e nos elementos estruturais (principalmente laje de cobertura ou laje de piso), como por exemplo, objetos caindo ou carteiras arrastando. Isto ocorre principalmente pelos ruídos produzidos entre elementos rígidos que se comportam como irradiadores de energia sonora (Bistafa, 2011) e pela inexistência de elementos flexíveis que promovam o amortecimento da passagem de som de um ambiente para outro.

O sistema Massa-Mola-Massa é um tipo de sistema acústico composto por multicamadas que resulta na descontinuidade de meios físicos. Este sistema proporciona resultados superiores a sistemas pesados com um único tipo de material. A presença de ar no interior já promove certa diminuição na transmissão de ruídos, mas a inclusão de materiais acústicos pode melhorar significativamente o desempenho, devido à resiliência/elasticidade da camada intermediária.

Deste modo, percebe-se que de acordo com as referências da área, há diversas possibilidades de interferência sonora em um ambiente de estudos e para a compreensão do seu desempenho acústico é indispensável que os levantamentos e medições sejam feitos para evidenciar as características do mesmo e entende-se que isto será importante para o progresso nas definições futuras de necessidade ou não de ajustes físico-espaciais do mesmo.

2.3 ACÚSTICA E MATERIALIDADE

Quando o som atinge um material que possui capacidade de absorção sonora, parte da energia sonora é convertida em energia térmica ou mecânica dentro do material. Essa conversão resulta em uma redução da intensidade do som refletido de volta ao ambiente. Materiais porosos, como espumas acústicas, fibras minerais e tecidos especiais, são comumente utilizados para aumentar a absorção sonora em ambientes, reduzindo a reverberação e o ruído indesejado.

Por outro lado, alguns materiais possuem a capacidade de refletir o som incidente, devolvendo-o ao ambiente. Materiais duros e lisos, como vidro, metal e concreto, tendem a ter uma alta capacidade de reflexão sonora. A reflexão pode ser útil em determinados contextos, como salas de concertos ou auditórios, onde a reflexão adequada do som é necessária para melhorar a qualidade sonora e a projeção da música.

O condicionamento acústico busca controlar a qualidade sonora de um ambiente, garantindo uma boa inteligibilidade da fala, minimizando a reverberação indesejada e melhorando o conforto acústico. Os materiais utilizados no condicionamento acústico são selecionados com base em suas propriedades de absorção sonora. Materiais porosos, como painéis acústicos, espumas, lã de rocha e tecidos especiais, são empregados para reduzir a reverberação e absorver o som indesejado, criando um ambiente acusticamente mais equilibrado.

Tabela 1 — Coeficiente de absorção de materiais

Material	Frequência		
	128 Hz	512 Hz	2048 Hz
Granilite	0,120	0,150	0,00
Reboco liso (massa fina)	0,020	0,020	0,030
Taco colado	0,040	0,060	0,100
Vidro simples	0,030	0,027	0,025
Portas de madeira (fechadas)	0,140	0,060	0,100
Quadro negro liso	0,030	0,030	0,030
Gesso acartonado	0,290	0,050	0,070
Uma pessoa com cadeira	0,330	0,440	0,460
Cadeira de assento dobradiço (madeira vazia)	0,050	0,050	0,080

Fonte: Silva, 2011 e NBR 12179.

De acordo com Bistafa (2011), a definição da qualidade da absorção de um material está vinculada ao seu coeficiente de absorção (α), que costuma ser classificado da seguinte maneira:

- Abaixo de 0,05: Não absorvente
- Entre 0,05 a 0,65: Baixa absorção
- Entre 0,65 e 0,75: Boa absorção
- Acima de 0,75: Excelente absorção

O isolamento sonoro visa reduzir a transmissão do som entre diferentes espaços pelo meio aéreo, sendo de extrema importância em ambientes onde o ruído externo, como tráfego, máquinas ou vizinhos, pode interferir no conforto acústico interno. Os materiais utilizados para isolamento sonoro devem possuir propriedades de bloqueio e absorção sonora. Exemplos incluem janelas com vidros duplos ou laminados, paredes com isolamento acústico, portas sólidas e selos acústicos para evitar vazamentos sonoros.

A isolação visa reduzir os ruídos de impactos, e os materiais desempenham um papel fundamental nesse processo. Materiais com propriedades de amortecimento e isolamento, como carpetes, tapetes, pisos flutuantes ou sistemas de piso com camadas resilientes, são comumente utilizados para reduzir a transmissão do som entre andares de um edifício.

Nem sempre é viável utilizar a estratégia de aumento da massa como mecanismo de isolamento acústico, pois isso pode demandar um superdimensionamento da barreira, resultando em pouco benefício prático. Tal abordagem pode inviabilizar a obra sob diversos aspectos, como financeiro, funcional e estrutural. A cada vez que se dobra a frequência ou se dobra a massa, o índice de atenuação aumenta em aproximadamente 4 dB.

Embora esses conceitos estejam estabelecidos, existem espaços para interpretações individuais e soluções de projeto, com lacunas ainda não preenchidas. Cabe ao profissional da área tomar decisões projetuais para alcançar as melhores soluções possíveis.

3 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como descritiva exploratória de caráter qualitativo, realizada em um laboratório acadêmico de conforto ambiental de um centro universitário no interior do estado de Minas Gerais. A pesquisa descritiva envolveu observar, registrar, analisar, classificar e interpretar os dados coletados para estudo, sem nenhum tipo de interferência do pesquisador (Gil, 2008). Neste caso, os dados foram agrupados conforme o instrumento de coleta de dados desenvolvido pelos autores.

O estudo exploratório visou proporcionar uma visão geral de um determinado fato, sendo de natureza aproximativa. A pesquisa exploratória é conduzida sobre um problema ou questão de pesquisa que geralmente apresenta pouco ou nenhum estudo anterior (Gil, 2008). A análise aplicada foi do tipo de conteúdo, fundamentada nas etapas de pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados obtidos, seguida de interpretação, conforme descrito por Bardin (2009).

A revisão de conteúdo consistiu em estudos de documentos, revisão bibliográfica e webliográfica a partir de fontes de pesquisa primárias, secundárias e terciárias. Será utilizado o método conceitual-analítico de materiais teóricos, incluindo livros, artigos, manuais e normas específicas das áreas de Acústica Ambiental e Arquitetônica.

Os levantamentos e medições dimensionais para representar graficamente a complexidade do objeto de estudo, foi realizada uma pesquisa de campo. Esta incluiu levantamento de dimensões e características construtivas do laboratório, utilizando trenas manuais e digitais. Técnicas de desenho técnico projetivo foram empregadas para digitalização bidimensional e tridimensional do levantamento, utilizando os softwares AutoCAD e SketchUp, disponíveis nas salas informatizadas da instituição educacional. Os dados relativos ao volume útil geral da edificação (em metros cúbicos) e áreas específicas de cada elemento discriminado pela sua materialidade (em metros quadrados) foram organizados em uma planilha do software Excel, que serviu de suporte aos cálculos acústicos posteriores.

As Medições Acústicas para análise do nível de isolamento e isolação da sala, foram realizadas medições de níveis de pressão sonora utilizando um sonômetro (decibelímetro) disponível no acervo do próprio laboratório em estudo. As medições seguiram o manual de uso do fabricante e os parâmetros e orientações da norma ABNT NBR ISO 16283-1 (2018): Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos das edificações, disponível no Portal Acadêmico da instituição na área Target GEDWeb. Os dados relativos aos pontos de medição do nível de pressão sonora foram demonstrados em desenho projetivo (em planta baixa) com nomenclatura individual. Posteriormente, esses dados foram organizados em uma planilha do software Excel, servindo de suporte aos cálculos acústicos subsequentes.

Os Cálculos Acústicos para a análise do comportamento relacionado ao Tempo de Reverberação da sala, foi desenvolvida uma planilha de cálculo de Tempo de Reverberação utilizando o software Excel, seguindo os parâmetros e orientações da norma da NBR 12179 - Tratamento Acústico em Recintos Fechados – Procedimento (1992), com acesso disponível no Portal Acadêmico da instituição na área Target GEDWeb.

Os resultados obtidos das medições de nível de pressão sonora e do Tempo de Reverberação serão comparados com os critérios e parâmetros normativos e bibliográficos para a elaboração tanto dos resultados parciais quanto dos resultados finais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Laboratório de Conforto Ambiental está localizado no quarto piso de um dos blocos que abrigam salas, laboratórios e outros ambientes educacionais da instituição de ensino. A área total do laboratório é de 73,10 m² e seu volume é de aproximadamente 257,25 m³. Nas proximidades, existem duas vias com tráfego de nível médio a alto, além de um estacionamento de motocicletas na via de acesso ao bloco. No andar superior, encontra-se a laje de cobertura do bloco, onde está instalada uma usina acadêmica fotovoltaica de acesso restrito. Abaixo do laboratório, há uma sala de aula. O laboratório está situado na parte final do bloco da edificação; portanto, sua lateral esquerda (considerando a parede da porta e do quadro como referência frontal) não faz divisa com outra sala. Na lateral direita, encontra-se um laboratório de luminotécnica, utilizado esporadicamente. Na parte frontal, o laboratório faz divisa com o corredor de circulação do bloco, sendo esta a porção final do corredor, sem continuidade de fluxo. Na parte posterior, há quatro janelas que se abrem diretamente para um vazio, em frente a outro bloco de salas e laboratórios.

A configuração espacial interna do laboratório, no que diz respeito à materialidade, inclui uma laje de piso em granilite e paredes de alvenaria cerâmica com reboco desempenado e acabamento em tinta acrílica branca. A laje é composta por vigas pré-fabricadas com enchimento de blocos cerâmicos, revestida com reboco desempenado e pintura em tinta acrílica branca. As janelas são feitas principalmente de vidro temperado, sem caixilhos metálicos significativos. As bancadas possuem estrutura de metalon pintado com tinta esmalte branca e tampo de granito polido tipo cinza andorinha. O quadro é de MDF com acabamento laminado branco liso e brilhante. Os armários fixos sob as bancadas são de MDF fosco branco. As portas são de madeira envernizada com acabamento brilhante e detalhe em vidro simples. Os armários móveis são de aço pintado. As banquetas são de madeira pintada. As cadeiras de computador têm acabamento externo em plástico, com assento e encosto em espuma e tecido. O equipamento Mesa D'água é composto de metalon pintado e vidro temperado, e o equipamento heliodon é composto de metalon pintado.

A Tabela de Tempo de Reverberação (Tabela 2) foi elaborada com base em referências literárias e normativas, incluindo a NBR 12179 de 1992. Os dados foram obtidos por meio de medições e considerações sobre a materialidade do ambiente. Para a análise do ambiente, foi adotado o Tempo de Reverberação ótimo para Salas de Conferência, que varia de 0,6 a 512Hz. Observa-se que o resultado obtido para a frequência de 512 Hz, após a correção do Tempo de Reverberação, foi de 1,04 segundos, o que representa um aumento de 0,44 segundos em relação ao valor adequado. Portanto, o resultado encontra-se fora dos parâmetros de referência estabelecidos pela NBR 12179 (1992). Essa discrepância é principalmente atribuída à predominância de materiais internos com características reflexivas e baixa capacidade de absorção de ondas sonoras.

ANÁLISE DO DESEMPENHO ACÚSTICO DE UM LABORATÓRIO ACADÊMICO DE
CONFORTO AMBIENTAL

Tabela 2 — Tempo de Reverberação

Planilha de Tempo de Reverberação Lab. Conforto Ambiental									
Ítem	Superfície		Coeficiente de Absorção (α)			Absorção Sabine (m ²)			
	Descrição e Especificação	Área(m ²)	128 Hz	512 Hz	2048	128 Hz	512 Hz	2048	
1	Piso Granilite	73,10	0,120	0,150	0,000	8,772	10,965	0,000	
2	Janelas vidro temperado	11,88	0,030	0,027	0,025	0,356	0,321	0,297	
3	Paredes e Laje Reboco c/tinta acrílica	163,17	0,010	0,020	0,020	1,632	3,263	3,263	
4	Portas de madeiras	4,41	0,140	0,060	0,100	0,617	0,265	0,441	
5	Mesas de Mármore	15,93	0,010	0,010	0,015	0,159	0,159	0,239	
6	Bancos de madeira	12,48	0,570	0,750	0,910	7,114	9,360	11,357	
7	Armário e Prateleira Metalicos	7,36	0,180	0,100	0,080	1,325	0,736	0,589	
8	Quadro liso	4,88	0,030	0,030	0,030	0,146	0,146	0,146	
9	Armários de madeira compens.	5,25	0,280	0,170	0,100	1,470	0,893	0,525	
10	Mesa D'agua vidro temp.	6,02	0,030	0,027	0,025	0,181	0,163	0,151	
11	Pessoas	13	0,180	0,280	0,320	2,340	3,640	4,160	
12	Cortina Grossa	20	0,250	0,400	0,600	5,000	8,000	12,000	
						0,000	0,000	0,000	
						Somatório - 128 Hz	29,11		
						Somatório - 512 Hz		37,91	
						Somatório - 2048 Hz		33,17	
						Tempo de reverberação - 128 Hz	1,36		
						Tempo de reverberação - 512 Hz		1,04	
						Tempo de reverberação - 2048 Hz		1,19	
						Coeficiente α , médios	0,15	0,17	0,19

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Tabela 3 — Fator de correção do TR aconselhável para linguagem

Frequência	128 Hz	512 Hz	2048 Hz
Fator	1,3	1	1,1
Resultado	2,66	1,04235	1,31053

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

As medições foram conduzidas utilizando um decibelímetro sonômetro digital da marca Instrutherm, modelo DEC-500, com o número de série N748278 e calibração datada de 27 de abril de 2023, coincidindo com o ano de realização dos estudos. O procedimento adotado seguiu as diretrizes das normas NBR 10152, NBR 10151 e NBR ISO 16283-1. As medições foram realizadas da seguinte maneira: cada ponto de medição foi distanciado 1 metro de qualquer elemento relevante, com um tempo de medição de 60 segundos em cada ponto, realizado manualmente. Foram demarcados 9 pontos na sala, com cada ponto recebendo de 2 a 3 leituras, com um intervalo de 10 minutos entre cada leitura. As condições variadas para as leituras foram consideradas conforme detalhado a seguir.

Resultado das Leituras Nível de Pressão sonora com decibelímetro digital nos pontos determinados na sala conforme condições específicas de uso:

- Ambiente fechado sem uso de ar-condicionado e sem aula na sala de aula adjacente: Posição 1: média 47,8 dB. Posição 2: média 47,5 dB. Posição 3: média 47,0 dB. Posição 4: média 46,9 dB. Posição 5: média 45,9 dB. Posição 6: média 45,2 dB. Posição 7: média 44,8 dB. Posição 8: média 44,7 dB. Posição 9: média 46,3 dB. **Média geral: 46,3 dB.**

- Ambiente fechado com uso de ar-condicionado e sem aula na sala de aula adjacente: Posição 1: média 56,5 dB. Posição 2: média 56,7 dB. Posição 3: média 56,6 dB. Posição 4: média 56,7 dB. Posição 5: média 57,4 dB. Posição 6: média 57,6 dB. Posição 7: média 57,7 dB. Posição 8: média 58 dB. Posição 9: média 58,1 dB. **Média geral: 57,6 dB.**
- Ambiente fechado sem uso de ar-condicionado e com aula na sala de aula adjacentes: Posição 1: média 47,0dB. Posição 2: média 46,5dB. Posição 3: média 46,0dB. Posição 4: média 45,8dB. Posição 5: média 45,3dB. Posição 6: média 46,1dB. Posição 7: média 45,4dB. Posição 8: média 46,4dB. Posição 9: média 45,2dB. **Média geral: 46dB.**
- Ambiente fechado com uso de ar-condicionado e com aula na sala de aula adjacente: Posição 1: média 56,7dB. Posição 2: média 56,7dB. Posição 3: média 56,6dB. Posição 4: média 56,8dB. Posição 5: média 57,1dB. Posição 6: média 57,3dB. Posição 7: média 58,0dB. Posição 8: média 58,1dB. Posição 9: média 58,3dB. **Média geral: 57,1dB.**
- Ambiente aberto sem uso de ar-condicionado e sem aula na sala de aula adjacente: Posição 1: média 54,6dB. Posição 2: média 54,8dB. Posição 3: média 52,8dB. Posição 4: média 53,9dB. Posição 5: média 51,7dB. Posição 6: média 51,8dB. Posição 7: média 54,5dB. Posição 8: média 52,1dB. Posição 9: média 52,2dB. **Média geral: 52,8dB.**

Os resultados das medições revelam que, independentemente das condições de uso da sala, os níveis de pressão sonora encontram-se acima do limite normativo de 45 dB estabelecido pela norma NBR 10152 (2020), considerando até mesmo uma tolerância de 5 dB acima desse limite. Notavelmente, mesmo quando os aparelhos de ar-condicionado não estão em funcionamento e a porta principal e janelas estão abertas, o nível de pressão sonora interno permanece próximo ao limite. Além disso, mesmo com a conexão entre o ambiente em estudo e a sala de aula adjacente, os valores de medição permanecem próximos do limite de 45 dB.

Outro ponto a ser destacado é a diferença de aproximadamente 6 dB nos valores de medição entre o ambiente totalmente aberto e o ambiente totalmente fechado, sem o uso do ar-condicionado. Essa diferença pode ser atribuída, principalmente, à localização do ambiente no 4º andar da edificação, com um estacionamento de motocicletas e uma saída para a rua próxima lateralmente ao ambiente, resultando em fluxo de veículos durante determinados períodos do dia letivo. Além disso, o corredor de acesso à sala recebe temporariamente um fluxo de estudantes e professores, que são fontes adicionais de ruído. Quanto à porta que conecta os dois laboratórios, ela permanece fechada durante as atividades acadêmicas.

5 CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento da pesquisa, é possível concluir que o nível de pressão sonora interno da sala e a potencial interferência de ruídos externos estão além dos parâmetros estabelecidos pelas normas. Da mesma forma, em relação ao tempo de reverberação, observa-se que a sala apresenta um desempenho que excede os limites estabelecidos pelas normativas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro. 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16283-1**: Medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos das edificações. Rio de Janeiro. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16283-2**: Acústica - Medição de Campo do Isolamento Acústico nas Edificações e Nos Elementos de Edificações - Parte 2: Isolamento a Ruído de Impacto. Rio de Janeiro. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 3382-2**: Acústica - Medição de Parâmetros de Acústica de Salas - Parte 2: Tempo de Reverberação em Salas Comuns. Rio de Janeiro. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 717-1**: Acústica — Classificação de Isolamento Acústico em Edificações e Elementos de Edificações - Parte 1: Isolamento a Ruído Aéreo. Rio de Janeiro. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151**: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10152**: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro. 2017.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 4. ed. Lisboa: Edições 70, 2009. 281 p.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2011. 380 p.

BRANDÃO, E. **Acústica de salas: projeto e modelagem**. São Paulo: Blucher, 2016. 654 p.

COSTA, E. C. da. **Acústica técnica**. São Paulo: Blucher, 2003. 127 p.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas. 2008

MURGEL, E. **Fundamentos de acústica ambiental**. São Paulo: SENAC São Paulo, 2007. 131 p.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 6. ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2011. 347 p.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos, SP: EDUFSCAR, 2006. 149 p.

TUAN, Y. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes e valores no meio ambiente**. Londrina: Eduel, 2012. 342 p.