OFICINA DE SENSIBILIZAÇÃO DE FENÔMENOS ACÚSTICOS COMO FERRAMENTA DE METODOLOGIA ATIVA DE ENSINO: EXPLORANDO A PERCEPÇÃO DE ESTUDANTES DE ARQUITETURA E URBANISMO

Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski (1); Alessandra Rodrigues Prata Shimomura (2); Michele Marta Rossi (3); Roberta Consentino Kronka Mülfarth (4) Marília Bezerra Amorim (5); Michael Edison Klein (6)
(1) Professora Doutora, rannym@usp.br
(2) Professora Doutora, arprata@usp.br
(3) Professora Doutora, michele.rossi@usp.br
(4) Professora Titular, rkronka@usp.br
(5) Mestranda, mariliaamorim@usp.br
(6) Mestrando, michael.klein@usp.br
Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Tecnologia, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, Rua do Lago, 876, Butantã, São Paulo - SP, 05508-080, (11) 30914538, ramal 213

RESUMO
O presente artigo descreve a oficina denominada "Acústica – Sensibilização de fenômenos acústicos", concebida como um primeiro contato dos alunos ingressantes na graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAUUSP - com o intuito de apresentar os conceitos básicos relacionados à propagação sonora e acústica arquitetônica. Com uma proposta didática integrando metodologias de aprendizagem ativa com o uso de ferramentas como modelos tridimensionais, o objetivo da oficina foi possibilitar ao estudante a capacidade de compreender os principais fenômenos acústicos que impactam nos projetos arquitetônicos. São apresentadas as atividades realizadas, bem como os resultados alcançados, avaliados positivamente por meio de questionários aplicados aos alunos participantes.

Palavras-chave: conforto ambiental, acústica de salas, fenômenos acústicos.

ABSTRACT
The article describes the workshop called "Acoustics – Sensitization of acoustic phenomena", conceived as a first contact for beginning students in the graduation in Architecture and Urbanism at the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo - FAUUSP - with the aim of presenting the basic concepts related to sound propagation and architectural acoustics. With a didactic proposal integrating active learning methodologies with the use of tools such as three-dimensional models, the objective of the workshop was to enable the student to understand the main acoustic phenomena that impact architectural projects. The activities carried out are presented, as well as the results achieved, positively evaluated through questionnaires applied to participating students.

Keywords: environmental comfort, room acoustics, acoustic phenomena.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de conforto é peça fundamental nos cursos de arquitetura e urbanismo. Ergonomia, térmica, iluminação e acústica são as principais áreas relacionadas ao conforto no ambiente construído. Entretanto, a difícil compreensão dos fenômenos envolvidos e a consequente proposição de soluções deixam uma lacuna entre o conhecimento científico e a aprendizagem e prática de projeto que precisa ser cada vez mais reduzida (CHVATAL et al., 2022). Diante deste fato, diferentes abordagens didáticas podem ser utilizadas para facilitar a compreensão dos fenômenos relacionados. E uma proposta didática inovadora integra metodologias de aprendizagem ativa com o uso de ferramentas como modelos tridimensionais.

Abordagens que promovem aprendizagem ativa consistem naquelas em que os alunos são estimulados a observar, perguntar, analisar, discutir, fazer, ensinar e resolver problemas; e nas quais o professor atua como facilitador do processo de aprendizagem e não como a única fonte de conhecimento. Independentemente do assunto em questão, o uso de metodologias ativas de aprendizagem é uma estratégia de ensino muito eficaz, principalmente se comparada com os métodos de ensino tradicionais, como aula expositiva (BARBOSA e MOURA, 2014). Ou seja, na aprendizagem ativa, os alunos se tornam sujeitos ativos de sua própria aprendizagem, em vez de receber passivamente o conhecimento (BONWELL e EISON, 1991).

No caso dos fenômenos acústicos, estes costumam ser ainda mais complexos e difíceis de serem entendidos. Para facilitar sua compreensão, algumas abordagens didáticas com modelos em escala física podem ser utilizadas; desde a visualização da propagação de ondas sonoras em modelos bidimensionais preenchidos com água (*ripple tanks* ou tanques de onda), a visualização de raios sonoros em modelos ópticos simples, até um estudo completo de fenômenos em modelos tridimensionais em escala (RINDEL, 2002).

Apesar dos avanços na modelagem computacional em acústica, os modelos físicos tridimensionais continuam úteis, pois constituem uma ferramenta poderosa nos processos de aprendizagem em arquitetura e urbanismo, além de permitirem uma reprodução física completa de alguns fenômenos não totalmente conhecidos e complexos de serem modelados numericamente (como, por exemplo, difusão, espalhamento e absorção sonora) (JEON et al., 2009; LEE et al., 2022; LISOT, 2013; NASCIMENTO, 2005; PAN et al., 2020). Por meio de maquetes e mudanças em suas configurações e materiais, é possível reproduzir rapidamente diferentes efeitos de propagação sonora dentro delas. Cobrir superfícies específicas do modelo com materiais de absorção sonora ajuda na identificação de vários defeitos, que incluem reflexões significativamente atrasadas, concentrações de som refletido, entre outros. Mudanças na forma do modelo ou a adição de uma nova superfície reflexiva promovem verificações rápidas do efeito alcançado.

No entanto, é importante ressaltar que o modelo reduzido não necessariamente é somente uma reprodução daquilo que é visível. Apesar de ser uma abordagem empírica, o uso de modelos reduzidos possui um conteúdo teórico bastante desenvolvido. Um modelo reduzido acústico, aliás, como qualquer modelo reduzido, é obtido simplesmente pela divisão das dimensões lineares da estrutura real por um fator de escala n, ou seja, é uma réplica geométrica da sala original. Mas, como também deve ser uma réplica acústica, os fenômenos de difusão, difração e absorção sonora das paredes devem ser modelados.

A principal dificuldade no uso de modelos reduzidos é a escolha dos materiais das superfícies da sala em escala. Estes materiais devem seguir as condições de similaridade, isto é, os coeficientes de absorção sonora dos materiais do modelo devem ser os mesmos dos materiais usados nas salas originais, mas em frequências n vezes superiores às frequências na sala real, onde n é o fator de escala do modelo. Limitações em termos das frequências que devem ser contempladas em escala, a interação do som com o ar e a absorção sonora do ar também devem ser consideradas ao se utilizar modelos físicos em escala reduzida. Outra dificuldade do uso de modelos reduzidos é a instrumentação, que também deve se adequar à escala.

Apesar de muitos estudos abordarem o uso de modelos reduzidos em acústica, poucos abordam propostas didáticas na área de acústica (BERARDI, 2017; GÜL e ÇALIŞKAN, 2022; KITAPCI, 2019; MILO, 2020) e menos ainda mesclam propostas didáticas na área com metodologias ativas (NEILSEN e GEE, 2012, grifo nosso). De forma complementar, é importante ressaltar que na realidade brasileira dos cursos de arquitetura e urbanismo, muitos professores que são especializados em outras áreas do conforto ambiental são, algumas vezes, designados para disciplinas de acústica. Diante destas lacunas, o presente artigo pode colaborar com o desenvolvimento de didáticas em disciplinas de acústica nos cursos de arquitetura e urbanismo, ao apresentar uma proposta de oficina que permite aos alunos compreender de forma mais eficaz os fundamentos teóricos da acústica por meio da aprendizagem ativa em conjunto com a experimentação em modelo reduzido.

2. OBJETIVO

O principal objetivo do artigo é descrever a oficina de acústica oferecida aos alunos ingressantes na graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo –

FAUUSP, com o intuito de apresentar conceitos básicos de acústica que impactam em todos os projetos arquitetônicos.

3. MÉTODO

Esta seção detalha o procedimento didático da oficina e as ferramentas utilizadas para sua aplicação. As atividades da oficina foram divididas em cinco etapas, cada uma com duração aproximada de 30 minutos, sendo: explicação, sensibilização, proposição, execução e apresentação.

Foi também produzido previamente material didático entregue a todos durante a oficina. A Figura 1 ilustra o caderno confeccionado, em que a estrutura básica contempla os seguintes itens: pequena introdução e boas-vindas; programação da oficina; importância da acústica na arquitetura; principais fenômenos acústicos; ferramentas de apoio ao processo de projeto acústico; resposta impulsiva; proposta da oficina e exemplos de obras; referências bibliográficas e agradecimentos.

A primeira etapa foi realizada em uma sala de aula localizada na Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas da FAUUSP (STMEEC, antigo LAME), Edifício Anexo ao da FAU USP, e consistiu em uma breve parte teórica, apenas para contextualizar os alunos no tema da oficina. Alunos, professores e monitores se apresentaram e logo depois os alunos foram questionados sobre "o que é acústica" e "qual é a importância da acústica da arquitetura". As respostas serviram de base para a introdução de alguns conceitos básicos de propagação sonora e principais fenômenos acústicos que impactam nos projetos arquitetônicos.



Figura 1 - Caderno produzido para a oficina.


Figura 2 - Primeira etapa da oficina realizada no Edifício Anexo da FAU USP.

Ainda na primeira etapa, dois experimentos foram realizados. O primeiro consistiu no já bastante consagrado uso da caixinha de música de corda tocando em três situações diferentes: suspensa no ar, sendo segura somente pela mão; apoiada em uma estrutura rígida, como mesa ou parede, e apoiada sobre amortecedores de vibração (de poliuretano elastomérico) em cima da mesma estrutura rígida. Em seguida, um experimento similar foi realizado com um alto falante tocando música, uma caixa cúbica de MDF, uma base amortecedora de vibração e pequenas amostras de material de absorção sonora. A caixa cúbica era composta por duas peças: a base e as outras cinco superfícies juntas Seis situações foram testadas com o alto falante tocando música em todas: alto falante em cima da base de MDF (com a caixa cúbica aberta e fechada), alto falante em cima da base amortecedora de vibração e essa em cima da base de MDF (com a caixa cúbica aberta e fechada), a mesma anterior com a caixa cúbica fechada e com material de absorção sonora internamente à caixa (com duas quantidades de material).

Os experimentos acima descritos, ilustrados nas Figura 3 e 4, são importantes para a compreensão de diversos conceitos, como absorção sonora, transmissão sonora e isolamento sonoro.

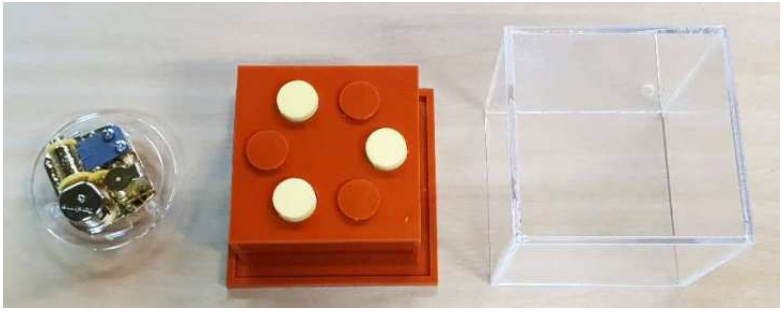

Figura 3 - Caixinha de música, base e tampa utilizadas na primeira etapa da oficina.



Figura 4 - Experimentos realizados na primeira etapa da oficina, com alto falante e caixa de MDF.

Em seguida, para apresentar o conceito de reverberação e de tempo de reverberação, palmas, estouros de balões e ruído branco foram utilizados como sinais de excitação sonora no ambiente. Aos alunos foi questionado o que eles estavam ouvindo e por quanto tempo eles ainda ouviam o som no ambiente após o final do sinal de excitação. A atividade consistiu nos alunos tentarem descobrir qual era o tempo de reverberação médio da sala de aula.

A segunda etapa consistiu em experimentos de percepção. Os alunos foram convidados a visitar outros três ambientes existentes na Faculdade que possuem diferentes comportamentos acústicos. A ideia desta etapa é fazer os alunos sentirem os diferentes ambientes, para isso foram selecionados locais com diferentes volumes, materiais e, consequentemente, tempos de reverberação. Sendo assim, os comportamentos acústicos de um total de quatro ambientes foram observados: a sala de aula 813, localizada no Edifício Anexo e onde a primeira etapa foi realizada (Figura 2); a sala de aula 801 (Figura 5), o estúdio de gravação da faculdade e o Auditório Ariosto Mila (Figura 6), sendo os três últimos localizados no Edifício Vilanova Artigas.



Figura 5 - Sala de aula 801 localizada no Edifício Vilanova Artigas.



Figura 6 - Estúdio e Auditório Ariosto Mila, ambos localizados no Edifício Vilanova Artigas.

Nos três ambientes, foram batidas palmas e estourados balões para que os alunos ouvissem e sentissem as diferenças no comportamento sonoro. Foram também observados os volumes e materiais de cada ambiente. Conforme observavam, os alunos comentavam suas observações, numa atividade dinâmica e divertida.

A terceira, quarta e quinta etapas foram realizadas no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), vinculado ao Departamento de Tecnologia da Arquitetura da FAU USP, que abriga a maquete da sala de aula 801 juntamente com o conjunto de medição para os ensaios a serem realizados, Figura 7.

Na terceira etapa, o modelo reduzido, a descrição detalhada do experimento e a proposição do exercício a ser realizado foram apresentados.



Figura 7 - Alunos reunidos no LABAUT.

Na quarta etapa, foi realizado o exercício proposto no modelo reduzido, no qual os alunos realizaram testes na maquete da sala de aula. A possibilidade de os alunos mudarem aspectos que influenciam no comportamento sonoro no interior da maquete e observarem as mudanças obtidas, faz com que eles pensem e reflitam sobre o que está acontecendo.

Após a realização dos ensaios, os alunos se reuniram para sintetizar os resultados obtidos. A quinta e última etapa consistiu na apresentação dos resultados alcançados e na aplicação de um questionário de avaliação da oficina aos discentes participantes.

A seguir são apresentados detalhes do experimento realizado na maquete da sala de aula.

3.1. Experimento no modelo reduzido

Durante a oficina, o modelo reduzido utilizado foi a maquete da sala de aula 801 da faculdade, construída em madeira na escala 1:20, Figura 8. Para a realização do experimento foi preparado um conjunto adequado de equipamentos para obtenção da resposta impulsiva do ambiente.



Figura 8 - Maquete em escala 1:20 da sala de aula 801.

Em uma definição simples, a resposta impulsiva de uma sala é uma espécie de “assinatura acústica” ou “digital” da sala, a partir da qual vários parâmetros acústicos podem ser calculados por meio do processamento de sinais, sendo possível determinar praticamente todo o comportamento acústico da sala, bem como gerar e reproduzir sons na sala e ouvi-la, por meio da aurilização (VORLÄNDER, 2008). Ou seja, se a resposta impulsiva de um ambiente é conhecida, é possível saber como é o seu comportamento acústico a partir de qualquer sinal de entrada no mesmo.

A resposta impulsiva de uma sala pode ser obtida por meio de medições em campo, utilizando uma fonte sonora omnidirecional (para excitar sonoramente a sala) e microfone (para medir a resposta da sala ao sinal de excitação). Por meio de processamento de sinais, é possível calcular sua resposta impulsiva e, por meio de outros processamentos do sinal da resposta impulsiva, é possível calcular seu tempo de reverberação, bem como diversos outros parâmetros acústicos.

A Figura 9 apresenta um esquema do conjunto de medição utilizado. A fonte sonora excita a sala com um sinal sonoro. O sinal da fonte, a aquisição e o processamento do sinal medido são controlados pelo computador com o sistema de aquisição associado. A resposta da sala, capturada pelo microfone, é processada no computador com a utilização dos *software* MATLAB e ITA *toolbox*, com os quais é possível obter a resposta impulsiva da sala e, a partir desta, calcular o parâmetro acústico tempo de reverberação.

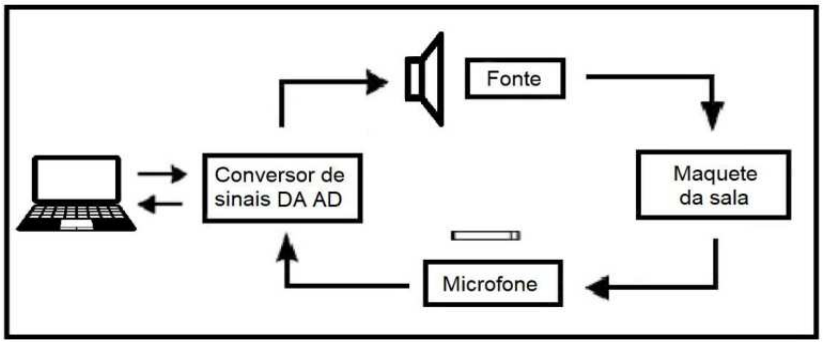


Figura 9 - Conjunto de medição.

O exercício proposto consistiu na medição da resposta impulsiva e posterior cálculo do tempo de reverberação do ambiente com três configurações diferentes de revestimento em seu interior. As medições no modelo reduzido seguiram os procedimentos para a escala real descritos nas normas internacionais ISO 3382-2 (2008) e ISO 18233 (2006). Para facilitar o procedimento e para a duração da etapa não ficar muito longa, foram utilizadas somente uma posição de fonte e uma posição de microfone. Essa escolha não afeta a qualidade dos resultados, pois seria possível fazer a medição com outras posições de fonte e microfone, mas levaria mais tempo. O procedimento consiste na obtenção de diferentes respostas impulsivas da sala em três configurações diferentes no interior da maquete e, a partir delas, os correspondentes tempos de reverberação, para que os alunos pudessem analisar as diferentes situações acústicas.

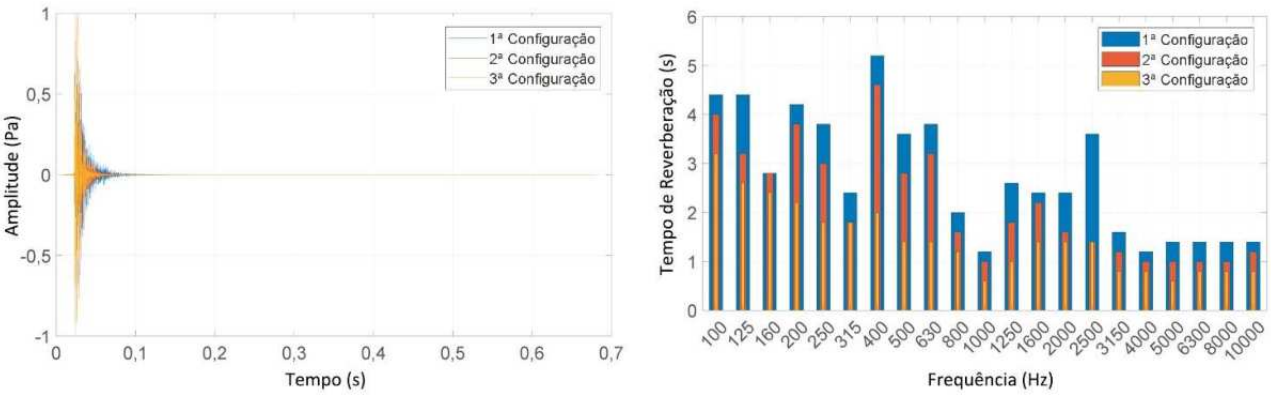
As três configurações ensaiadas foram:

1ª configuração: Sala vazia;

2ª configuração: Sala com menor quantidade de materiais fonoabsorventes;

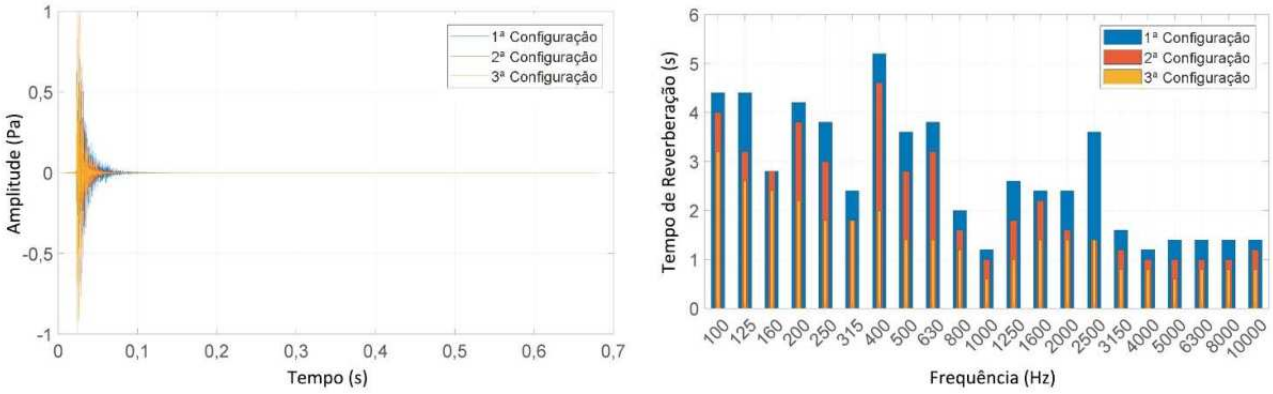
3ª configuração: Sala com maior quantidade de materiais fonoabsorventes.

A



(a) (b)

Figura 10 mostra o resultado das respostas impulsivas medidas para as três configurações diferentes. É possível observar na Figura 10 (a) que o tempo de decaimento da pressão sonora diminui conforme o aumento na quantidade de materiais fonoabsorventes. Na Figura 10 (b) é mostrado o tempo de reverberação (T_{30}) em função da frequência, em que, de forma similar à resposta impulsiva, é possível observar a diminuição em seus valores com o aumento na absorção sonora. Evidencia-se na frequência f = 500 Hz que para a 1ª configuração houve um T_{30} de 3,6 s, para a 2ª configuração houve um T_{30} de 2,8 s e para a 3ª configuração houve um T_{30} de 1,4 s.



(b) (b)

Figura 10 - Resultados da medição da resposta impulsiva e do cálculo do tempo de reverberação nas 3 configurações ensaiadas.

4. RESULTADOS

A oficina foi oferecida para 21 participantes, sendo 18 alunos ingressantes no curso de Arquitetura e Urbanismo. Após sua conclusão, todos responderam a um questionário de avaliação. A primeira pergunta tentava identificar o motivo pelo qual o aluno havia decidido fazer a oficina de acústica. O interesse em Conforto Ambiental e Conforto Acústico se sobressaíram nas respostas. A Figura 11 apresenta o histograma com as respostas, sendo que mais de uma poderia ser escolhida.

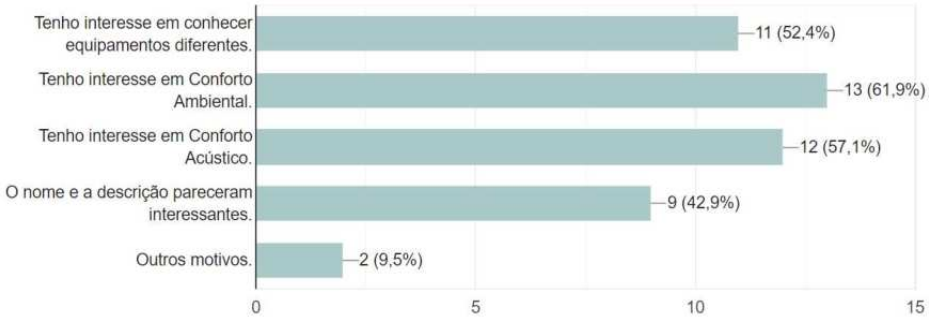


Figura 11 - Respostas à pergunta: “Por que você escolheu essa oficina?”.

Os discentes também responderam perguntas acerca da satisfação quanto aos seguintes aspectos: explicação teórica do conteúdo, explicação prática do conteúdo, organização da oficina e das atividades propostas, e material impresso disponibilizado.

Todos os participantes responderam que ficaram satisfeitos com a explicação teórica do conteúdo (sendo 14,3% satisfeitos e 85,7% extremamente satisfeitos) e com a explicação prática do conteúdo (sendo 19,0% satisfeitos e 81,0% extremamente satisfeitos). Todos os participantes responderam que ficaram satisfeitos com a organização da oficina e das atividades propostas (sendo 33,3% satisfeitos e 66,7% extremamente satisfeitos). Todos os participantes responderam que ficaram satisfeitos com material impresso disponibilizado (sendo 9,5% satisfeitos e 90,5% extremamente satisfeitos).

Todos reportaram que a oficina foi importante para introduzir conceitos relacionados à acústica arquitetônica e a última pergunta era aberta: “Você gostaria de acrescentar alguma sugestão, crítica ou elogio?”. As respostas obtidas foram:

“*- Muito bom. Disponibilizem mais vagas para a oficina.*

- Achei incrível o caderninho com o resumo das explicações! :)

- Gostei da interação que o workshop proporcionou entre os alunos e os diferentes ambientes visitados, com os testes práticos de tempo de reverberação.

- Foi muito interessante, muito obrigado.

- Amei muito.

- Foi muito bom, despertou meu interesse nessa área de conhecimento e gostaria de fazer uma pesquisa relacionada à acústica.

- A aplicação prática auxiliou bastante na compreensão da teoria.

- O workshop foi importante para a introdução de conceitos básicos de acústica.

*- Gostei muito da dinâmica e da organização do workshop. Adorei que tivemos a possibilidade de transitar pela faculdade e sermos apresentados a diferentes contextos de acústic*a.”

Com uma avaliação tão positiva, pode-se constatar o êxito alcançado com a oficina. E, apesar da grande satisfação alcançada, algumas possibilidades de melhoria foram observadas, tais como aprimorar as metodologias ativas, aperfeiçoar os experimentos com caixa de MDF e alto-falante, confeccionar caixa de MDF com película nas aberturas para observar a vibração das ondas sonoras e melhorar a apresentação dos resultados aos discentes.

5. CONCLUSÕES

O presente artigo descreveu a oficina de acústica oferecida aos alunos ingressantes na graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP, com o intuito de apresentar os conceitos básicos relacionados à propagação sonora e acústica arquitetônica. A partir de explanações teóricas simples e de atividades práticas e experimentais, o objetivo da oficina foi que o estudante fosse capaz de compreender os principais fenômenos acústicos que acontecem em ambientes fechados, como reflexão sonora e absorção sonora.

A investigação qualitativa do comportamento sonoro em ambientes fechados aconteceu a partir de sensibilização em campo e de ensaios acústicos em modelo reduzido de uma sala de aula da faculdade. Modelos reduzidos são úteis em vários aspectos: desde o estudo das características acústicas de um ambiente, de forma a prever o comportamento acústico na sala real, ou seja, desde os primeiros estágios de desenvolvimento do projeto de uma sala, para evitar futuros problemas acústicos, até a solução de um grande problema acústico existente em uma sala já construída.

A proposta didática oferece uma abordagem inovadora para o ensino de física do ambiente construído, integrando uso de modelos tridimensionais e metodologias ativas de aprendizado e contribui para a literatura sobre o assunto.

Na primeira oficina foi abordada somente a acústica da sala, mas futuramente, poderão ser incluídos estudos acústicos em escala urbana. Outra abordagem didática a ser implementada futuramente é a aurilização, que é subjetiva e está relacionada à percepção sonora (com os alunos ouvindo diferentes respostas acústicas em diferentes situações e sentindo diferentes sensações). Embora não seja simples, a possibilidade de produzir um som semelhante ao do espaço real em um modelo (e ouvir como soaria se fosse emitido em uma sala real) é muito atraente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem no ensino de Engenharia. In: XIII International Conference on Engineering and Technology Education, Guimarães, Portugal. **Proceedings…**, 2014. http://copec.eu/intertech2014/proc/works/25.pdf.

BONWELL, C. C.; EISON, J. A. Active learning: creating excitement in the classroom. **AEHE-ERIC Higher Education Report No. 1**. Washington, D.C. The George Washington University, 1991. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED336049.pdf.

CHVATAL, K. M. S.; MULFARTH, R. C. K.; DORNELLES, K. A.; SHIMOMURA, A. R. P.; MATTIA, P. H. S.; MICHALSKI, R. L. X. N.; SILVA, W. S. An innovative approach for teaching physics of the built environment. In: 36th PLEA Conference Passive and Low Energy Architecture and Urban Design (PLEA2022), Santiago. **Book of Proceedings PLEA STGO 2022**, v. 2. p. 884-889, 2022.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 3382-2**: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. International Organization for Standardization, 2008.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 18233**: Acoustics – Application of new measurement methods in building and room acoustics, International Organization for Standardization, 2006.

JEON, J. Y., Ryu, J. K., Kim, Y. H., Sato, S. Influence of absorption properties of materials on the accuracy of simulated acoustical measures in 1:10 scale model test. **Applied Acoustics**, 70 (4), 615-625, 2009. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.06.009.

LEE, H., Cha, C., Jeong, D. Development of realistic scale model auditors. **Applied Acoustics**, 188, 108544, 2022. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108544.

LISOT, A. **Modelo em escala reduzida ao ar livre como ferramenta de validação de simulação computacional de barreiras acústicas**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

MILO, A. The acoustic designer: Joining soundscape and architectural acoustics in architectural design education. Building Acoustics. 2020;27(2):83-112. doi:10.1177/1351010X19893593.

KITAPCI, K. Room acoustics education in interior architecture programs: a course structure proposal. In: Inter-noise 2019. **Proceedings** … Madrid, 2019.

BERARDI, U. Teaching acoustics in architectural programs in Canada. **Canadian Acoustics**, 45(3): 98–99, 2017.

GÜL, Z. S.; ÇALIŞKAN, M. Acoustics for architects: A potpourri of undergraduate and graduate level teaching styles, tools and in-course projects. **The Journal of the Acoustical Society of America** 151, 2326, 2022. https://doi.org/10.1121/10.0010104.

NASCIMENTO, Ranny L. X. **Medição dos coeficientes de absorção sonora de materiais utilizados em modelos reduzidos.** Dissertação de Mestrado em Ciências, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

NEILSEN, T. B.; GEE, K. L. Active-learning techniques in an introductory acoustics class. The Journal of the Acoustical Society of America 132, 1923, 2012. https://doi.org/10.1121/1.4755057.

PAN, L., ZHAO, Y., GAO, J. Factors influencing scattering coefficient measurement accuracy in scaled reverberation room. **Applied Acoustics**, 159, 107072, 2020. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107072.

RINDEL, J. H. Modelling in auditorium acoustics. From ripple tank and scale models to computer simulations. **Revista Acústica**, 33(3-4): 31–35, 2002.

VORLÄNDER. M. **Auralization: fundamentals of acoustics, modelling, simulation, algorithms and acoustic virtual reality**. New York: Springer, 2008.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo (USP), pelo apoio financeiro, e à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, à Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas da FAUUSP (STMEEC, antigo LAME) e ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT), pelo apoio para a realização da oficina. Ao técnico do LABAUT, Ranieri Higa, e ao doutorando André Sato, pelo apoio durante a realização da oficina; e à Aubicon, pela doação da caixinha de música utilizada na oficina e ilustrada na Figura 3. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa Produtividade em Pesquisa concedida a Roberta C. Kronka Mülfarth (309739/2022-5).