XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DE ESCRITÓRIO EM EDIFÍCIO MODERNISTA NA CIDADE DE SÃO PAULO

Ranny Michalski (1); Lícia Santiago (2); Nickolas Pinheiro (3); Vivian Pancheri (4); Elcione Moraes (5)

(1) Doutora, Professora do Departamento de Tecnologia da Arquitetura, rannym@usp.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, São Paulo, SP, 05508-080, Tel.: (11) 95054 2288.
(2) Arquiteta e Urbanista, liciamns@gmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 479, Belém, PA, 66075-110, Tel.: (91) 98493 5759.
(3) Arquiteto e Urbanista, pinheironickolas@gmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 479, Belém, PA, 66075-110, Tel.: (91) 98198 1463.
(4) Graduanda de Arquitetura e Urbanismo, vivian.pancheri@usp.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 876, São Paulo, SP, 05508-080, Tel.: (13) 99112 2727.
(5) Doutora, Professora, elcione@hotmail.com, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Corrêa, 479, Belém, PA, 66075-110, Tel.: (91) 8147 9797.

RESUMO

O trabalho consiste na avaliação da qualidade acústica de um escritório comercial em um edifício ícone da Arquitetura Modernista Brasileira, localizado no centro da cidade de São Paulo: o edifício do Banco Sul-Americano (atual Banco Itaú), projetado pelo arquiteto Rino Levi. Os métodos utilizados na pesquisa são experimental e qualitativo (por meio de levantamentos, entrevistas e medições de parâmetros acústicos, em campo), apoiados pelo método numérico. São avaliados o nível de pressão sonora, níveis estatísticos, a modulação equivalente e o tempo de reverberação. Os resultados são analisados e comparados com critérios de conforto, permitindo assim quantificar suas deficiências acústicas, de forma a elaborar uma proposta de intervenção para que o local alcance a qualidade acústica adequada para a atividade realizada no mesmo. A pesquisa pode ajudar a entender o conforto geral do edifício, a fim de alcançar uma análise crítica que vai além das questões quantitativas de conforto ambiental.
Palavras-chave: acústica arquitetônica, acústica de salas, conforto acústico, escritórios.

ABSTRACT

The research evaluates the acoustical quality of a commercial office in an icon building of the Brazilian Modernist Architecture, located in São Paulo city: the Sul-Americano Bank building (current Itaú Bank), designed by the architect Rino Levi. The methods used in the research are experimental and qualitative (through surveys, interviews, and field measurements of acoustic parameters), supported by numerical method. The sound pressure level, percentile levels, the equivalent modulation and the reverberation times are evaluated. The results are analyzed and compared with comfort criteria, allowing to quantify its acoustic faults, in order to elaborate an intervention proposal so that the place reaches the suitable acoustic quality for its usual activity. The study can help understand the overall comfort of the building, in order to achieve a critical analysis that goes beyond the quantitative issues of environmental comfort.
Keywords: architectural acoustics, room acoustics, acoustic comfort, offices.

1. INTRODUÇÃO

No Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética, do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, vem sendo desenvolvidas pesquisas de conforto ambiental (térmico, lumínico e ergonômico) em edifícios ícones da Arquitetura Modernista Brasileira, produzidos entre 1930 e 1966 na cidade de São Paulo (GONÇALVES *et al*, 2018; MONROY, 2017). As pesquisas enfatizam a necessidade de se avaliar também o conforto acústico nesses locais.

Neste sentido, o presente trabalho consiste na avaliação acústica de três salas (duas em planta livre e uma de reunião) de um escritório comercial em um edifício ícone da Arquitetura Modernista Brasileira, localizado no centro da cidade de São Paulo: o edifício do Banco Sul-Americano (atual Banco Itaú). Os resultados permitem quantificar deficiências acústicas, e por consequência, elaborar uma proposta de melhoria.

1.1. Qualidade acústica em ambiente de trabalho

Os layouts mais comuns em escritórios atualmente são aqueles compostos por uma grande planta livre (*open plan*), pequenas áreas sociais e alguns ambientes celulares fechados. Escritórios de planta livre e áreas comuns prezam pela maior comunicação e interatividade entre seus usuários e são importantes para trabalhos em equipe. As áreas sociais, como cafés, ambientes de descanso ou até de jogos, têm ganho cada vez mais espaço em locais de trabalho, onde os funcionários podem interagir socialmente, descansar e até realizar pequenas reuniões informais. Entretanto, esses locais acabam não levando em consideração aspectos de privacidade da fala, capacidade de concentração e nem conforto acústico. Dessa forma, ambientes fechados ainda são necessários para trabalhos que exijam concentração e privacidade.

A qualidade acústica nos ambientes de trabalho deve ser fator crucial na etapa de projeto dos mesmos. Ambientes que não fornecem conforto acústico adequado impactam negativamente na saúde, bem-estar, satisfação, motivação, produtividade e desempenho dos trabalhadores, podendo inclusive causar afastamentos e gastos extras por motivos médicos (FONSECA *et al*, 2017).

Escritórios localizados em grandes centros urbanos acabam sendo impactados pela poluição sonora presente nas áreas urbanas, tornando-se muitas vezes ambientes ruidosos. Ruído devido a tráfego em vias com alta concentração de veículos, vizinhos, máquinas, indústrias, atividades comerciais e recreativas ou outras fontes incomoda e prejudica a qualidade de vida da população. Além das próprias fontes sonoras, a urbanização e o adensamento vertical nas cidades formam cânions urbanos que funcionam como caixas de ressonância acústica. A exposição prolongada a altos níveis de ruído pode causar danos à saúde, desde efeitos psicológicos à perda auditiva.

Além dos efeitos citados anteriormente, ambientes ruidosos tendem a piorar com o tempo, pois as pessoas começam a falar mais alto à medida que fica mais barulhento ao redor delas (o conhecido efeito Lombard). Como resultado, a distração e o incômodo aumentam com o aumento do barulho, enquanto a saúde, a concentração e a produtividade caem substancialmente - a última em até 66%, de acordo com estudos (STEELCASE 360).

Apesar de muitos edifícios serem inicialmente projetados para determinados usos, os mesmos podem depois de alguns anos passar a ter novos usos. Isso acontece também com o ambiente externo aos ambientes construídos. Cidades mudam, ruas mudam, e, portanto, as condições externas aos mesmos também podem ser alteradas, alterando-se, por consequência, as condições internas. Surge assim a necessidade de se requalificar ambientalmente alguns edifícios antigos.

No caso de espaços urbanos abertos, o tratamento acústico costuma ser complexo, pois estes apresentam muitas variáveis que influenciam na qualidade acústica e uma grande variabilidade de condições tipológicas, microclimáticas e de usos. Apesar da dificuldade, a análise do ruído nos centros urbanos é necessária para que haja gerenciamento e controle de ruído nas cidades.

No caso de espaços fechados, o tratamento acústico é mais simples, podendo ser obtido por meio de algumas estratégias, como: aumento ou diminuição da absorção sonora no ambiente; instalação de barreiras entre a fonte e o receptor; mascaramento sonoro e mudança na orientação da fonte sonora. Equipamentos e sistemas de ventilação e ar condicionado também influenciam na acústica do local. O maior desafio surge ao tentar compatibilizar ventilação natural com acústica.

1.2. Edifício Banco Sul-Americano

A arquitetura modernista brasileira seguiu na oposição das vanguardas construtivas, bem como do estilo internacional, os quais procuravam uma produção arquitetônica universal, a-histórica e a-territorial. Buscou, na verdade, a consolidação de uma expressão cultural, atendendo diferenças mesológicas e geográficas, como o clima (LUCCAS, 2005). Nesse contexto, o arquiteto Rino Levi possui uma grande contribuição para

o cenário nacional. Racionalista, usou da técnica e da ciência para produzir uma arquitetura que provia conforto térmico, acústico e lumínico aos usuários. Para além, também buscava uma relação interior-exterior, integrando a obra com a paisagem e/ou o espaço urbano em que esta estava inserida (TAMANINI, 2011).

O Edifício Banco Sul-Americano, ilustrado na Figura 1, foi projetado pelo escritório Rino Levi Arquitetos Associados, entre os anos 1961-63, e faz parte do primeiro conjunto de prédios institucionais e de serviços na Avenida Paulista, pois antes de 1952 a avenida era estritamente residencial. O Edifício foi tombado pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (Condephaat) em 2010, e é considerado um dos principais símbolos da arquitetura moderna comercial brasileira, além de um dos últimos trabalhos e síntese das obras do arquiteto Rino Levi, antes de sua morte em 1965 (CARVALHO CAVALCANTI, 2009).



Figura 1 - Edifício Banco Sul-Americano.



Figura 2 - Escritório Sala 1.



Figura 3 - Escritório Sala 2.

O projeto foi desenvolvido para ser a sede de um banco em um terreno com forma de trapézio, o qual apresenta uma superfície total de 2.660 m², e está localizado na esquina da Avenida Paulista com a Rua Frei Caneca, no centro de São Paulo. O conjunto edificado é dividido em dois blocos organizados em formas geométricas distintas: o edifício base destinado para o banco, horizontal junto ao chão, e o edifício torre para os escritórios, vertical sobreposto ao primeiro (CARVALHO CAVALCANTI, 2009).

Projetado para o clima local, com estratégias de controle solar, uso de iluminação e ventilação naturais, uso de materiais e componentes construtivos adequados, estrutura modular em concreto armado, pilotis, planta livre e estreita, terraço jardim no pavimento entre blocos e grandes panos de vidro com quebra-sóis nas fachadas, o Edifício Banco Sul-Americano é referência pelas suas características bioclimáticas.

Com relação aos fechamentos, o edifício base possui *brises* fixos direcionados no sentido vertical e horizontal, que variam de acordo com a incidência solar. Na torre de escritórios, em formato de lâmina, a fachada sudoeste, de frente para a Avenida Paulista, é cega e revestida com mármore, proporcionando proteção à insolação da tarde no verão e, consequentemente, ao ruído da avenida, que na época da sua construção não era tão movimentada. A fachada nordeste, por simetria, recebeu o mesmo tratamento. Já as maiores fachadas da torre, noroeste e sudeste, em pele de vidro, possuem *brises* e, devido à sua orientação, sua planta retangular e estreita e suas janelas de vidro do chão ao teto, aproveitam a iluminação e a ventilação naturais, recebendo o vento sudeste, predominante na região. Na fachada sudeste, os quebra-sóis são fixos, enquanto na fachada noroeste são ajustáveis (MONROY, 2017).

Mais de cinquenta anos após sua construção, o entorno da edificação e as demandas dos seus usuários sofreram mudanças significativas. Monroy (2017), após estudar o Edifício, constatou que o mesmo não se comporta mais como naquela época. A cidade cresceu, as fontes de ruído externos aumentaram, edifícios vizinhos foram construídos e a eficiência dos *brises* foi comprometida, escurecendo os ambientes de trabalho.

Além do seu entorno ter mudado ao longo dos anos, o próprio edifício também sofreu alterações. Entre 1992 e 1995, um *retrofit* realizado foi a maior intervenção desde sua construção, chegando à forma e ocupação atual do edifício. Uma série de mudanças foi realizada, entre elas a substituição da ventilação natural pela climatização artificial. Em cada pavimento foi instalada uma casa de máquinas de ar condicionado, com tratamento acústico necessário e novo forro para distribuição do ar condicionado. A

poluição sonora das vias levou os proprietários a selarem esquadrias e toda a caixilharia foi restaurada para garantir a estanqueidade acústica dos ambientes.

2. OBJETIVO

O objetivo principal do trabalho é avaliar o comportamento acústico em três salas de escritório de um edifício ícone da Arquitetura Modernista Brasileira, de uso comercial, localizado na cidade de São Paulo, de forma a elaborar uma proposta de intervenção para melhorar a qualidade acústica nos ambientes.

3. DESENVOLVIMENTO

A seguir são descritos o objeto de estudo e a metodologia adotada ao longo da pesquisa.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O objeto de análise é um escritório comercial localizado na torre do edifício Banco Sul-Americano. Os materiais de revestimento predominantes são gesso no teto e nas paredes e taco colado no piso. Apenas algumas janelas podem ser abertas, embora elas permaneçam fechadas a maior parte do tempo, com o sistema de ar condicionado funcionando. Os caixilhos apresentavam sinais de desgaste em sua vedação. A Figura 4 apresenta o layout do pavimento e as salas avaliadas, Salas 1, 2 e 3.

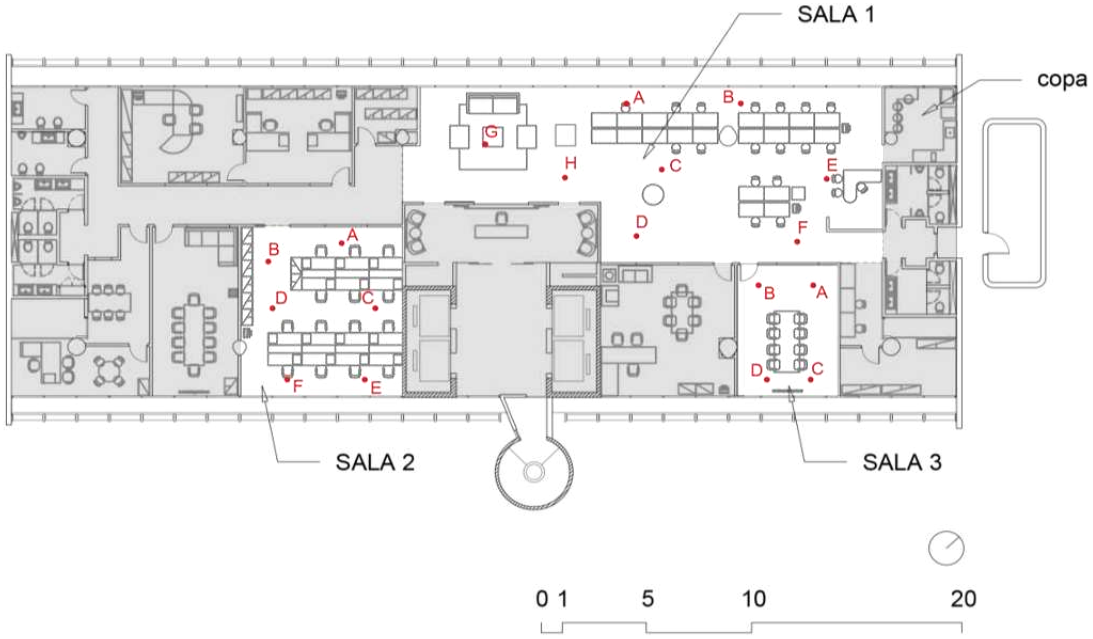


Figura 4 - Layout do pavimento estudado do Edifício Banco Sul-Americano com os pontos de medição utilizados.

As salas possuem dimensões e tipologias distintas e representam situações típicas de escritórios da Arquitetura Modernista Brasileira, sendo duas salas do tipo planta livre (*open plan*), Salas 1 e 2, e a outra em ambiente celular (sala de reunião), Sala 3. A Tabela 1 lista as áreas e volumes das salas, o número de funcionários que trabalham no local, o número de pontos de medição e as condições de avaliação utilizadas.

Tabela 1 - Dados sobre as salas analisadas.

Local	Área (m^2)	Volume (m^3)	Número de funcionários	Número de pontos de medição	Condição avaliada
Sala 1	164	410	15	6 e 8	vazia e ocupada
Sala 2	64	160	14	6	vazia e ocupada
Sala 3	31	77,5	2	4	vazia

3.2. Metodologia

Quanto à metodologia empregada na pesquisa, as atividades estão fundamentadas nos métodos dos tipos experimental e qualitativo, por meio de levantamentos, entrevistas e medições de parâmetros acústicos em campo. Tais métodos são apoiados pelo método numérico, com cálculo de parâmetros acústicos.

A primeira etapa foi o levantamento de informações sobre o objeto em estudo. O passo seguinte foi o levantamento dos dados no local, com medições de variáveis ambientais e entrevistas.

Para avaliar o conforto e o desempenho acústico ambiental, são utilizados indicadores objetivos obtidos através de medições *in situ* e comparados com critérios e limites estabelecidos em normas ou na legislação. O parâmetro mais consagrado em acústica é o Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente Ponderado em A (L_{Aeq}), expresso em dB (ABNT, 2014). Em ambientes fechados e em edificações, outros indicadores também são utilizados, como o tempo de reverberação, expresso em segundos, e os índices de isolamento sonoro, expressos em dB. O presente trabalho considerou quatro indicadores: L_{Aeq}, nível estatístico L_{A90}, modulação equivalente M_{eq} e tempo de reverberação.

A realização das medições acústicas seguiu as diretrizes estabelecidas pelas normas NBR 10152 (ABNT, 2017) e NBR ISO 3382-2 (ABNT, 2017). Os equipamentos utilizados nas medições foram dois sonômetros. Os pontos de medição foram distribuídos ao longo das salas de modo a possibilitar a representação do campo sonoro do ambiente e diferentes alturas foram utilizadas. Nas salas com áreas inferiores a 30 m², as medições foram realizadas em três pontos de medição. Nas salas com áreas superiores a 30 m², aumentou-se um ponto para cada 30 m² adicionais de área do ambiente. Os pontos de medição podem ser vistos na Figura 4.

As salas foram medidas com as janelas fechadas, com e sem a presença de funcionários, nas condições comuns de funcionamento. Isso permite identificar o ruído gerado pelas atividades realizadas no local. Após as medições em cada ponto, foram calculadas as médias espaciais. Foram também realizadas medições ao longo da sala e ao longo do tempo, além de medições externas, tomadas a 1 metro de distância da fachada, com a janela aberta, a fim de se avaliar o efeito do ruído das ruas nas salas em estudo.

Os resultados foram tratados e tabulados para posterior análise e avaliação acústica, realizada por comparação dos indicadores medidos com critérios e limites estabelecidos na legislação e em normas técnicas. Além da avaliação objetiva, também foi possível avaliar subjetivamente o conforto acústico dos usuários do escritório, através de questionários sobre conforto e percepção sonora no local. Ressalta-se a importância de verificar a relação entre as variáveis medidas com as respostas subjetivas obtidas, enfatizando-se as relações entre sensação e conforto acústico.

A terceira e última etapa da pesquisa corresponde à análise dos resultados das pesquisas de campo e uma proposta de intervenção, junto com uma síntese dos processos realizados e dos resultados alcançados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados e discutidos os resultados obtidos na pesquisa.

4.1. Nível de pressão sonora

As medições foram realizadas nos dias 22 e 23 de janeiro de 2019, ao longo dos dias. Foram medidos os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A, L_{Aeq}, nas três salas, nos pontos de medição ilustrados na Figura 4, além de um ponto externo ao edifício na mesma altura do pavimento.

As Figuras 5 e 6 mostram os resultados das medições em seis pontos da Sala 1 ocupada (Ponto A a Ponto F) em dois períodos do dia 22 de janeiro de 2019: manhã (de 09:30h às 13:00h) e tarde (de 14:00h às 17:30h). As médias espaciais (médias de todas as posições) estão representadas em preto nos gráficos.

Pelos gráficos, percebe-se que todos os valores estão acima de 50 dB. Os pontos com maior nível de pressão sonora são os Pontos E e F, devido à proximidade entre as mesas de trabalho (devido às conversas ocasionais entre funcionários) e também pela proximidade com a impressora e com a copa.

A Figura 7 mostra o gráfico dos níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A externos, para os mesmos períodos pela manhã e pela tarde, além dos níveis médios da Sala 1 ocupada, os mesmos apresentados nas Figuras 5 e 6.

Pelo gráfico é possível notar que as médias dos níveis de pressão sonora da manhã e da tarde são parecidas, por volta de 55 dB. Já os níveis externos ficaram bastante elevados durante todo o período medido, por volta de 68 dB. Isso é reflexo do movimento da Avenida Paulista e das obras que estavam acontecendo na época. Com essas informações, é interessante ressaltar que nesse andar de escritórios o isolamento sonoro mostra-se extremamente necessário para o conforto acústico interno.

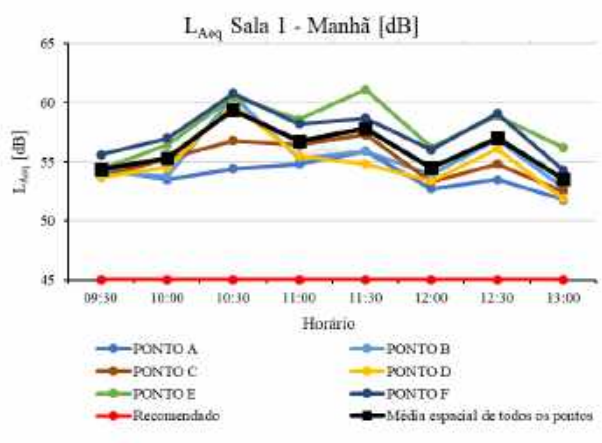


Figura 5 - Medições no período da manhã.

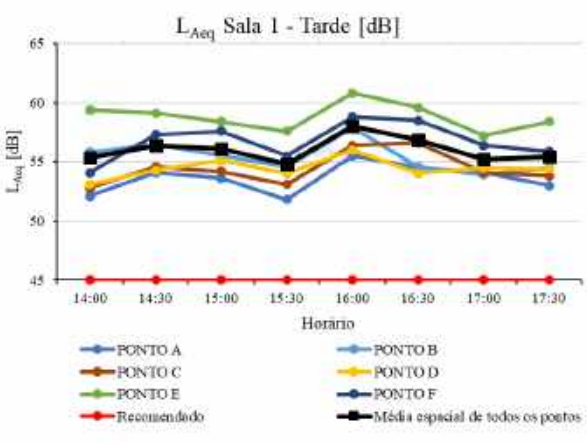


Figura 6 - Medições no período da tarde.

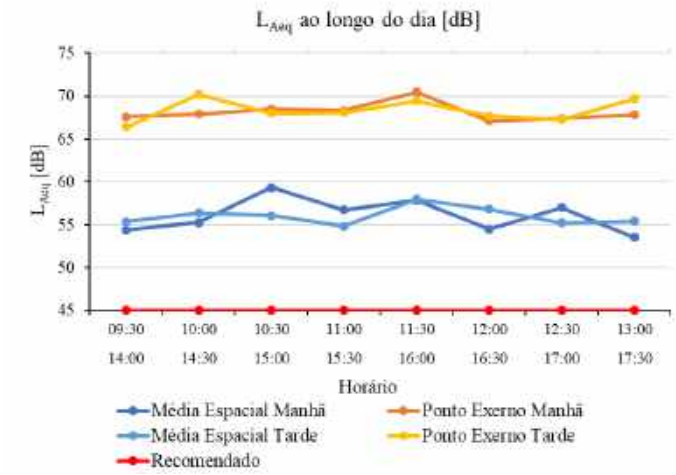


Figura 7 - Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A médio ao longo do dia 22 de janeiro de 2019 na Sala 1.

No mesmo dia foi realizada uma medição com 9 horas de duração, das 09:00h às 18:00h, em um ponto da Sala 1 ocupada, obtendo-se os valores dos níveis em função da frequência e os níveis estatísticos. O resultado para L_{Aeq} foi de 53,1 dB. As Figuras 8 e 9 mostram os gráficos dos níveis em função da frequência para bandas de 1/1 de oitava e 1/3 de oitava, respectivamente. Ao analisar os gráficos, observa-se que a maior contribuição sonora acontece nas frequências mais graves (de 63 a 125 Hz), ou seja, o som apresenta mais componentes nessas frequências, comportamento típico de sistemas de ar condicionado.

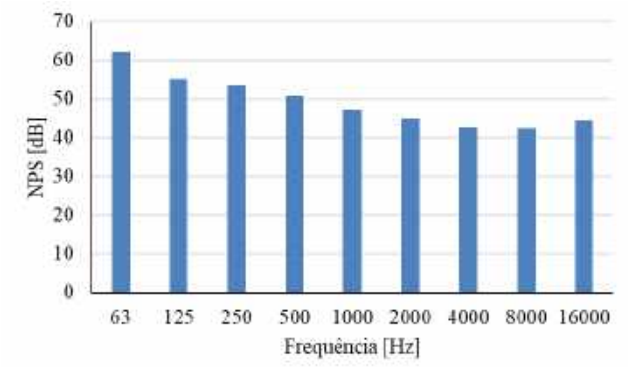


Figura 8 - NPS em bandas de 1/1 de oitava.

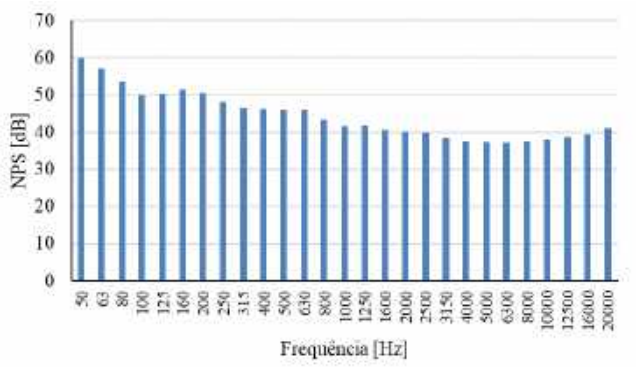


Figura 9 - NPS em bandas de 1/3 de oitava.

No dia 23 de janeiro de 2019, foram realizadas medições com as Salas 1 e 2 ocupadas e vazias, nos períodos da manhã e da tarde, e com a Sala 3 vazia, no período da tarde. Diferentemente do dia anterior, no qual foram realizadas medições a cada meia hora no período da manhã e da tarde, nesse dia as medições foram feitas para um intervalo de tempo no período da manhã e um intervalo de tempo no período da tarde. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos resultados de níveis médios de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A L_{Aeq}, níveis estatísticos L_{A90} e modulação equivalente M_{eq}, medidos em cada ambiente do escritório (e uma observação se a sala estava ocupada ou vazia durante as medições).

Tabela 2 - Nível de pressão sonora L_{Aeq}, Nível estatístico L_{A90} e Modulação Equivalente M_{eq}, expressos em dB.

Local	Período	Condição	L_{Aeq}	L_{A90}	M_{eq}
Sala 1	Manhã	Ocupada	56,8	50,7	6,1
	Tarde	Ocupada	54,3	50,1	4,2
		Vazia	48,8	47,3	1,5
Sala 2	Manhã	Ocupada	58,9	49,2	9,7
	Tarde	Ocupada	59,2	52,6	6,6
		Vazia	48,6	46,3	2,3
Sala 3	Tarde	Vazia	47,6	46,3	1,3
Ponto Externo	Manhã	-	68,3	-	-
	Tarde	-	68,3	-	-

Observando a tabela, conclui-se que todos os valores medidos para o nível de pressão sonora estão acima de 55 dB para salas ocupadas e acima de 45 dB para salas vazias. A diferença entre sala ocupada e sala vazia chegou a mais do que 10 dB, no caso da Sala 2. Com essas informações, é possível identificar o ruído gerado internamente. Ao analisar os níveis por pontos de medição, verificou-se que o ponto G na Sala 1 e o ponto B na Sala 2 apresentaram os menores valores medidos. Isso deve-se ao fato de que tais pontos ficam em locais menos movimentados nas salas.

Os níveis sonoros equivalentes obtidos em medições na literatura internacional estão geralmente na faixa de 55 a 65 dB para grandes escritórios (PASSERO e ZANNIN, 2009). De acordo com a norma NBR 10152 (ABNT, 2017) recomendam-se os seguintes valores de referência de L_{Aeq}: 45 dB para escritórios coletivos (*open plan*), 40 dB para escritórios privativos (gerência, diretoria, etc.) e 35 dB para salas de reunião. Ambientes com valores iguais ou inferiores aos valores de referência dados na norma são considerados adequados para uso. Outra norma considerada na pesquisa foi a norma australiana AS/NZS 2107 (2016), que recomenda uma faixa de níveis sonoros para projeto de ambientes de escritórios de 40 a 45 dB. Já para escritórios profissionais e administrativos a faixa é de 35 a 40 dB.

Ao se comparar os valores medidos com os das normas NBR 10152 e AS/NZS 2107, verifica-se que os níveis de todos os ambientes estão acima dos valores adequados, tanto as salas cheias como as vazias.

Ao se comparar os valores de ruído externo com os da norma NBR 10151 (2019), verifica-se que os níveis de ruído ultrapassam valores de normas e legislação. Por exemplo, o limite diurno de 60 dB estabelecido na norma ABNT NBR 10151, para área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas, é ultrapassado. No caso da legislação municipal, Lei de Uso e Ocupação do Solo (SÃO PAULO, 2016), o limite máximo estabelecido para o período diurno para o zoneamento do local (Zona Eixo de Estruturação e Transformação Urbana, ZEU) é de 60 dB, sendo também ultrapassado pelo nível medido. As medições realizadas mostram ser necessário realizar um tratamento acústico nas salas em questão. Seria ainda interessante que na cidade houvesse alguma ação de planejamento para reduzir ou controlar o ruído externo no local.

4.2. Nível estatístico L_{A90} e Modulação equivalente M_{eq}

Níveis estatísticos L_N representam os valores do nível de pressão sonora que foram excedidos em uma porcentagem (N%) do intervalo de tempo considerado, ou seja, o nível estatístico L_{A90} é o nível sonoro ponderado em A que foi excedido em 90% do tempo de medição. Muitas vezes esse valor é considerado um indicador do nível residual (antigamente chamado ruído de fundo). A Tabela 2 apresenta os valores medidos do nível estatístico L_{A90}.

Um método novo e simples para se avaliar o STI (*Speech Transmission Index*) e o ISE (*Irrelevant Speech Effect*) em escritórios de planta aberta é através do parâmetro chamado Modulação Equivalente (M_{eq}), obtido pelo cálculo da profundidade de modulação de um sinal, subtraindo-se o L_{A90} do L_{Aeq} (BORIN e MONTEIRO, 2018). O STI e o M_{eq} são grandezas proporcionais, portanto quanto maior o M_{eq}, maior a tendência dos ouvintes sentirem o *Irrelevant Speech Effect* e se incomodarem com o ruído no local.

Os valores obtidos para modulação equivalente, apresentados na Tabela 2, foram de aproximadamente 4 a 10 dB para sala ocupada e de 1,3 a 2,3 dB para sala vazia. O maior valor é 9,7 dB, para a Sala 2 ocupada. Conforme os resultados dos questionários, a fonte de ruído na Sala 2 que mais causa incômodo são conversas e passos, além de obras e reformas externas, confirmando a tendência citada acima.

4.3. Tempo de reverberação

O tempo de reverberação de uma sala é o parâmetro mais utilizado na avaliação da qualidade acústica de um ambiente. Ele equivale ao tempo necessário, a partir do fim da excitação sonora em uma sala, para o nível de pressão sonora cair 60 dB, isto é, o tempo para a energia sonora total cair a um milionésimo do seu valor inicial.

O tempo de reverberação *TR* foi calculado a partir de informações sobre o volume do ambiente, todas as áreas das suas superfícies, seus materiais de revestimento e seus coeficientes de absorção sonora, por meio da equação de Sabine: $TR = 0{,}161V/A$, onde V é o volume do ambiente em m³ e A é a área de absorção sonora equivalente do local, em m², obtida pelo somatório dos produtos das áreas de cada superfície do ambiente pelos coeficientes de absorção sonora do material de cada superfície e demais elementos do ambiente. O uso do método numérico, embora menos preciso que o experimental, é útil para profissionais que não possuem equipamentos de medição, como no caso do presente trabalho com relação às medições de tempo de reverberação.

A norma brasileira que aborda tratamento acústico em ambientes fechados é a NBR 12179 (ABNT, 1992). Ela apresenta valores de tempos de reverberação ótimo para alguns tipos de ambientes, mas não contempla escritórios. Já a norma australiana AS/NZS 2107 (2016) contempla escritórios e apresenta valores de faixas de tempo de reverberação recomendados para projeto: para ambientes de escritórios, a faixa de *TR* recomendada é de 0,4 a 0,7 segundos, e para escritórios profissionais e administrativos a faixa é de 0,6 a 0,8 segundos. Os valores da norma AS/NZS 2107 foram considerados no presente trabalho.

No gráfico da Figura 10, são apresentados os valores de tempo de reverberação encontrados para cada sala em função da frequência, junto com a faixa recomendada entre 0,4 e 0,7 s. Observa-se que os valores dos tempos de reverberação nas três salas estão muito acima dos valores recomendados (com exceção das baixas frequências).

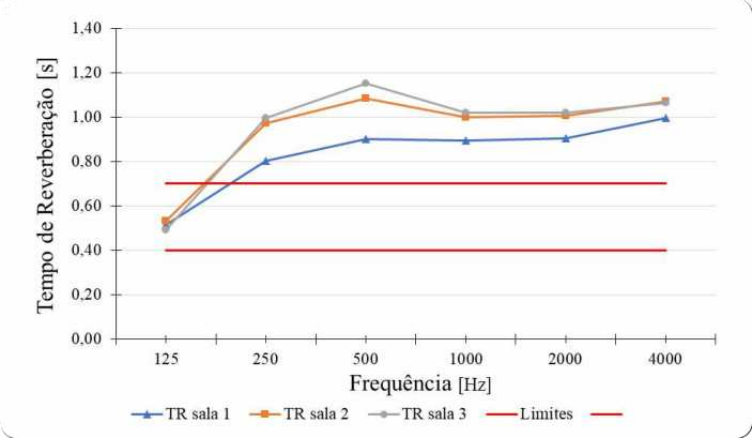


Figura 10 - Tempos de reverberação para cada sala em função da frequência e faixa entre 0,4 e 0,7 s.

4.4. Questionários

Os questionários foram passados aos trabalhadores das Salas 1, 2 e 3. Na sala 1 havia 8 funcionários. Na Sala 2, havia 12 funcionários e na Sala 3, 2 funcionários. Foram feitas perguntas acerca de ruídos externos e internos e percepção sobre satisfação, incômodo e capacidade de concentração.

Ao analisar os resultados dos questionários, constatou-se que 100% dos funcionários escutam os ruídos externos ao escritório, principalmente música (de apresentações que acontecem na Av. Paulista) e tráfego de veículos. Na Sala 2, além de música e tráfego, se queixaram de ruído de obras e reforma, pois o edifício estava passando por reformas perto da fachada sudeste, onde se encontra a Sala 2, e isso estava incomodando os trabalhadores. Um deles chegou a dizer que "acreditava que ao final das obras o conforto acústico melhoraria".

Todos os funcionários também disseram ouvir os ruídos internos ao escritório, principalmente os gerados por pessoas (falas e pisadas), que são ouvidos com mais intensidade que os outros, além do ruído da impressora localizada na Sala 1 e da máquina de café localizada na copa. Ao serem questionados sobre qual fonte de ruído causa mais incômodo, os funcionários da Sala 1 responderam ser a impressora e a máquina de café, além da fala. Para os funcionários da Sala 2, a fonte de ruído que mais causa incômodo são conversas e passos, além de obras e reformas externas.

Os resultados obtidos vão de acordo com pesquisas que comprovam que uma das fontes de ruído que mais causa incômodo em escritórios são as conversas dos próprios funcionários (entre si ou ao telefone).

Além de perguntas sobre a satisfação dos funcionários com o ruído do escritório, foram feitas perguntas sobre a satisfação com a capacidade de concentração no local. Apesar de se queixarem estar insatisfeitos com o ambiente ruidoso, a maioria se diz satisfeito com sua capacidade de concentração. Isso mostra o desconhecimento dos funcionários da relação entre conforto acústico e capacidade de concentração. Os trabalhadores despendem mais energia para se concentrarem, apesar de não perceberam, e isso pode causar efeitos como o estresse com o passar do tempo.

5. PROPOSTA DE INTERVENÇÃO

Para melhorar a qualidade acústica do ambiente propõe-se um tratamento acústico com estratégias de condicionamento acústico e de isolamento sonoro, já que foram identificados os dois tipos de problema.

Os tempos de reverberação podem ser reduzidos com a adoção de materiais de alta absorção sonora, devidamente calculados, nas áreas do forro de cada escritório. Novos tempos de reverberação foram calculados após proposta de mudança nos materiais de revestimento e uma análise é apresentada a seguir. Para se alcançar os valores recomendados de tempo de reverberação na Sala 1, é suficiente aplicar um material com alto coeficiente de absorção sonora, como, por exemplo, placas acústicas de espuma de poliuretano com densidade de 11 kg/m³ e 45 mm de espessura, em apenas 1/3 da área do teto (35 m²). No caso da Sala 2, isto pode ser alcançado cobrindo metade da área do seu teto (32 m²) com o mesmo material. Na Sala 3, uma área menor ainda do mesmo material (15,7 m², ou cerca da metade da área do teto) proporciona os valores recomendados de tempo de reverberação.

Para os problemas de isolamento identificados e relatados nos questionários acerca tanto dos ruídos externos como dos internos, podem ser adotadas estratégias com base nos conceitos de privacidade sonora, que permitem que espaços *open plan* sejam utilizados sem que haja interferências ou percepção das atividades dos usuários das salas, além de tratamento acústico nas aberturas externas, como a troca das esquadrias antigas por esquadrias acústicas novas, para inibir a transferência do ruído externo ao interior do recinto.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou características acústicas de três salas em um escritório. Foram avaliados os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A, o nível estatístico L_{A90}, a modulação equivalente e os tempos de reverberação. Os valores encontrados de nível de pressão sonora e tempo de reverberação estão acima dos valores recomendados para ambientes com o uso em questão.

As medições, dentro e fora de edifícios existentes e ocupados, são um recurso essencial para a compreensão do desempenho ambiental e do conforto dos usuários. Medições como ponto de partida são importantes para intervenções no projeto, pois revelam o resultado de uma interação e síntese: a resposta do projeto arquitetônico aos vários fenômenos da física aplicada à construção, que acontecem em paralelo. Questionários também foram aplicados de maneira a se obter uma análise subjetiva do conforto acústico dos usuários.

Após a avaliação dos resultados, constatou-se que nenhum dos ambientes em estudo é considerado adequado acusticamente para as atividades ali realizadas. Dessa forma, foi proposta uma requalificação acústica dos mesmos, com tratamento acústico para melhoria dos parâmetros avaliados, e consequentemente, melhoria da qualidade acústica desses ambientes. Vale ressaltar a importância de considerar os fenômenos acústicos no momento da elaboração do projeto arquitetônico, visto que a acústica no edifício está diretamente relacionada à forma e aos revestimentos do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR ISO 3382-3**: Acústica – Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 3: Escritórios de planta livre. Rio de Janeiro, 2017.

AS/NZS - Australian/New Zealand Standard. **AS/NZS 2107**: Acoustics – Recommended design sound levels and reverberation times for building interiors. Sydney, 2016.

BORIN, M.; MONTEIRO, C. **Avaliação do *Irrelevant Speech Effec*t (ISE) em escritórios de planta aberta por meio da modulação equivalente**. In: XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 2018, **Proceedings…** Porto Alegre, 2018.

CARVALHO CAVALCANTI, Rosa Karina. **Edifício Banco Sul-Americano do Brasil**, São Paulo, 1961-1963. In: 8º Seminário DOCOMOMO Brasil: Cidade Moderna e Contemporânea: Síntese e Paradoxo das Artes, 2009, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2009.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. New York: J. Ross Publishing, 2007.

FONSECA, A. F. C. *et al*. Análise da exposição ocupacional ao ruído em trabalhadores de uma empresa florestal. **Revista Espacios**, XX, vol. 38, nº 26. 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n26/a17v38n26p25.pdf >. Acesso em: 09 jun. 2018.

GONÇALVES, J. C. S.; DOLCE M.; MULFARTH, R.; GASPARELO LIMA, E.; FERREIRA, A; MICHALSKI, R. **The Thermal Environment in the High-Density Tall Building from the Brazilian Bioclimatic Modernism: Living in the COPAN building**. In: PLEA 2018 - Smart and Healthy within the 2-degree Limit, **Proceedings…** Hong Kong, 2018.

LUCCAS, Luís Henrique Haas. **Arquitetura moderna e brasileira: O constructo de Lucio Costa como sustentação**. Vitruvius, São Paulo, ano 06, set. 2005. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/06.063/437>. Acesso em: 09 jan. 2019.

MONROY, M. **Edifício Banco Sul-Americano: proposta de requalificação ambiental para a torre de escritórios**. Trabalho final de graduação. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2017.

PASSERO, C.; ZANNIN, P. O conforto acústico em escritórios panorâmicos: estudo de caso em um escritório real. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.9, n.1, p. 93-105, jan./mar. 2009.

SÃO PAULO (Município). **Lei nº 16.402**, de 22 de março de 2016. Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico (PDE). Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de São Paulo. São Paulo, SP, 22 mar. 2016.

STEELCASE 360. Issue 67. **Wellbeing: a bottom line issue**. Disponível em: <https://www.steelcase.com/content/uploads/2014/05/360Magazine-Issue67.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

TAMANINI, Carlos Augusto De Melo. **Reconstrução acústica das salas de cinema projetadas pelo arquiteto Rino Levi**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011, p. 5.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa Unificado de Bolsas de Estudos para Apoio e Formação de Estudantes de Graduação (PUB) da Universidade de São Paulo (USP) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), na modalidade Estágio PIBIC de Verão (EPV), da Universidade Federal do Pará (UFPA).