Análise do desempenho acústico de diferentes tipos de fachadas em edificações.

Acoustic performance analysis in different types of buildings façades.

Caiado, Nuno B. B. C. [1];
Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Castro, Rodrigo Martinez[2]
Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

[1] nunobrandaocaiado@gmail.com; [2] rmartinez@pucgoias.edu.br;

RESUMO: O trabalho utilizou metodologia análoga àquela vista no trabalho de PEREIRA (2017), na qual foram escolhidos pontos de interesse na aferição de ruído correlacionadas a arquitetura e aferidos os níveis de pressões sonoras conforme a norma ISO 16283-3 (ISO, 2016). As medições ocorreram em três pontos pré-determinados, e com o decibelímetro foram feitas 3 leituras em um eixo posicionado a 2m ± 0,2m partir do plano a ser analisado (fachada, janela, parede ou saliência) com distanciamento entre 0,5m de cada ponto a ser medido, com o tempo de cada medição de 200 segundos por leitura, orientado pela ISO 140-5 (ISO, 1998). Os principais resultados obtidos puderam apontar que a arquitetura interferiu nas medições, e que materiais fonoabsorventes foram favoráveis à redução de ruídos.

Palavras-chaves: ruído, nível de pressão sonora, conforto ambiental, decibelímetro.

ABSTRACT: This article used a methodology similar to PEREIRA (2017), in which points of interest were chosen in the measurement of noise correlated to architecture and the levels of sound pressure were measured according to the ISO 16283-3 standard (ISO, 2016). Measurements was taken at three predetermined points, and with the decibel meter, 3 readings were taken on an axis positioned at 2m ± 0.2m from the plane to be analyzed (facade, window, wall or overhang) with a distance between 0.5m from each point to be measured, with each measurement time of 200 seconds per reading, guided by ISO 140-5 (ISO, 1998). The obtained results point to the conclusion that the architecture interfered in the measurements, and the sound-absorbing materials were favorable to noise reduction.

Keywords: noise, sound pressure, environmental comfort, decibel meter.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora vem afetando a qualidade de vida dos seres humanos em todo mundo, podendo ser causador ou catalisador de várias doenças. Diversos estudos têm avaliado a relação de doenças com a poluição sonora, e segundo Van Kempen e Babisch (2012), populações expostas ao ruído de tráfego tem aumento no risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares, como a hipertensão. Auger *et al.* (2018) sugerem que as mulheres expostas à poluição sonora têm maiores chances de apresentarem quadro de pré-eclâmpsia durante a gestação. Já Jafari *et al.* (2019) concluíram que a exposição duradoura ao ruído desregula o sistema neuroendócrino; além do estresse causado pela poluição sonora mostrar uma relação com a doença de Alzheimer.

Foram revistos na literatura cientifica nos últimos 20 anos, os impactos a saúde do sono causadas de forma direta ou indireta por ruídos urbanos. Em vigília, o ruído partir de 55 dB(A) provoca estresse leve, causando dependência e levando a durável desconforto. O estresse degradativo do organismo começa com a exposição a ruido em cerca de 65 dB(A), com desequilíbrio bioquímico, aumentando o risco de infarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose etc.

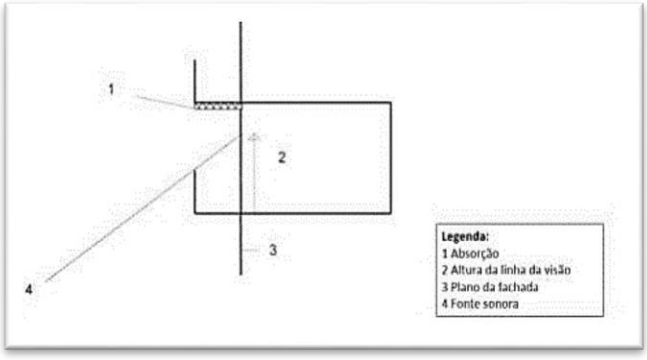
Ruídos em torno de 100 dB(A) podem levar a perda imediata da audição. (PIMENTEL, 1992).

As fachadas podem ser vistas como elementos que formam a relação entre os ambientes internos e externos em uma edificação. Especificamente no caso do ruído urbano. Para Garcia *et al*. (2008) na criação do projeto de uma fachada, com as especificações de elementos e materiais de construção e diferentes formas geométricas apresentadas, pode determinar a qualidade acústica em um ambiente para o desenvolvimento de diversas atividades de forma adequada, visto que o ruido urbano vem crescendo juntamente com a sociedade, o isolamento aos sons aéreos é função direta dos elementos que compõem a fachada, como pilares, janelas paredes, portas etc. Defendido por Patrício *et al*. (2010) antes de analisar o comportamento acústico da fachada de uma edificação, deve-se considerar que cada edifício está inserido especificas realidades, associadas ao contexto urbano de inserção no seu ambiente.

Os materiais utilizados no tratamento de superfícies devem oferecer uma boa eficiência na absorção do som, pois se trata de um elemento externo, que pode influenciar no desempenho acústico global da fachada, não só nas áreas internas, mas também externas a edificação. A Norma europeia EN 12354-3 (EN, 2000) indica que a forma exterior da fachada pode causar efeitos positivos ou negativos no desempenho acústico dos sistemas avaliados. Os pontos positivos estão relacionados a uma maior perda de transmissão sonora, através de elementos que dificultem a difusão do som. O ponto negativo, por consequência, seria a maior transmissão sonora em decorrência das sucessivas reflexões sonoras nas superfícies.

A forma da fachada mostra ter uma série de fatores, descritos na norma EN 12354-3 (EN, 2000), relevantes ao desempenho para a diferença de nível sonoro, como os sistemas que compõem as sacadas, absorção sonora pelo forro da sacada, varandas ou terraços, levando em consideração sua geometria, tipo de fechamento, e também a direção da fonte sonora. Estes fatores estão apresentados na Figura1.

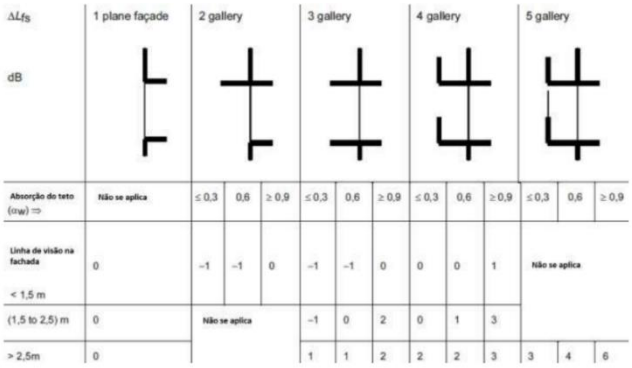
Figura 1 – Parâmetros relevantes para a diferença de nível forma fachada



Fonte: EN 12354-3 (EN, 2000)

Dos vãos, vem a ventilação desejada, mas também o ruído externo (figura 2).

Figura 2 – Valores médios estimados de diferença de nível obtidos conforme forma da fachada.



Fonte: EN 12354-3 (EN, 2000)

As varandas, com portas ou janelas de vidro constituem elementos amplamente utilizados em fachadas de edifícios residenciais. Contudo, são elementos sensíveis à exposição ao ruído aéreo vindo do tráfego de veículos. Desta forma, para que não haja efeitos indesejáveis de reflexão sonora e consequente reverberação como direção das ondas sonoras para as áreas internas das edificações, algumas medidas atenuantes podem ser adotadas: instalação de cortinas pesadas na face externa da abertura da varanda; aumentar a altura do peitoril para reduzir o tamanho da área de transmissão de som livre; aplicação de material fonoabsorvente em sacadas expostas à incidência de som. (HASSAN, 2009)

De acordo com a Norma EN 2000, a utilização de materiais absorventes é especificada por meio do coeficiente de absorção sonora ponderado (αw), que depende do tipo de material e é obtido a partir de ensaios laboratoriais, e exemplifica o potencial de diferença de nível sonoro que pode ser alcançado, e eles dependem da forma da fachada, da absorção dos materiais da sacada, e direção das ondas sonoras. Estes exemplos de diferença de nível devido à forma da fachada ΔLfs são apresentados na Figura 2. A predominância de arranjo de sacada em edifícios no Brasil é indicado como tipo 4, estima-se que a maior redução dos níveis sonoros decorrentes do uso de materiais fonoabsorventes no teto seja de, no máximo, 3 dB.

Sabe-se que o nível de isolamento acústico residencial interno depende de três componentes principais: a fachada, que servirá de proteção para o ruído externo, sendo a vedação das aberturas o aspecto mais importante para o desempenho; as vedações horizontais, que, no caso das lajes nos apartamentos residenciais, atenua o ruído de impacto, usualmente produzido por vizinhos de andares superiores e inferiores; e, por fim, as paredes de vedação, que irão isolar o ruído advindo de um cômodo a outro e de edificações vizinhas e/ou do exterior.

Portanto o objetivo geral do trabalho foi analisar a influência da arquitetura de fachadas e as disposições de suas peças e dos materiais utilizados e, ao seu redor ou no ambiente em de medição, tomando medidas com decibelímetro em edifícios residenciais situados na região do Alameda das Rosas de Goiânia/GO, resultando na relação do desempenho acústico perceptível nas áreas de convivência do condomínio e no exterior dos pavimentos utilizados, relacionando-os com o projeto arquitetônico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Ruído Urbano*

O ruído como agente da poluição sonora afeta o conforto dos seres humanos sendo catalisador de várias doenças, segundo Melo e Andrade (2019). Fisicamente falando, o ruído é a mistura de sons ou tons de grande complexibilidade, resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de várias fontes, sempre com espectro de confusa composição de harmônicas sem qualquer classificação ou ordem de composição. Predominantemente de banda larga (de frequências), é qualquer sensação sonora considerada indesejável (PFEIFFER *et al.*, 2007).

Decorrente de várias fontes emissoras de ruído, como atividades comerciais, atividades industriais, edifícios civis, escolas e tráfego de veículos, sendo este último o mais prejudicial e o mais difícil de controlar como fonte de poluição sonora Suriano *et al.*, (2015). De acordo com Ning *et al.* (2019), um dos principais entraves ao desenvolvimento sustentável da indústria da construção civil, é a poluição sonora causada por suas atividades.

Nas últimas décadas os ruídos se transformaram em uma das formas de poluição que afeta a maior quantidade de pessoas, e a partir de 1989, a OMS - Organização Mundial da Saúde, passou a tratar o ruído como problema de saúde pública (WHO, 2009).

Figura 3 – Escala Decibéis (na legenda: baixo volume, moderado alto, extremamente alto e doloroso)

Fonte: VECTORSTOCK (2021)

O ouvido humano é capaz de suportar sons dentro de uma faixa de 0 a 90 dB NPS. Acima disto, os sons se tornam desconfortáveis e dolorosos, podendo ser lesivos e destrutivos ao se aproximarem de 130 dB NPS. A Perda Auditiva Induzida por Ruído (PAIR) é a perda provocada pela exposição por tempo prolongado ao ruído, é consequência de uma lesão em nível de receptores sensoriais, isto é, uma lesão do ouvido interno, em alguns casos, podendo afetar toda a estrutura do mesmo. É uma perda auditiva irreversível, progredindo com o tempo de exposição ao ruído, tendo como característica básica uma alteração primária nos limiares entre 3000 e 6000 Hz (PFEIFFER *et al.*, 2007).

Sendo um dos principais agentes físicos presentes em diversos tipos de atividades profissionais, por sua enorme ocorrência e sabendo que gera efeitos consideráveis à saúde, o ruído torna-se um dos maiores focos de atenção por parte dos higienistas e profissionais da segurança e saúde do trabalhador. (PFEIFFER *et al.*, 2007 apud SATALOFF *et al*, 1987).

Tabela 1 – Grandezas e Métodos de Medição

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório.
$D_{nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes, etc.).
$D_{2m,nT,w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 m de distância da fachada/cobertura	ISO 140-5 ISO 717-1	Vedação externa, em edifícios.
$L'_{nT,w}$	Nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado	ISO 140-7 ISO 717-2	Pisos e coberturas de uso coletivo, em edifícios.

Fonte: VITTORINO (2013)

2.2 *Ruído de impacto*

Referenciado pela norma como L'nTw, essa é a unidade/forma de medida de ruído de impacto.

As soluções estruturais para evitar esse tipo de problema sugerem uma camada estrutural que torne o piso flexível, fonoabsorvetes às ondas dos ruídos, como pisos flexíveis tipo carpete ou contrapisos, em condomínios e apartamentos.

O índice aceitável pela NBR15575 é de L'nTw equivalente a 80 dB. A referência de desempenho intermediário é de 65 dB e o superior é de 55 dB. Esses valores impactam principalmente os imóveis populares, que geralmente possuem lajes de até (ou menos que) 8 cm, sem contrapiso flutuante. Como tentativa de melhorar o desempenho acústico, as regras atuais devem exigir aumento significativo na espessura das lajes, chegando ao mínimo, assim como outras ações estruturais e arquitetônicas, que visem o melhor desempenho acústico.

Segundo a NBR15575 de 2013, os valores para ruídos de impacto são: mínimo obrigatório na faixa de 66 a 80 dB, intermediário na faixa de 56 a 65 dB e superior na faixa abaixo de 55 dB.

2.3 *Ruído aéreo*

Como sugerido pelo nome, este ruido está relacionado aos sons propagados pelo ar, e deste meio, transmitido para as lajes e paredes. Podemos ver exemplo disso nos sons da televisão, musica conversa entre outros.

A norma utilizou-se do DnTw para fazer relação aos níveis de ruido aéreo, índice de redução sonora ponderado. Esse valor é medido em relação ao tipo de uso das áreas acima e abaixo do ambiente avaliado, para áreas comuns, o valor deve ser de 45 dB, ressaltando que para essa unidade, para melhor o desempenho acústico, maior o índice.

Esse tipo de ruído é controlado por meio de uma cama absorvente, *drywall*, instalada nas camadas do forro e da laje.

A NBR 155575:2013 estabelece os valores de referência para ruídos aéreos nas seguintes faixas: mínimo obrigatório na faixa de 45 a 49 dB, intermediário na faixa de 50 a 54 dB e superior na faixa acima de 55 dB.

Quadro 1 – Parâmetros acústicos de verificação

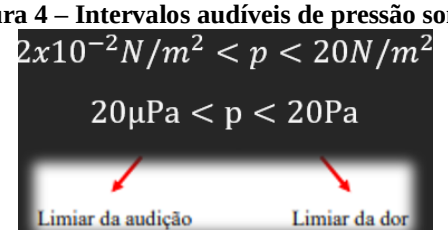
Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de Redução Sonora Ponderado	ISO 10140 ISO 717-1	Determina a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta,etc) valores de referência de cálculo para projetos
$D_{nT, w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Estabelecem, em campo, de modo rigoroso, o isolamento sonoro de vedações verticais e horizontais internas (paredes, etc)
$D_{2m, nT, w}$	Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fixam, em campo, de forma rigorosa, o isolamento sonoro global da vedação externa e o comportamento acústico do sistema Como por exemplo: conjunto fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada nos edifícios multipiso.

Fonte: NBR 1557 (2013)

Para uma melhor compreensão, se faz necessária a apresentação de alguns termos da acústica:

- Pressão sonora: É a pressão que atinge o tímpano causada por ondas mecânicas através de movimento de oscilação das moléculas do ar. A pressão sonora é dada em Pascal (Pa), e a faixa de pressão sonora audível é dada pelos intervalos que seguem na Figura:

Figura 4 – Intervalos audíveis de pressão sonora



Fonte: FAUUSP (2021)

Altura e Intensidade Sonora: A altura nos permite diferenciar os sons agudos dos sons graves: o som alto é um som agudo e o som baixo é um som grave. O fator que determina a altura do som é a frequência da onda, sendo os sons graves aqueles que possuem baixa frequência, e os sons agudos ou altos, são aqueles que suas ondas estão com a frequência de vibração alta. A intensidade sonora está associada àquilo que nós chamamos de volume. A diferença entre um som intenso e um som fraco vem da amplitude de vibração da onda. Quanto maior a amplitude da onda, maior a pressão que a onda irá exercer no ar.

A Intensidade Sonora é calculada utilizando a seguinte equação:

$$I = \frac{P_{fonte}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Onde:

Pfonte = potência da fonte sonora que gerou o som

r = distância da fonte até o ponto em que deseja saber a intensidade sonora

As unidades de medidas no SI são:

[I]=W/m2

[Pfonte]=W

[r] = m

• Nível de intensidade sonora: É a medida da percepção auditiva do ser humano. O nível de intensidade sonora é determinado pela seguinte equação:

$$N = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Onde:

N = Nível de Intensidade Sonora

I = Intensidade do som em questão

I0 = Intensidade do som de referência = 10-12 W/m2

A unidade de medida no SI é o bel, cujo símbolo é um B ou β. No entanto, no cotidiano é mais comum utilizarmos uma sub unidade do bel, o dB (decibel) que é o mesmo que 10-1 B. Na equação acima, a unidade de N já é dB, pois a conversão de unidade já está embutida na equação.

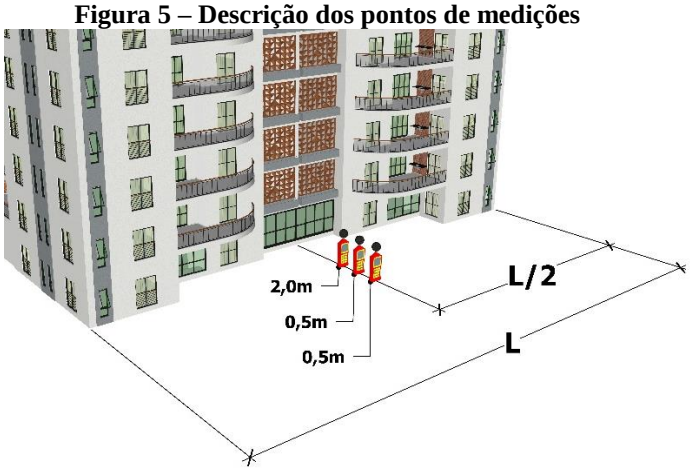
3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no em edificações do bairro Setor Oeste da cidade de Goiânia/GO, nos edifícios denominados de Solar Das Varandas, neste trabalho chamado de "Solar", com características de disposição arquitetônicas das fachadas e das áreas comuns bem distintas (do seu par utilizado no trabalho), como formas geométricas onduladas com predominância em alvenaria, e, o edifício Michelangelo que neste será chamado de "Michel" com maior utilização de vidros, ângulos retos em formas geométricas claras, e saliências fundas com predominância de materiais que são descritos como associados ao efeito de "concha acústica" (notadamente pelos vidros e metais no caso). Em ambos os edifícios, a quantidade de apartamentos, metragem total, metragem das áreas de lazer são semelhantes, e, as características de interesse para o trabalho, principalmente as características arquitetônicas, foram avaliadas visualmente, e sempre que possível utilizados os espaços mais parecidos ou semelhantes em características gerais, presando pela diferença arquitetônica das peças no local de medição. A fachada frontal das edificações contém sacadas e formas geométricas interessantes para a análises acústicas, e nas áreas de lazer existem várias composições de materiais e acessórias de utilização para os moradores, que também podem associar-se aos perfis arquitetônicos e interferir na ruidosidade do local.

Conforme metodologia de PREIRA (2007) descrita a seguir, na qual as medições foram realizadas seguindo conformidades descritas pela norma ISO 16283-3, sendo que este foi escolhidos pontos de interesse no eixo central da em frente ao objeto de estudo, que neste caso se trata da fachada dos edifícios, e as aferições foram feitas em um ponto na área externa "A" (na calçada) e outro ponto "B" na área interna do condomínio dos prédios (áreas comuns / de lazer), tendo em cada ponto de aferição um total de 3 distâncias de medição, denominados esses pontos de medição de "inicial" para o ponto a 2m da fachada, o segundo chamado de "-50cm" com distancia de cinquenta centímetros do ponto de inicial, e o terceiro, chamado de "-100cm", sito a cem centímetros do ponto inicial (Figura 5), e que correlacionaram assim a influência da arquitetura e os níveis de pressão sonora, visando conformidade com a metodologia e com a norma ISO 16283-3 (ISO, 2016), que a baseou.

Esses edifícios foram escolhidos para o trabalho pois situam-se em frente ao Parque Alameda das Rosas, que como principal característica tem a sua posição de ligação entre uma área de lazer movimentada, junto ao zoológico de Goiânia, circunvizinha a uma movimentada zona comercial da Avenida Anhanguera, e que por isso é ocupada pelo trânsito de veículos, pessoas e animais, em várias horas do dia, com o tráfego segundo as aferições feitas pelo RADAR DETRAN-GO 2021, possuem fluxo diário de 73.667 veículos para a Av. Assis Chateubriand X Rua 9, 12.941 veículos para o encontro da rua Alameda das Rosas com Avenida R-9, 16.943 veículos para o encontro da rua Alameda das Rosas com Rua R2, e 17.373 veículos para avenida Anhanguera encontro com República do Líbano, todas elas na citada região de estudo.

Figura 5 – Descrição dos pontos de medições



As medições ocorreram entre no dia 06 a 20 de Abril de 2022, das 7 às 9 no período da manhã, tanto nas três distâncias do ponto A para cada edifício (das 7 às 8 hrs) quanto das distâncias do ponto B (das 8 às 9 hrs), sendo que cada local de medição foi monitorado por um período idêntico de até 5 minutos com o aparelho em modo aferição, quando então o equipamento era rapidamente alterado entre a posição ou o local de aferição, de forma que ambos os pontos e todas as distâncias foram medidas no mesmo dia da semana e no mesmo horário, até atingir pelo menos duzentas leituras por ponto por distância medida, sempre nas mesmas condições, com pelo menos três repetições.

Fora utilizado um decibelímetro modelo SLM-25 da marca Gain Express Holding, e as leituras executadas em um eixo posicionado a 2m ± 0,2m partir do plano a ser analisado (Figura 5), com uma distância mínima de 1 m de cada superfície e uma distância de 1,5m ± 0,2m do chão, utilizando um sistema de tripé de apoio, que permitia acurácia do processo. A finalização de cada local e ponto de medição ocorreu com o tempo 200 segundos por etapa, até atingir o total de 200 leituras (uma por segundo), garantindo o tempo mínimo de leitura da reverberação de 6 segundos, seguindo a orientação descrita na ISO 140-5 (ISO, 1998), para assim obter melhor captação dos ruídos, e ainda atender aos metodológicos utilizados.

Os dados coletados foram processados no software do próprio equipamento, planilhados utilizando o MS Excel, e em cada ponto alocado foi calculado o parâmetro avaliativo da NBR 15575

Os dados coletados foram juntados por Edifício, Ponto, e Distância de Medição, e após, os gráficos foram agrupados levando em consideração esses mesmos fatores. Os gráficos de resultados apresentam as medições pontualmente efetuadas, em decibéis no eixo das ordenadas, e os momentos de leitura (ponto que representa um dia e hora específico, com tempo mínimo de absorção e reverberação, chamados de "tempos t=") numericamente apontados em ordem crescente, em segundos, no eixo das abcissas.

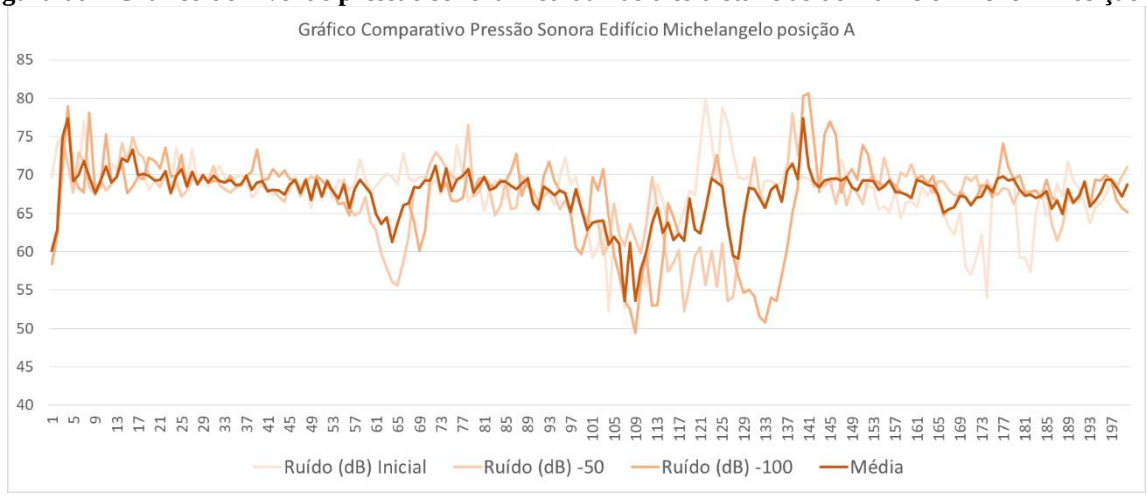
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme as medições efetuadas na posição "A", sendo estas localizadas na calçada das edificações em frente as suas respectivas fachadas, nas distancias previstas na metodologia adotada, se pode observar uma predominância nas medições nas faixas próximas de 70dB em ambos os casos como demonstrado na Figura 6 e Figura 7.

Na leitura no ponto inicial do edifício Michel (Figura 6), vê-se claramente dois momentos de picos de nível de pressão sonora, sendo um próximo do mínimo (50dB) em t=105s a 113s, e novamente em t=173s. Também na mesma leitura temos pontos máximos (80dB) que ocorreram em t=124s, dando a percepção que neste mesmo ponto, para a curva de leitura do edifício Solar que aparentava as mesmas condições do edifício Michel, não teve os picos e permaneceu constante com valores que não expressavam uma mudança significativa (Figura 7). Esse comportamento pode ser justificado pela excessiva presença de vidro e de formas geométricas da arquitetura da fachada externa que acabam se comportando como uma espécie de concha acústica, o que é presente no edifício Michel, interferindo assim na reverberação próxima a edificação, causando uma amplificação dos ruídos provenientes da rua assim visto pelos autores Hassan (2009), também por Garcia *et al.* (2008) e Patrício *et al.* (2010) e também previsto pela norma EN 2000.

Os maiores valores recolhidos na posição "A" da Figura 6 (80dB) se encontram no "ponto inicial" sendo este ponto de medida o mais próximo da fachada, notadamente nos tempos t=117s e t=125s respectivamente, nas medidas efetuadas no edifício Michel, já mesmas condições para as medições recolhidas no edifício Solar, vemos que o comportamento é oposto, pois a curva que expressa os valores maiores dos gráficos, estão presentes no ponto -100 (alcançando 89dB em t=185s), sendo este o ponto aferição o mais próximo da rua (Figura 7), isso provavelmente acontece pois os níveis de reverberação do ruído proveniente da rua e redirecionado da fachada da edificação Solar é inferior ao ruído transmitido pela rua diretamente, comportamento este oposto as edificações estudadas.

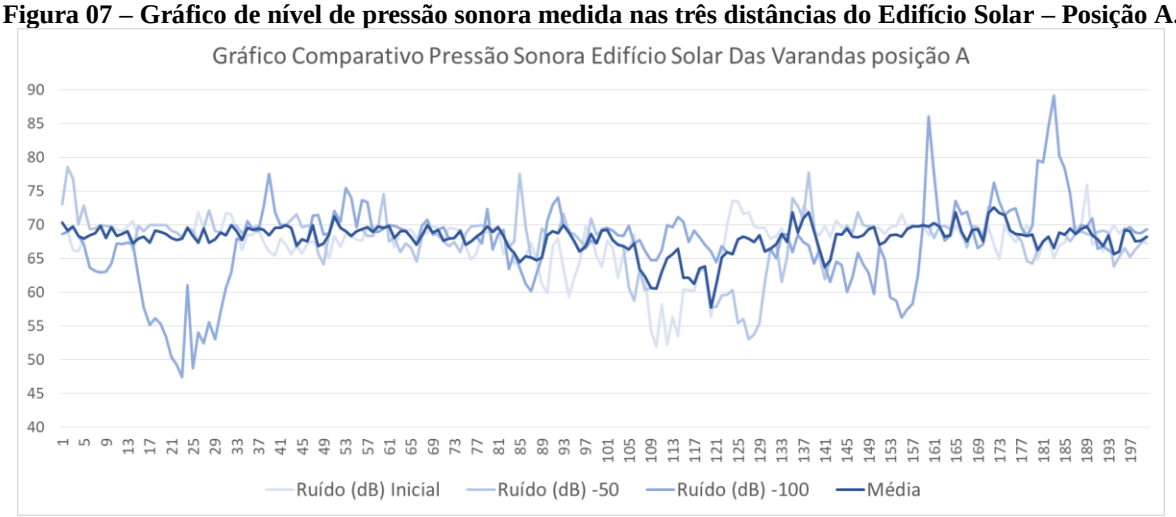
Figura 06 – Gráfico de nível de pressão sonora medida nas três distâncias do Edifício Michel – Posição A.



Comparando a Figura 6 com a Figura 7, nota-se na primeira delas um maior número de picos próximos de 80dB em comparação a Figura 7, denotando que nesta última a presença de picos de pressão (número de ocorrências) sonora é menor, mas ao mesmo tempo possui picos mais elevados (valores totais alcançados nas leituras).

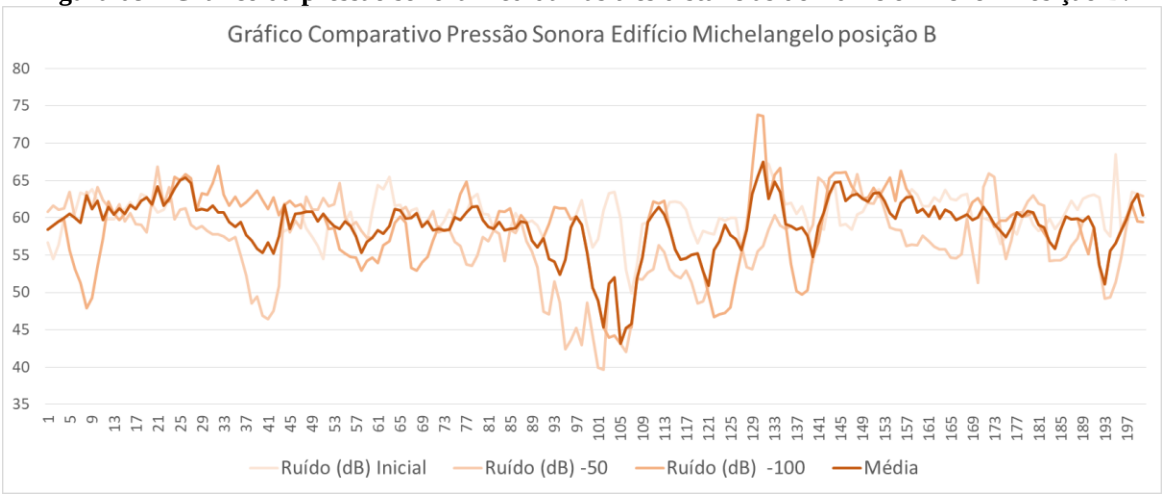
Na Figura 6, medições realizadas no edifício Michel, o gráfico descreve curva com picos mais altos concentrados nas medições mais próximas da edificação, em comparação as medições feitas nas mesmas condições no edifício Solar (Figura 7), novamente em comportamento oposto, no qual os picos mais altos se concentram nas medições mais próximas da rua, provavelmente justificado pelo mesmo cenário dos estudos de Garcia *et al.* (2008) e Patrício *et al.* (2010) que apontam que tipo de materiais e diferentes formas geométricas presentes na edificação interferem nos níveis de ruídos ao redor delas.

Figura 07 – Gráfico de nível de pressão sonora medida nas três distâncias do Edifício Solar – Posição A.



Para as medições presentes na Figura 6, observou-se a presença de oscilação no nível da pressão sonora próxima da faixa de 80dB em todos os pontos medidos, e, no edifício Solar nas mesmas condições (Figura 7), notamos uma oscilação com menor volume de pressão, nos mesmos pontos de medição, e ao mesmo tempo. Quando uma curva apresenta apresentou em -100cm os picos de nível de pressão sonora mais elevados (próximos de 90dB em t=161s e t=185s), o mesmo intervalo apresentava curva de valores inversos na Figura 6. Neste caso para o edifício Solar se pode inferir que pela alta incidência de reverberação sonora na edificação, proveniente de ausência de matérias fonoabsorventes, que da mesma forma como a estudada por Hassan (2009), o nível de pressão sonora se elevou.

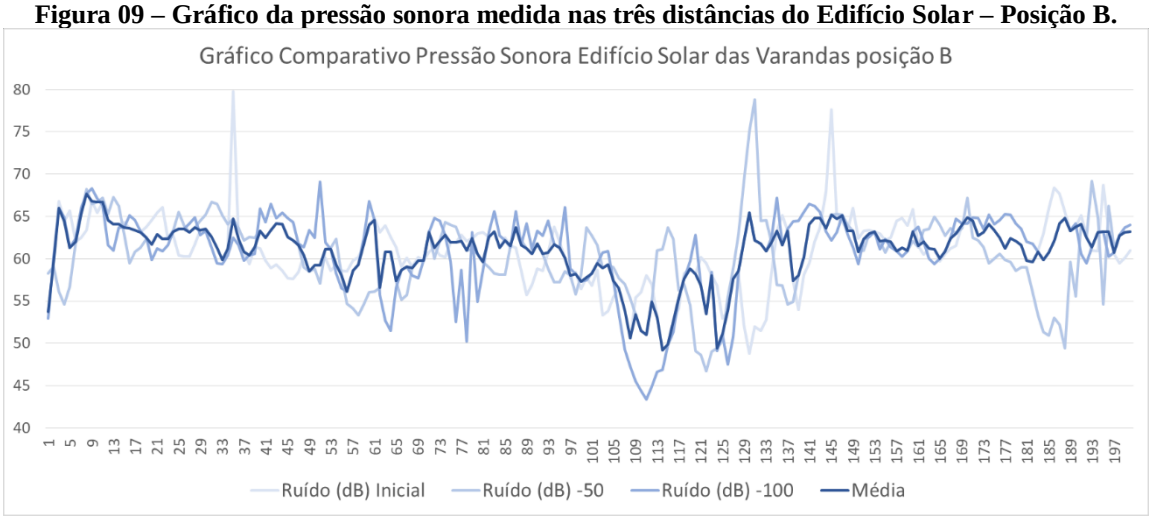
Figura 08 – Gráfico da pressão sonora medida nas três distâncias do Edifício Michel– Posição B.



Pode-se notar que para a aferição feita nos pontos “B”, área comum, do edifício Michel o maior pico de nível de pressão sonora se localiza na distância -100cm, com 75dB na leitura t=133s, sendo este o ponto de medição mais próximo da rua consequentemente mais distante da fachada (Figura 8), em comparação as aferições feitas no edifício Solar, nas mesas condições, o pico de maior nível de pressão sonora, 80dB t=37s, se localiza na distância de medição inicial, sendo este mais próximo da fachada consequentemente mais distante da rua (Figura 9), tendo uma diferença de 5dB entre as duas aferições, semelhante ao justificado por Schiavoni *et al*. (2016) que apontam a importância da argamassa e do concreto na superfície dos sistemas construtivos no tratamento do ruido aéreo, já que no edifício Solar se encontrou muito mais desse tipo de material na superfície da sua fachada, quando em comparação ao seu par de medições.

É possível notar o mesmo padrão de comportamento das comparações feitas das leituras das áreas externas A, com a comparação feita dos pontos de áreas internas B como demonstrado na Figura 8 e Figura 9, no qual maior variação nas leituras de nível de pressão sonora de todos os pontos da Figura 8 (que também possui nível de pressão sonora menor, abaixo de 75dB), quando comparados as medições feitas edifício Solar, Figura 9, nas mesmas condições, que apresentou os maiores picos se aproximando de 80dB, em 3 momentos t=33s, t=129s e t=145s.

Figura 09 – Gráfico da pressão sonora medida nas três distâncias do Edifício Solar – Posição B.



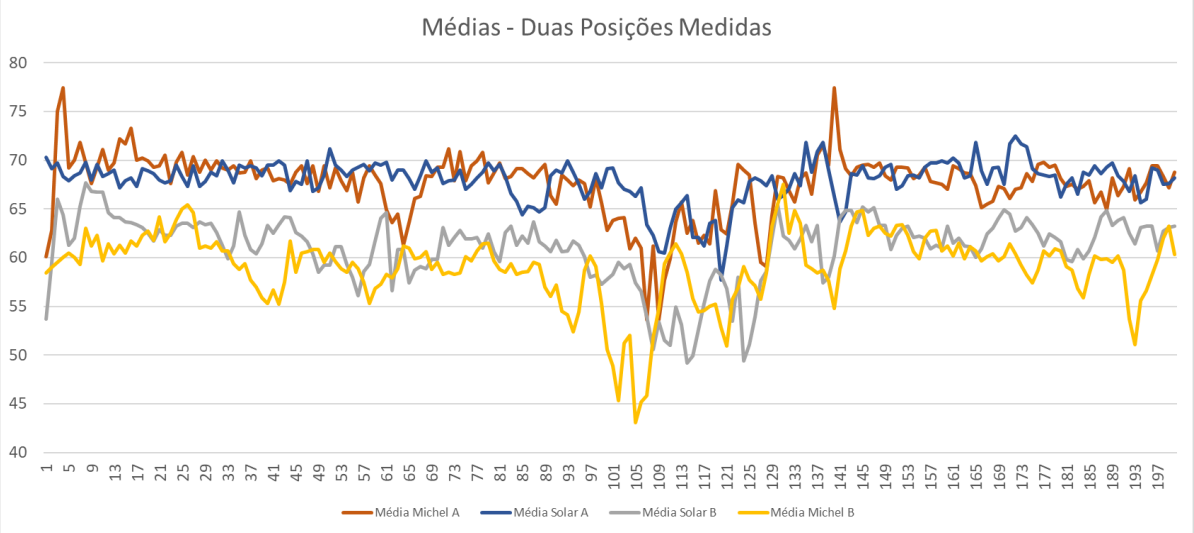
Quando comparadas as médias obtidas do ponto “A” na Figura 10, é possível notar em ambos que os comportamentos das curvas são similares mesmo apresentando níveis diferentes níveis de pressões sonoras, podemos notar também uma diferença de leitura média total, sendo o edifício Solar com 68,2dB

e o Michel 68,4dB. Na mesma Figura, pode-se observar que a média obtida pelo edifício Solar se manteve mais baixa, por toda a leitura, em comparação a média obtida do edifício Michel, sendo esta diferença de 0,2dB tendo em vista que as aferições foram feitas nas mesmas condições.

As médias comparativas na área "B", presente na Figura 10, localizadas nas áreas comuns dos edifícios Michel e Solar, se pode perceber que a curva obtida do edifício Michel teve comportamento pouco inconstante, em vários momentos oscilando de picos de nível de pressão sonora mínimos e máximos, se aproximando de 40db em t=105 a até 70dB em t=129s, com a média total em 59,5dB. Já o edifício Solar denotou valores de média inferiores, com curva menos oscilante apresentando picos mínimos em 50dB para momentos próximos a t-113s, e picos máximos de 65dB para t=129s, mantendo a média total em 61,7dB, ficando 2,2dB acima do edifício de comparação. Este comportamento pode ser explicado através do estudo de Patricio (2018) que demonstrou a importância da aplicação de materiais fonoabsorventes no tratamento das superfícies, levando a crer que no edifício Michel, como fora observado durante o estudo um maior número de materiais fonoabsorventes, a exemplo da presença de grandes plantas e arbustos em toda a área comum da edificação, servindo como barreira absorvente. O mesmo não pode ser observado no edifico solar, sendo que este apresentava sua área verde apenas na parte externa frontal, distante da edificação propriamente, fatos aos quais se atribuiu a diferença de pressão.

Durante a maior parte de todas as medições feitas no edifício Solar e Michel, os níveis de ruídos captados ultrapassaram os índices estipulado pela norma ABNT NBR10151, ficando acima de 60 dB por grande parte do processo, e autores como Pfeiffer *et al*. (2007) e Melo e Andrade (2019) apontam que tal exposição, mesmo em ambientes externo, se prolongada a esse nível de ruído, será prejudicial à saúde, podendo servir como agente catalisador de diversas doenças.

Figura 10 – Gráfico de nível de pressão sonora média, em ambos os pontos de medição de ambos edifícios.



Se analisados em conformidade a NBR1557 (por analogia), durante a maior parte do tempo da medição do nível de pressão sonora nos dois edifícios, notadamente aquelas nas posições "A" e "B", a média de 60dB encontrada (medições acima de 40dB) enquadra ambos no que é considerado Classe de Ruído III (Quadro 2), que classificaria pela medição externa a região de habitação, como sujeito a ruído intenso de meios de transporte e outras naturezas. Do ponto de vista da medição tanto externa quanto interna das edificações e analogamente também a EN 12354-3 (EN, 2000), toda a área externa e interna onde foram feitas as aferições são consideradas "extremamente ruidosa" e prejudicial à saúde, principalmente quando sujeito a longas exposições de um indivíduo ao nível apresentado, assim considerando também as habitações como "sujeitas a ruído", e que mais ainda, demandaria uma redução de 33% do ruído para que o mesmo se enquadre nos limites aceitáveis.

Quadro 2 – Isolamento – vedação vertical externa

Classe de Ruído	Localização da habitação	$D_{2m, nT, w}$ dB	R_w * dB	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 20 ≥ 25 ≥ 30	≥ 25 ≥ 30 ≥ 35	M I S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II	≥ 25 ≥ 30 ≥ 35	≥ 30 ≥ 35 ≥ 40	M I S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30 ≥ 35 ≥ 40	≥ 35 ≥ 40 ≥ 45	M I S
*Rw com valores aproximados.				

Fonte: adaptado de NBR 1557 (2013)

Para que o tratamento dos novos materiais de absorção acústica na faixada tenha eficiência adequada, é necessário que a superfície tenha a capacidade de absorver o som nas bandas de frequência predominantes do som incidente sobre essas, no caso deste estudo o ruído do trânsito, que possuindo uma predominância de frequência espectral grave em média de 125Hz até 4000Hz (frequências baixas a médias), deveriam ser selecionados materiais com eficiência fonoabsorvente nestas referidas faixas de frequência.

Os materiais porosos e fibrosos apresentam, tipicamente, coeficientes de absorção sonora satisfatórios nas bandas de média e alta frequência, possuindo uma deficiência nas bandas de baixa frequência, necessitando de adoção de um recurso mais eficiente, através da composição entre materiais absorventes e volume de ar. Desta forma, obtém-se o efeito da ressonância, por meio de painéis lisos ou perfurados, aumentando a absorção do sistema em baixas frequências. Um painel sólido, não perfurado, instalado sobre um suporte rígido com uma câmara de ar, tem o comportamento de uma membrana para a absorção sonora. A energia incidente nesse painel é dissipada por amortecimento, devido à rigidez do meio, dada pela espessura da câmara de ar (PATRÍCIO, 2006).

Com a escolha mais cautelosa do uso dos materiais nas fachadas, junto com superfícies mais irregulares e evitar formas de "concha acústica" pode contribuir para um ambiente menos ruidoso tanto para as áreas internas das residências quanto para o exterior, trazendo um benefício não só para os moradores, mas também para toda a região, diminuindo assim todos os impactos decorrente da exposição de ruídos prolongados. Pimentel (1992) aponta que a mais de 20 anos vem sendo estudado na literatura científica os impactos a saúde causadas de forma direta ou indireta por ruídos urbanos. Em vigília, o ruído partir de 55 dB(A) provoca estresse leve, causando dependência e levando a durável desconforto. O estresse degradativo do organismo começa com a exposição a ruido em cerca de 65 dB(A), com desequilíbrio bioquímico, aumentando o risco de infarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose etc. Ruídos em torno de 100 dB(A) podem levar a perda imediata da audição.

Além de malefícios a saúde, o ruído de tráfego pode influenciar os preços de empreendimentos imobiliários, como estudou Melo *et al*. (2019) apud Szczepanska *et al*. (2015), que concluíram que a poluição sonora é uma determinante na valorização ou desvalorização do imóvel. Já de acordo com Melo *et al*. (2019) apud Ottoz *et al*. (2018), as cidades europeias foram afetadas por um tipo específico de poluição sonora advinda de atividades recreativas, em geral, no período noturno nos centros das cidades.

Portanto, expostas essas razões, o presente trabalho se justifica na relevância que o tema apresenta para o conforto do usuário não só nos ambientes internos, mas em todos os ambientes no qual possa ser frequentado por longos períodos, como escolas, escritórios, hospitais, ou até longas rotas na qual ficamos expostos a longos períodos de ruídos de trafego, que pode impactar na qualidade de vida, causado pelo ruído excessivo, sendo este assunto recorrente na Norma

Brasileira de Desempenho ABNT.NBR 15.575 (ABNT, 2013) que propõe os métodos necessários para a avaliação acústica de edifícios e suas normas de homologação para garantir o maior conforto ao usuário. (ANDRADE, 2009)

5 CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia aplicada, e no contexto exposto no artigo, se pode concluir que:

O edifício Michel com arquitetura de disposições e formas geométricas mais retas, maior presença de vidro em relação ao edifício comparado, possuindo média de nível de pressão sonora de 68,2dB (0,2dB menor que comparado ao edifício Solar), em suas respectivas áreas externas. Sabendo que o edifício Michel apresentou vários momentos de medição de nível de pressão sonora acima de 70dB, valor este apontado por diversos autores no decorrer deste trabalho e pela a NBR15575, prejudicial à saúde, é possível concluir que o edifício Michel é mais ruidoso que o Solar em suas áreas externas.

O edifício Solar com média de nível de pressão sonora em 61,7dB, mostrou-se mais ruidoso em comparação ao Michel que obteve média igual 59,5dB nas aferições de áreas internas. Concluindo que diferença se deu pela maior presença de plantas, material fonoabsorventes, ao longo de toda área comum do edifício Michel, apontando a importância da aplicação da mesma para obtenção de um ambiente menos ruidoso.

As aferições de nível de pressão sonora feitas nas áreas internas e externas dos edifícios Solar deu diferença de 6,7dB enquanto na mesma situação comparativa o edifício Michel deu uma diferença de 8,7dB, concluindo assim uma diferença notável nos dois edifícios de nível de ruido das áreas internas para externas.

Os dois edifícios foram considerados Classe III, ruído intenso, analogamente à ABNT NBR1557.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MELO, M. G. M. A.; ANDRADE, F. K. G. Desempenho acústico de fachadas: métodos de simulação e ensaios de campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2019, Uberlândia. Anais... Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 1183-1194.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013. Coletânea.

AUGER, Nathalie *et al*. Environmental noise pollution and risk of preeclampsia. Environmental pollution, v. 239, p. 599-606, 2018.

EN – European Standard. EN 12354-3. Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the the performance of elements - Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound, 2000.

GARCIA, Danielly Borges; DE MENDONÇA VECCI, Marco Antônio; RODRIGUES, Francisco Carlos. Avaliação do isolamento sonoro aéreo de elementos de vedação na construção civil. Ambiente Construído, v. 8, n. 1, p. 49-63, 2008.

HASSAN, O A B. Building Acoustics and Vibration: Theory and Practice. London: World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2009. 947 p.

ISO, E. N. 16283-3 Acoustics—Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements—Part 3: Façade sound insulation. International Organization for Standardization, 2016.

JAFARI, Zahra; KOLB, Bryan E.; MOHAJERANI, Majid H. Noise exposure accelerates the risk of cognitive impairment and Alzheimer's disease: Adulthood, gestational, and prenatal mechanistic evidence from animal studies. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, v. 117, p. 110-128, 2020.

NING, Xin et al. Reducing noise pollution by planning construction site layout via a multi-objective optimization model. Journal of cleaner production, v. 222, p. 218-230, 2019.

OTTOZ, Elisabetta; RIZZI, Lorenzo; NASTASI, Francesco. Recreational noise in Turin and Milan: impact and costs of movida for disturbed residents. In: 22nd International Congress on Sound and Vibration 2015 (ICSV 22). Curran Associates, Inc., 2015. p. 1972-1980.

ISO. Organization for Standardization ISO 140, part 5: Acoustics — measurement of sound insulation in buildings and of building elements — part 5: Field measurement of airborne sound insulation of façade element and façades, International, 1998.

PATRÍCIO, J. V. Acústica nos edifícios. 6. ed. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2010.

PATRÍCIO, J. V. Acústica nos edifícios. 7 ed. Porto: Pubindústria, Edições Técnicas, 2018.

PEREIRA, Márcio de Campos *et al*. INFLUÊNCIA DAS SACADAS NO DESEMPENHO ACÚSTICO DE FACHADAS, 2007.

PFEIFFER, Marcela *et al*. Intercorrência audiológica em músicas após um show de rock. Revista CEFAC, v. 9, p. 423-429, 2007.

PIMENTEL-SOUZA, Fernando. Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral-ênfase urbana. Revista Brasileira de Acústica e Vibrações, v. 10, p. 12-22, 1992.

SCHIAVONI, Samuel *et al*. Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 62, p. 988-1011, 2016.

SURIANO, Marcia Thais; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; SILVA, Antonio Nelson Rodrigues da. Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. Ciência & Saúde Coletiva, v. 20, p. 2201-2210, 2015.

VAN KEMPEN, Elise; BABISCH, Wolfgang. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis. Journal of hypertension, v. 30, n. 6, p. 1075-1086, 2012.

VECTORSTOCK. Gráfico de nível de som de escala de decibéis. br.freepik.com,2021. Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/grafico-de-nivel-de-som-de-escala-de-decibeis_4179687.htm

VITTORINO, Fulvio. Requisitos de Conforto Acústico, Desempenho Acústico e as Experiências de ensaios de laboratório e campo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2013.

WHO, Europe. Night noise guidelines for Europe. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen, 2009.