



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TIAGO RAMOS PLUTARCO LIMA

**INFLUÊNCIA DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM EDIFICAÇÃO NA AV. ANTÔNIO
SALES**

FORTALEZA-CE

2021

TIAGO RAMOS PLUTARCO LIMA

**INFLUÊNCIA DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM EDIFICAÇÃO NA AV. ANTÔNIO
SALES**

Trabalho de Conclusão de curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Renan Cid Varela
Leite

FORTALEZA-CE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L711i Lima, Tiago Ramos Plutarco.

Influência do ruído de tráfego em edificação na Av. Antônio Sales / Tiago Ramos
Plutarco Lima. – 2021.

79 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite.

1. Ruído de tráfego. 2. Ruído urbano. 3. Isolamento acústico. I. Título.

CDD 620

TIAGO RAMOS PLUTARCO LIMA

**INFLUÊNCIA DO RUÍDO DE TRÁFEGO EM EDIFICAÇÕES NA AV. ANTÔNIO
SALES**

Trabalho de Conclusão de curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Renan Cid Varela
Leite

Aprovada em: 08/04/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Arq. Bruno de Paiva y Raviolo

Dedico o presente trabalho a todos que contribuíram para sua escrita e aos profissionais que dedicam suas vidas a divulgar e ensinar a ciência.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Renan Cid Varela Leite, por toda tranquilidade e sabedoria na orientação do presente trabalho, além do acolhimento desde o início do nosso contato. Agradeço também por todas as oportunidades e aprendizagens, ensinamentos não só para essa monografia mas para a vida.

Ao Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho, e ao Prof. Adeildo Cabral da Silva, por cederem os aparelhos que tornaram esse trabalho viável, sendo sempre tão solícitos e atenciosos.

Agradeço aos meus pais, Antonio Plutarco Lima Filho e Solange Ramos Plutarco Lima, por todo carinho e amor durante toda essa jornada, pelo incentivo e apoio durante toda graduação, sobretudo por sempre acreditarem em mim.

Aos meus irmãos, Mateus Ramos Plutarco Lima e Mariana Ramos Plutarco Lima, por me auxiliarem de todas as formas, e me aturarem nos momentos difíceis, e sempre estenderem a mão quando precisei.

Agradeço aos meus amigos de colégio, por todo apoio que sempre me deram, por todas as conquistas que celebramos juntos, e por todo caminho que trilhamos, sempre dando apoio e auxiliando nos momentos difíceis, em especial ao Alexandre Benício, Tiago Nocrato, Pedro Célio.

Agradeço a minha namorada Gabriela Frota de Paula Pessoa, por todo o apoio emocional e incentivo durante todo esse processo, que de fato foi fundamental para a construção dessa monografia.

Aos meus colegas de faculdade, que partilharam lado a lado essa caminhada árdua, são pessoas maravilhosas a quem tenho um apreço sem igual, que me ensinaram lições importantíssimas, e fizeram parte da construção de quem sou, e do profissional que me tornei, em especial a Lucas Farias, Renan Melo, Pedro Levi, Gabriel Donnantuoni, Luciana Valente, Felipe Silveira, Gabriel Correia, Luís Neto e Carlos Mateus, Beatriz Fonteles.

Agradeço ao PACCE, por ter me inserido dentro da Universidade de maneira mais intensa, podendo conhecer realidades completamente diferentes da minha, me dando um crescimento pessoal sem igual, além de proporcionar conhecer pessoas incríveis, em especial a minha grande amiga Ester Freitas.

Sou imensamente grato a Consultec Jr., que me proporcionou experiências incríveis dentro da graduação, me mostrando habilidades que eu não sabia que

possuía, e me permitindo conhecer pessoas as quais amo verdadeiramente, entre elas gostaria de destacar Leticia Melo, Brena Agostinho, Lígia Fonteles, Adauto Neto, Jean Lopes, Carlos Nelton, Barbara Ponte, Patrícia Angelim e Camilla Nogueira.

E finalmente, a todos que contribuíram profissionalmente dessa jornada, nas experiências de estagio que tive, por terem me ensinando tanto, e me mostrado habilidade técnicas e interpessoais indispensáveis para a profissão, em especial gostaria de agradecer a Engenheira Maria Ailza, a Arquiteta Daniela Valente, e o Pintor Uilson Pereira.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei
no ombro de gigantes”. – Isaac Newton.

RESUMO

O desenvolvimento dos núcleos urbanos se deram de maneira mais intensiva nos intermédios das rodovias construídas nas décadas de 60 e 70, gerando uma estrutura urbana que cresce lado a lado com o crescimento do tráfego rodoviário. Tal problemática, deu início a um questão bastante recorrente nas grandes capitais brasileiras, no que diz respeito a edificações as margens de grandes avenidas, as quais são submetidas a níveis de ruído rodoviário incompatíveis com as tarefas de descanso e lazer. Dessa forma, o presente estudo faz uma análise da exposição ao ruído de tráfego em uma edificação as margens da Avenida Antônio Sales, Fortaleza-CE. Através de uma pesquisa exploratória, foram feitas medições ao longo de 5 dias consecutivos, entre 7:00 e 19:00 horas. Verificou-se, que os níveis de ruído equivalente aferidos, quando medidos com a esquadria do local aberta, se aproximavam ao limite normatizado, e vieram a ultrapassá-lo em algumas ocasiões. No entanto, ao realizar o mesmo procedimento com as esquadrias fechadas, em nenhuma medição os limites foram ultrapassados. Além disso, foi possível verificar o desempenho de algoritmos de simulação para ruído rodoviário, no entanto, esses não foram representativos quando comparados ao valores medidos dentro da edificação. Portanto, foi possível constatar a importância do desempenho acústico de esquadria e do sistema de fachadas como um todo.

Palavras-chave: Ruído de Tráfego. Ruído Urbano. Isolamento acústico.

ABSTRACT

The development of urban centers took place more intensively in between the highways built in the 60s and 70s, generating an urban structure that grows side by side with the growth of road traffic. This problem has given rise to a recurring issue in the large Brazilian capitals, regarding the buildings on the edges of major avenues, which are subjected to levels of road noise incompatible with the tasks of rest and leisure. Thus, this study analyzes the exposure to traffic noise in a building on the margins of Avenida Antonio Sales, Fortaleza-CE. Through an exploratory research, measurements were made over 5 consecutive days, during daytime hours, between 7:00 am and 7:00 pm. It was verified that the equivalent noise levels measured, when measured with the windows and doors open, were close to the normed limit, and exceeded it in some occasions. However, when performing the same procedure with the windows closed, the limits were not exceeded in any measurement. In addition, it was possible to verify the performance of simulation algorithms for road noise, however, these were not representative when compared to the values measured inside the buildings. Therefore, it was possible to verify the importance of the acoustic performance of frames and the façade system as a whole.

Keywords: Traffic noise. Urban noise. Acoustic Insulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação gráfica de uma onda sonora.....	19
Figura 2 - Período e frequência	19
Figura 3 – Comprimento de Onda (λ)	20
Figura 4 - Curvas de Fletcher e Munson	22
Figura 5 - Função de transferência dos filtros ponderadores	23
Figura 6 - Barreira acústica na Linha Vermelha no Rio de Janeiro.....	27
Figura 7 - Barreira acústica em rodovia no Chile.....	27
Figura 8 - Parâmetros viários para equações de simulação.....	29
Figura 9 - Reflexão em um anteparo simples	30
Figura 10 - Reflexão sonora com espelhos acústicos horizontais	31
Figura 11 - Reflexão sonora com espelhos acústicos verticais.....	31
Figura 12 - Reflexão sonora em cânions urbano	32
Figura 13 - Difração sonora	33
Figura 14 - Balanço energético do som que incide em uma superfície.	34
Figura 15 – Lã de rocha.....	35
Figura 16- Espuma absorvedora	35
Figura 17 - Curvas NC.....	38
Figura 18 - Extensão da Av. Antônio Sales – Fortaleza-CE	39
Figura 19 - Avenida Antônio Sales, 1453.....	40
Figura 20 - Avenida Antônio Sales, 2485.....	41
Figura 21 - Avenida Antônio Sales, 2849.....	41
Figura 22 - Edifício Tichana	42
Figura 23 – Brinquedoteca	43
Figura 24 - Decibelímetros utilizados para medição	45
Figura 25 - Posicionamento dos decibelímetros nos procedimentos de medição ...	47
Figura 26 - Edifício Tichana Medição no pavimento térreo	48
Figura 27 - Edifício Tichana medição no 5º pavimento	49
Figura 28 - Detalhe do ressecamento da borracha de vedação na esquadria da brinquedoteca.....	52
Figura 29 - Detalhe do desgaste do material empregado na esquadria da brinquedoteca.....	53

Figura 30 - Substituição das borrachas de vedação para esquadrias de alumínio...	67
Figura 31 - Sistema de cortina dupla	68
Figura 32 - Reflexões sonoras do ruído externo.....	69
Figura 33 - Aplicação de soluções acústicas para atenuação de ruído	69
Figura 34 - Layout de para instalação de espumas acústicas na laje superior.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Nível de ruído equivalente no período da manhã com esquadria aberta.	62
Gráfico 2 - Nível de ruído equivalente no período da tarde com esquadria aberta ...	62
Gráfico 3 - Nível de ruído equivalente no período da noite com esquadria aberta	63
Gráfico 4 - Ruído equivalente medições com esquadria fechada	64
Gráfico 5 - Comparação entre resultados das simulações	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cv correção devido á velocidade dos veículos (dB(A))	29
Tabela 2 - C% correção devido à % veículos pesados (dB(A))	29
Tabela 3 - Ci correção devido á inclinação da via em % (dB(A)).....	29
Tabela 4 – Dados de tráfego da Av. Antônio Sales	46
Tabela 5 - Esquema de medição dia 04/03/2021	50
Tabela 6 - Resultado da medição do dia 04/03/2021	51
Tabela 7 - Esquema de medição dia 05/03/2021	55
Tabela 8 - Resultados da medição do dia 05/03/2021.....	55
Tabela 9 - Esquema de medição dia 06/03/2021 e 07/03/2021	56
Tabela 10 - Resultado das medições dos dias 06/03/2021 e 07/03/2021	56
Tabela 11 - Esquema de medição dia 08/03/2021.....	58
Tabela 12 - Resultado da medição do dia 08/03/2021	59
Tabela 13 - Resultado das medições realizadas com esquadria aberta	61
Tabela 14 - Resultado das medições realizadas com esquadria fechada	63
Tabela 15 - Simulação utilizando a equação Lam e Tam (1998).	64
Tabela 16 - Simulação utilizando a equação de Josse no pavimento térreo	64
Tabela 17 - Simulação utilizando a equação de Josse no 5º pavimento	65
Tabela 18 - Comparação entre valores simulados e medidos em campo no pavimento térreo	65
Tabela 19 - Comparação entre valores simulados e medidos em campo no 5º pavimento.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMC	Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
OMS	Organização Mundial de Saúde

LISTA DE SÍMBOLOS

C	-	Velocidade do Som
dB	-	Decibel
dB (A)	-	Decibel com ponderação "A"
f	-	Frequência
Hz	-	Hertz
LAeq	-	Nível de pressão sonora equivalente ponderado em dB(A)
LAmáx	-	Nível de pressão sonora máximo
LAmín	-	Nível de pressão sonora mínimo
LW	-	Nível de potência sonora
P	-	Pressão acústica compreendida no intervalo das frequências audíveis sem nenhuma ponderação
Pa	-	Pascal
PA (t)	-	Pressão sonora instantânea do sinal sonoro, ponderada em A.
Rw	-	Índice de redução sonora
λ	-	Comprimento de onda

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	17
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Som	18
2.2. Onda sonora	18
2.3. Frequência e Período	19
2.4. Velocidade de Propagação do Som	19
2.5. Comprimento de Onda	20
2.6. Intensidade sonora	20
2.7. Ruído	22
2.7.1. <i>Ponderação em frequência</i>	22
2.7.2. <i>Limites estabelecidos pelas NBR 10151 e 10152</i>	23
2.7.3. <i>Nível de ruído equivalente (L_{Aeq})</i>	24
2.7.4. <i>Níveis de ruído estatístico (L_{10}, L_{50}, L_{90})</i>	25
2.7.5. <i>Ruído de Tráfego</i>	25
2.7.6. <i>Simulação de ruído de tráfego</i>	28
2.8. Reflexão do Som	30
2.9. Difração sonora	32
2.10. Absorção sonora	33
2.11. Isolamento Acústico	35
2.11.1. <i>Lei das Massas</i>	36
2.11.2. <i>Classe de transmissão sonora (STC)</i>	37
2.11.3. <i>Avaliação do ruído em ambientes internos</i>	37
3. METODOLOGIA / MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. Objeto de estudo	39
3.1.1. <i>Avenida Antônio Sales</i>	39
3.1.2. <i>Edifício Tichana</i>	42
3.2. Formação da Amostra	44
3.3. Procedimento de medição	44
3.3.1. <i>Medição de grandezas acústicas</i>	44

3.3.2. Medição de grandezas de tráfego	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1. 1º dia de medição	47
4.2. 2º dia de medição	54
3º e 4º dias de medições	56
4.4. 5º dia de medição	58
4.5. Avaliação de ruído equivalente	59
4.6. Simulações	64
4.7. Alternativas para atenuação do nível de ruído	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO.

A era moderna trouxe consigo diversos adventos que facilitaram muito a vida do ser humano. É inegável o processo de evolução, principalmente, tecnológico desde o século XX. No entanto, cada vez mais, ocorre o aumento do ruído dentro dos centros urbanos, acentuando assim, a problemática da poluição sonora. Atividades como transporte, indústrias, construção civil, atividades de lazer, comércio e escolas dão origem a uma combinação de fontes sonoras que resultam nessa poluição. Além disso, o ruído de tráfego se apresenta como principal causador desse problema, principalmente associado ao crescimento da frota de veículos e a ausência de planejamento territorial. (SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

Segundo Del Carlo (1979, apud KAWAKITA, 2008), a grande concentração populacional e de produção, exigiu o aumento da malha viária e meios de transporte mais rápidos, que transportassem maiores cargas, dessa forma criando ruídos incompatíveis com as tarefas de descanso e lazer.

Conforme DNIT (2006), no Brasil, o desenvolvimento dos núcleos urbanos se deu de forma mais intensiva nos intermédios de rodovias construídas nas décadas de 60 e 70, gerando uma estrutura urbana que se consolidou com o passar das décadas, competindo lado a lado com o crescimento do tráfego rodoviário. Portanto, a problemática da anterior, no que compete ao agravamento da poluição sonora, dentre outros fatores, está relacionada à ocupação desordenada do solo e o congestionamento de tráfego rodoviário.

De acordo com Oliveira; Medeiros; Davis Jr. (2000) 70% das reclamações aos órgãos de controle ambiental das grandes cidades é ocasionada pelo ruído, sendo este caracterizado como uma das principais fontes de perturbação em ambientes urbanos.

Não só em relação ao sistema viário, em áreas das cidades que possuem considerável infraestrutura, dentre outras questões, costumam ocasionar adensamentos populacionais, os quais estas são chamados de núcleos de formação inicial. Em diversas cidades, os equipamentos urbanos comunitários como escolas e hospitais, costumavam se localizar em regiões de maior calma, no entanto, com o passar do tempo, se encontram cercadas de importantes avenidas e centros comerciais (BALZAN, KATIANE, LAURA, 2011).

Segundo Ramos (2007), quando trata da cidade de São Paulo, enfatiza que,

localizando-se em um país com perfil socioeconômico de forte concentração de renda, e grandes disparidades sociais, a cidade faz uma demonstração em detalhes do caráter desigual e do desequilíbrio desse cenário. Além disso, há inconsistências nos planos de mobilidade que são implementados na metrópole, uma vez que não conseguem qualificar a mobilidade, no intuito de reverter a lógica do transporte individual, com veículos de passeio que ocupam área superior a 5 m² nas rodovias, para realizar o transporte, na maioria das vezes, de apenas um passageiro, em detrimento a um transporte público capaz de transportar no mesmo espaço, cerca de 20 vezes mais em um horário de pico.

O avanço tecnológico deu a oportunidade de as fábricas de automóveis produzirem veículos cada vez mais leves e silenciosos. No entanto, no que diz respeito à problemática da poluição sonora, sendo o tráfego veicular o maior poluidor, essa tecnologia avança com uma projeção de neutralidade aparente. Porém, devido a quantidade de veículos em tráfego, neutraliza essa redução do ruído na fonte sonora. Uma vez que, questões comportamentais, na forma agressiva da direção, veículos com manutenções precárias e outros aspectos, põe os cidadãos em exposição a grandes quantidades de ruído (RAMOS, 2007).

Segundo o Plano Fortaleza 2040 (2015), ele afirma que a cidade de Fortaleza, assim como muitas outras, teve seu crescimento através de um movimento dispersivo e sua transição da monocentralidade para policentralidade, gerou uma série de consequências, na qual é possível destacar o incremento das distâncias, quando as zonas de emprego passaram a estar em situação longínqua em relação a residência dos trabalhadores.

O plano complementa ainda, discorrendo sobre o processo de urbanização fortalezense, no que se refere a área jurisdicional da cidade, uma vez que a continuidade urbana na cidade de Fortaleza, no tocante a ocupação espacial ocorreu de forma heterogênea e desordenada, no qual existe uma maior concentração nas zonas centrais e em bairros mais modestos, contrastando com zonas de maior poder aquisitivos com densidade populacional inferior. Além disso, a situação se agrava devido a dispersão urbana, que se dá por um padrão de desenvolvimento físico que descentraliza o uso do solo, em um processo conhecido como espraiamento, o qual divide a cidade em zonas separadas e classificadas para uso especializado, provocando um cenário de urbanização descentralizado e desordenado. Assim, a situação, favorece o uso do automóvel privado para prover o deslocamento entre

zonas da cidade. (FORTALEZA 2040, 2015).

Segundo o Plano de Mobilidade de Fortaleza (2015), o parcelamento do solo urbano, se definiu em seu processo inicial nos anos 30 através de loteamentos simples. Dessa forma, as regras estabelecidas posteriormente no que diz respeito a gabaritos, volume de construção permitidos, recuos, sempre sofreram adaptações mediante a pressões exercidas pelos setores privados.

1.1. Justificativa

O “Guidelines for community Noise” (1999), divulgado pela OMS, afirma que o ruído de fundo quando superior a 30 dB(A), pode acarretar em efeitos fisiológicos que se manifestam na percepção do sono e efeitos colaterais adversos, como cansaço e dor de cabeça. Além disso, quando submetidos a exposição de ruídos por longos períodos, sendo estes superiores a 80 dB(A), podem acarretar em danos e perdas de audição.

O mesmo estudo, revela ainda como se manifestam os efeitos do ruído nas diferentes edificações, no qual para residências reforça os valores supracitados e a sua correlação com sono, e estipula que o ruído não exceda 55 dB(A) em ambientes abertos, para que o mesmo não gere incomodo e irritabilidade. Em edificações educacionais é recomendado um ruído de no máximo 35 dB(A), no intuito do ruído não interferir na comunicação entre os atores envolvidos nessa dinâmica escolar.

Segundo artigo publicado por Pimentel-Souza (1992), é ressaltado os efeitos que o ruído pode provocar no corpo humano, e como ele pode ser nocivo ao longo do tempo, principalmente quando exposto a níveis de ruídos superiores a 55 dB (A). Além disso, no mesmo estudo, o autor ainda relata uma relação direta entre o ruído e o sono.

Conforme Coelho, Valadas e Guedes (1996, apud, RAMOS, 2007), o ruído de trânsito está associado às dificuldades do indivíduo manter a concentração e a sua atenção. Além disso, a resposta do corpo humano envolve o sistema cardiovascular, e o neuroendócrino, nos quais os efeitos mais usuais são através de perturbações psicológicas ou alterações fisiológicas, relacionadas a estresse e cansaço. No que diz respeito a alterações no sono e na hipertensão arterial, podem surgir como efeito direto ou a longo prazo.

Portanto, o ruído urbano tem influência direta na saúde dos indivíduos, podendo ocasionar uma série de doenças severas a longo prazo. Além disso, essa

problemática está diretamente associada ao crescimento desordenado dos grandes centros urbanos e do tráfego rodoviário. Assim, é muito importante, que as edificações sujeitas a grandes níveis de ruído possam formas de estimar e atenuar o ruído, a fim de reduzir os efeitos psicológicos e fisiológicos dessa exposição prolongada.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Medir, através de instrumentos, a influência do ruído de tráfego em uma edificação localizada na Av. Antônio Sales, comparar a algoritmos disponíveis na literatura e propor medidas que atenuem o nível de ruído.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Medir o nível de ruído que adentra a edificação, na direção voltada a Avenida;
- Estimar por meio de equações o nível ruído que chegaria a edificação;
- Comparar os resultados de medição e simulação;
- Analisar dentro dos parâmetros normativos se o ruído está dentro dos limites estabelecidos.
- Com base nas medições realizadas, propor medidas de diminuição da intensidade sonora no interior da unidade habitacional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Som

Segundo Carvalho (2006): “Som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo vibrante passível de ser detectada pelo ouvido humano”. O autor complementa tal definição, ressaltando que o som se propaga através de uma fonte no formato de uma esfera, em todas as direções, que pode variar em quantidade de energia ou em um sentido específico.

Quando analisamos a definição da norma ABNT NBR 12179 temos: “Toda e qualquer vibração ou onda mecânica que se propaga num meio dotado de forças internas (P.ex.: estático, viscoso, etc.) capaz de produzir no homem uma sensação auditiva.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

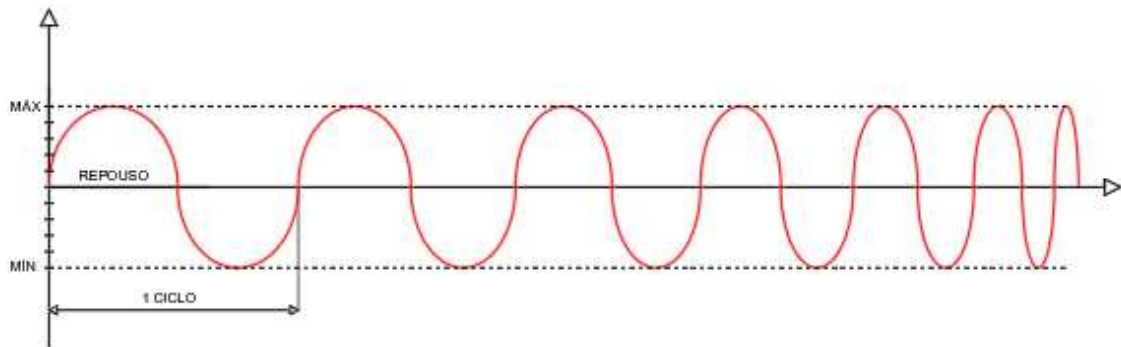
Conforme Bistafa (2011) “O som é a sensação produzida no sistema auditivo; Sons são vibrações das partículas do ar que se propagam a partir de estruturas vibrantes; mas nem toda estrutura que vibra gera som.”

Como observado, o conceito fundamental do nosso objeto de estudo pode ser definido de diferentes formas, no entanto, é possível notar que todos acabam por defini-lo da mesma maneira, sendo justamente a nossa sensação auditiva provocada um objeto vibrante.

2.2. Onda sonora

A propagação do som só é possível devido ao encadeamento de energia que ocorre através de ondas sonoras, elas se desenvolvem por meio de pequenas variações na pressão atmosférica, estimulando as partículas no ar e submetendo-as a pressões e rarefações, o qual provoca um efeito cascata em que a molécula anterior estimula a molécula sucessiva a vibrar, resultando na propagação sonora (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Figura 1 - Representação gráfica de uma onda sonora



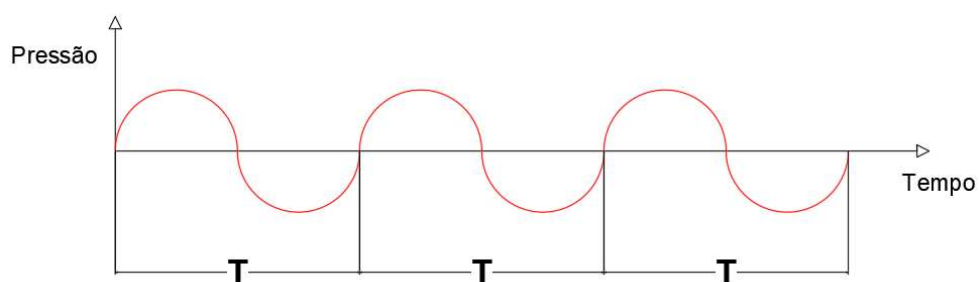
Fonte: O Autor (2020)

2.3. Frequência e Período

Consoante Souza, Almeida, Bragança (2009), frequência pode ser definida como: “O número de vezes que uma partícula completa um ciclo de compressão e rarefação em determinado intervalo de tempo ao redor do seu centro de equilíbrio”. Ou seja, a frequência (f) nada mais é que o número de oscilações que uma onda sonora realiza em um intervalo de um segundo, grandeza está denominada por Hertz (Hz). O intervalo de tempo que ocorre cada ciclo é titulado de Período (T), o mesmo está ilustrado na figura 2. Desse modo, a frequência é dada pela equação 2.1:

$$F = 1/T \quad (2.1)$$

Figura 2 - Período e frequência



Fonte: O Autor (2020)

2.4. Velocidade de Propagação do Som

Conforme Carvalho (2006): “O som se propaga em velocidade diretamente

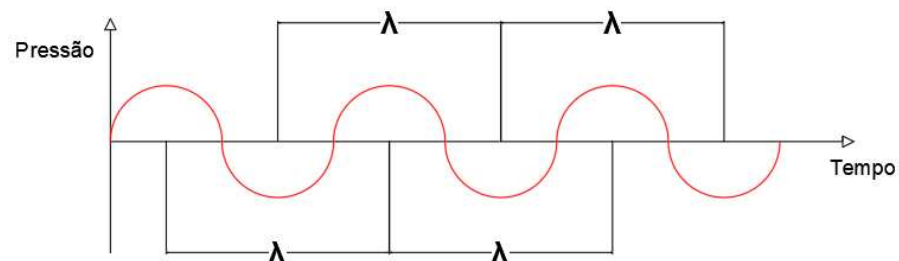
proporcional à densidade do meio”. Ou seja, a velocidade aumenta à medida que o meio é mais denso, assim, possuindo mais moléculas para acelerar a propagação. No ar a velocidade do som é de 343 m/s, a 20 °C, e convencionou-se a variável “C” para defini-la (CARVALHO, 2006).

2.5. Comprimento de Onda

Uma onda em um meio específico se desloca com certa velocidade, a distância entre dois pontos de alturas similares no seu movimento ondulatório, tem um distancia específica que a denominamos comprimento de onda (λ), o qual ilustrado na figura 3, no entanto, esta varia com as grandezas da Frequência (f) e da Velocidade (C) (VALLE, 2009). Portanto, temos a equação 2.2:

$$\lambda = v/f \quad (2.2)$$

Figura 3 – Comprimento de Onda (λ)



Fonte: O Autor (2020)

2.6. Intensidade sonora

Tomando como base os conceitos anteriores, foi visto que para que a propagação do som aconteça quando existe uma agitação das moléculas no ar, fenômeno este que desencadeia uma dissipação de energia, a qual possui uma intensidade energética específica. Desse modo, a intensidade sonora é dada através de watts por metro quadrado (W/m^2), no entanto a potência mínima necessária para que o som seja audível é de $10^{-12} W$. Além disso, a pressão sonora provocada pelo fenômeno supracitado, se torna audível a $0,0002 N/m^2$, podendo chegar a um valor máximo de $200 N/m^2$ para a audição humana, ou seja, existe uma variação

grandiosa entre os limites do espectro audível (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Destarte, no intuito de facilitar esse entendimento, foi convencionado a utilização do decibel (dB) como unidade para pressão e intensidade sonora. Essa escala logarítmica faz uma homenagem a Alexandre Graham Bell, o inventor do telefone. Assim, foram implementadas duas fórmulas para nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS) (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009), conforme as equações 2.3 e 2.4:

$$NIS = 10 \log I/I_0 \quad (2.3)$$

Onde:

NIS = Nível de pressão sonora em dB

I = Intensidade sonora em W/m^2

I_0 = Intensidade sonora de referência = $10^{-12} W/m^2$

$$NPS = 20 \log P/P_0 \quad (2.4)$$

Onde:

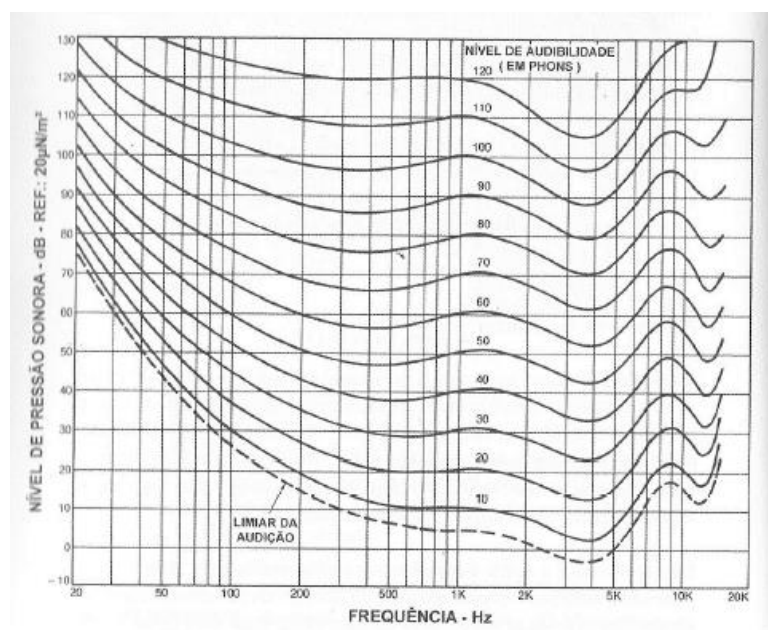
NPS = Nível de pressão sonora em dB

P = Pressão sonora em Pa

P_0 = Pressão sonora de referência = $10^{-12} Pa$

No entanto, a pressão sonora não é percebida pelo ouvido humano da mesma maneira nas diversas faixas de frequência. O “photon” é a medida subjetiva do volume, a percepção varia com a pressão sonora e a frequência, assim temos as chamadas curvas de Fletcher e Munson (figura 4) que fornecem a média da sensibilidade relativa à frequência de um grande número de pessoas (VALLE, 2009).

Figura 4 - Curvas de Fletcher e Munson



Fonte: VALLE (2009).

2.7. Ruído

A norma ABNT NBR 12179 (1992) define ruído como: “Mistura de sons cujas frequências não seguem necessariamente lei precisa, e que diferem entre si por valores imperceptíveis ao ouvido humano”. E complementa com: “Todo som indesejável” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Portanto, a definição torna-se bastante abrangente e subjetiva, uma vez que a preferência de sons vai variar de indivíduo para indivíduo.

O ruído pode ser classificado, ainda, em ruído aéreo e ruído de impacto, sendo o aéreo definido como todo ruído transmitido pelo ar, e o de impacto sendo aquele que apresenta picos de energia acústica de duração menor que 1 segundo em um corpo percussivo (CARVALHO, 2006). Ou seja, quando ocorre uma colisão entre corpos e estes liberam energia acústica, temos chamado ruído de impacto.

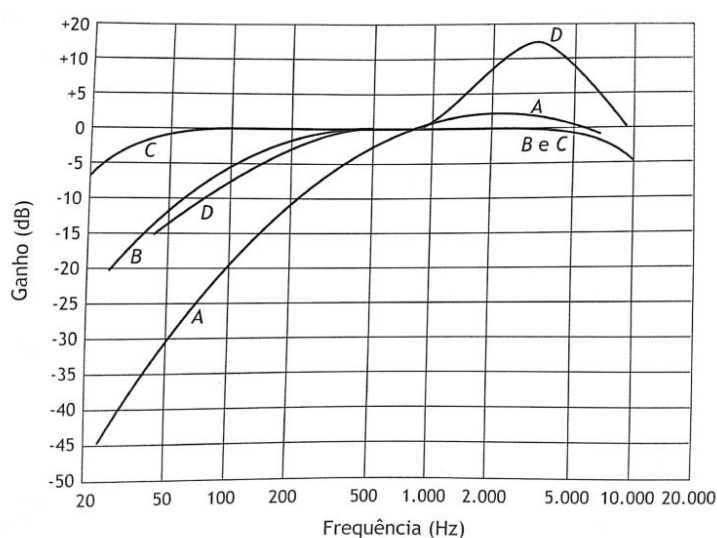
2.7.1. Ponderação em frequência

Para avaliar o nível de intensidade sonora utiliza-se um aparelho chamado sonômetro, popularmente conhecido com decibelímetro, que afere o nível de ruído em decibéis. Estes aparelhos são compostos por um microfone interno, amplificador, filtros de ponderação e circuitos de resposta que tem como função atenuar ou

amplificar os sons em dada faixa de frequência, a fim de melhor simular a resposta do ouvido humano (BISTAFA, 2011).

Destarte, se utilizam 4 tipos diferentes de filtro o A, B, C e D (figura 5). O filtro A é utilizado para sons abaixo de 55 dB, ele é o filtro que mais se assemelha a resposta do ouvido humano gerando o chamado dB(A); Para sons entre 55 a 85 dB utilizasse o filtro B; O filtro C já corresponde a níveis acima de 85 dB. Temos ainda o filtro D, que enfatiza algumas regiões entre 1 e 10 Khz, muito utilizado para ruído aéreo (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Figura 5 - Função de transferência dos filtros ponderadores



Fonte: Bistafa (2011).

2.7.2. Limites estabelecidos pelas NBR 10151 e 10152

No Brasil, existem algumas normas que tratam da problemática do ruído, mas merecem relevância, a ABNT NBR 10151 (2020) e a ABNT NBR 10152 (1987). A primeira fixa as condições elegíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, e a segunda determina os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico do ambiente, desse modo, quando queremos mensurar os efeitos do ruído em um ambiente, elas se tornam complementares.

A NBR 10151 (2020), estabelece pontos importantes para que seja possível aferir o nível de ruído, desse modo é importante destacar:

- Equipamentos de medição: O medidor de nível sonoro deve ser do tipo 0, 1 ou 2, o qual deve possuir a função de aferir o L_{Aeq} . Estabelece o tipo de calibrador, que deve ser de classe 2, e exige que tanto o medidor, quanto o calibrador estejam certificados de calibração na Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou no Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial (INMETRO), sendo renovado a cada 2 anos.
- Procedimentos de Medição: São destacadas condições para medição tanto em ambientes internos quanto externos, definindo quais pontos de atenção devem ser verificados, as distâncias do solo, paredes, moveis e etc., ademais de destacar a necessidade de adaptações e correções em situações particulares.
- Avaliação de ruído: Nesse tópico, são realçados os critérios utilizados como parâmetro para avaliar a condição do ruído aferido na medição, definindo tanto o horário estabelecido para período diurno e noturno e estabelecendo os limites para cada situação conforme o quadro 1:

Quadro 1 – Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, e dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151 (2000)

A ABNT NBR 10152 (1987) recomenda um método de avaliação do ruído aferido, baseado na medição em dB(A). Porém, é importante entender como esse ruído se distribui no espectro de frequência, no intuito de caracterizar de maneira mais assertiva o comportamento do som emitido. Assim, a Norma preconiza a análise através das curvas de avaliação de ruído (NC), onde o espectro sonoro pode ser comparado, analisando as bandas de frequência mais significativas para o ambiente.

2.7.3. Nível de ruído equivalente (L_{Aeq})

Segundo Bistafa (2011), o nível de pressão sonora equivalente pode ser

entendido como: “Nível sonoro estacionário, que se ocorresse durante o intervalo de registro, geraria a mesma energia produzida pelos eventos sonoros registrados”. Definição bastante similar à que encontramos na ABNT NBR 10151 (2020), onde define como: “Nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com ponderação “A”) referente a todo o intervalo de tempo”.

Dessa maneira, o L_{Aeq} pode ser entendido com uma média dos valores medidos em um tão intervalo de tempo, sendo assim, uma média ponderada em relação ao parâmetro temporal, conforme a equação 2.5:

$$L_{Aeq} = 10 \log\left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt\right] \quad (2.5)$$

Onde:

$L_p(t)$ = Nível sonoro (ponderado-A) no instante t

T = Intervalo de tempo de registro

2.7.4. Níveis de ruído estatístico (L_{10} , L_{50} , L_{90})

Os níveis de ruído estatísticos são uma forma de organização, para uma melhor análise da coleta realizada, uma vez que é possível ter um melhor entendimento da representatividade de cada nível de ruído aferido em um determinado período de tempo. Dessa forma, os níveis sonoros são apresentados em um histograma com as percentagens em intervalos de decibéis, onde comumente calcula-se o L_{10} , L_{50} , L_{90} (BISTAFA, 2011):

- L_{90} nível sonoro que foi excedido 90% da medição;
- L_{50} nível sonoro que foi excedido 50% da medição;
- L_{10} nível sonoro que foi excedido 10% da medição;

Os níveis estatísticos auxiliam na avaliação do ruído de transportes, como rodoviário e aéreo. Adota-se o L_{10} para avaliar ruído em loteamento residenciais, onde nessas áreas o nível de critério é 70 dB(A) (BISTAFA, 2011).

2.7.5. Ruído de Tráfego

De acordo com Bistafa (2011), o ruído de tráfego é apresentado como uma

das principais fontes de poluição sonora no meio urbano. É uma prática comum a confecção de relatórios, quando há a implementação de novos empreendimentos rodoviários, para mitigar o impacto no ruído ambiental na região.

O ruído de tráfego rodoviário é ocasionado pela junção de dois tipos de ruído, o de propulsão e o de rolamento. Pode-se definir o ruído de rolamento como sendo a interação entre o pneu do veículo e a camada de rolamento, na qual estima-se que em velocidades acima de 40 km/h para veículos leves, e 70 km/h para veículos pesado, configura a principal fonte de ruído no tráfego rodoviário, (Van Blokland e Peeters, 2009). Abaixo dessas velocidades, a principal fonte de ruído rodoviário é o de propulsão, ou seja, os mecanismos que envolvem a aceleração do veículo, que são: o motor; os sistemas de exaustão e entrada de transmissão.

A European Environment Agency (2014), baseados nos dados da época, mais de 41 milhões de pessoas relataram estarem expostas a ruídos acima de 55 dB L_{den} (exposição média anual ao indicador de ruído diurno e noturno) devido a ruído do tráfego rodoviário em áreas urbanas. No entanto, estima-se ainda que o número total de pessoas expostas ao ruído rodoviário seja, na verdade, o dobro do valor estimado na época, atingindo quase 90 milhões de pessoas expostas ao ruído do tráfego rodoviário dentro de áreas urbanas na Europa.

No entanto, existem medidas que podem mitigar esse efeito, como é o caso das barreiras acústicas que, segundo Bistafa (2011): “Barreira Acústica é qualquer estrutura ou obstáculo que impede a visão da fonte pelo receptor”. Dessa maneira, elas são utilizadas com uma medidas de proteção ambiental, para justamente ter um maior controle do ruído, esse sistema é comumente utilizado na Europa, ao longo de suas rodovias, e no Brasil, já foi implementado no Km 14 da Rodovia bandeirantes em São Paulo (KAWAKITA,2008). Nas figuras 6 e 7, temos exemplos de rodovias as quais foram implementas sistemas de barreiras acústicas.

Figura 6 - Barreira acústica na Linha Vermelha no Rio de Janeiro



Fonte: Veja (2013)

Figura 7 - Barreira acústica em rodovia no Chile



Fonte: INDAC (2015)

2.7.6. Simulação de ruído de tráfego

Atualmente, existem opções para análise da emissão de ruído de tráfego em rodovias. Entretanto, esse tipo de análise envolve simulações computacionais por meio de softwares, os quais, possuem um custo elevado, porque necessitam de licenças pagas, assim, como meio de mitigar tal situação, existe a opção de realizar simulação com auxílio de algoritmos matemáticos, quem são compartilhados por muitos desses softwares supracitados. É nessa problemática que Brito, Carvalho Junior, Toledo (2018), realizaram uma avaliação de diferentes algoritmos de simulação para tráfego rodoviário, publicadas em diferentes estudos de acústica urbana, avaliando assim, sua eficácia.

Então, depois de aferido em campo o ruído de uma rodovia plana de concreto asfáltico, chegaram à conclusão que o modelo que melhor se adequou a situação foi o de Lam & Tam (1998), pois o mesmo teve a menor variação entre o valor simulado e o medido. O modelo, ainda, recomenda a correção de -1 dB quando o pavimento é de origem betuminosa, o que faz bastante sentido para a realidade brasileira, pois nos centros urbanos grande parte das vias se utilizam desse tipo de pavimentação, conforme a equação 2.6:

$$L_{10} = 10,5 * \log n + 34,8 * \log \left(v + 40 + \frac{500}{v} \right) + 10,5 \log \left(1 + \frac{5 * p}{v} \right) - 34,4 \quad (2.6)$$

Onde:

n = número de veículos que transitam por hora

v = Velocidade do veículo (km/h)

p = quantidade de veículos pesados em relação aos veículos leves (%)

Além disso, outra equação que também simula o ruído de tráfego, baseado em parâmetros rodoviários é a equação de Josse (1975), que é dada pela equação 2.7, e utiliza de fatores de correções os quais estão fixados nas tabelas 1,2 e 3:

$$L = 52 + 10 \log \left(\frac{Q}{d} \right) + cv + c\% + ci \text{ dB}(A) \quad (2.7)$$

Onde:

Q = Quantidade de veículos

d = Distância da Fonte (km/h)

cv = Valor de correlação de velocidade

c% = Valor de correlação do percentual de veículos pesados

ci = Valor de correlação de inclinação da via

Tabela 1 - Cv correção devido á velocidade dos veículos (dB(A))

Velocidade	33	47	53	60	67	68	80	87	90
cv	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5

Fonte: Cremonesi (1975)

Tabela 2 - C% correção devido à % veículos pesados (dB(A))

Percentual	7	20	35	47	60	73	87	100
c%	0	1	2	3	4	5	6	7

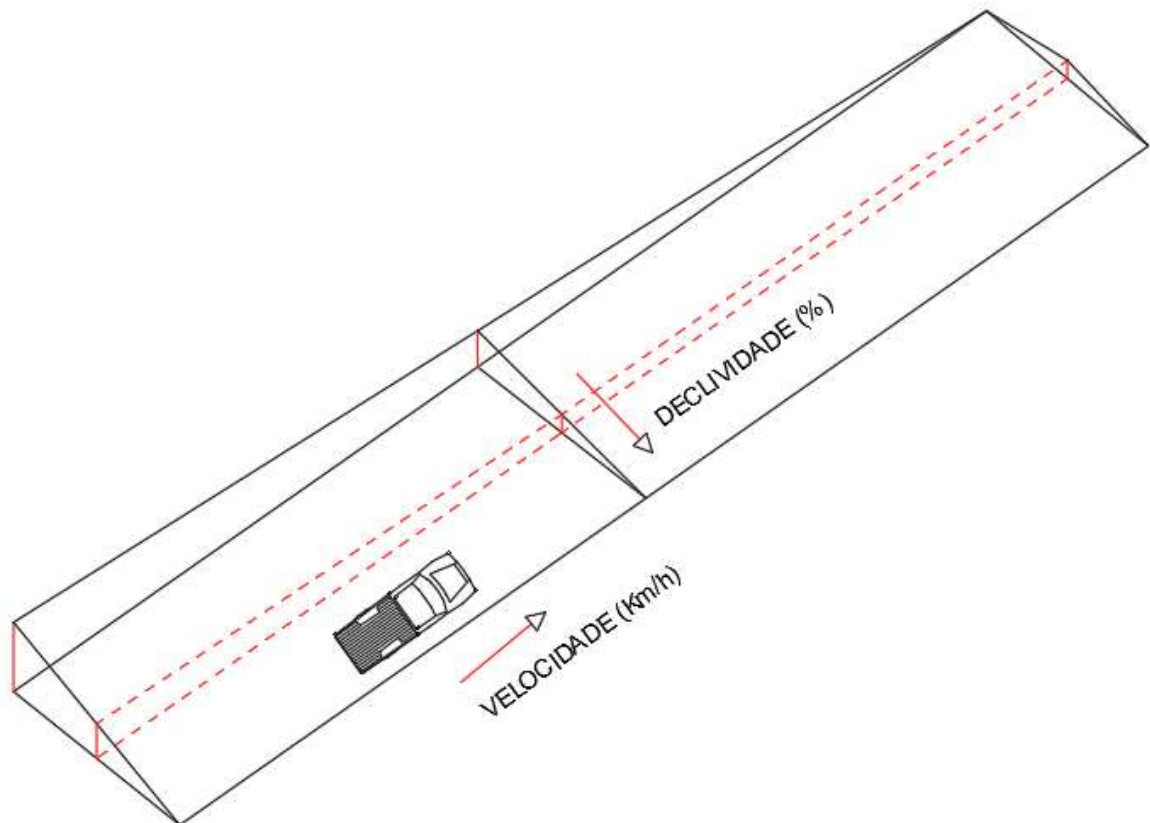
Fonte: Cremonesi (1975)

Tabela 3 - Ci correção devido á inclinação da via em % (dB(A))

Inclinação	0	0,02	0,04	0,06
ci	0	1	2	3

Fonte: Cremonesi (1975)

Figura 8 - Parâmetros viários para equações de simulação

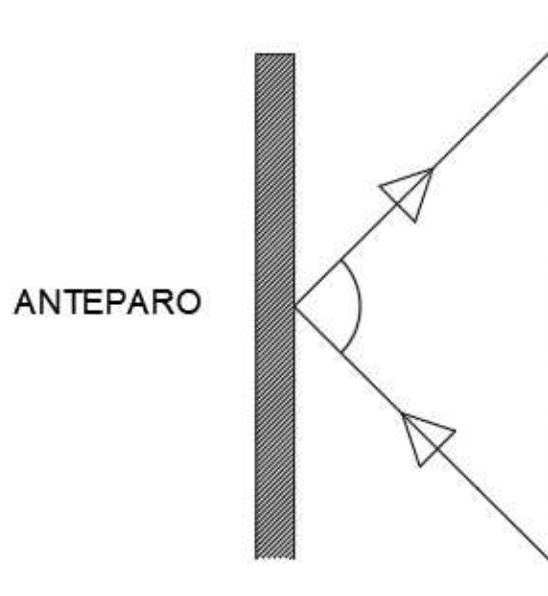


Fonte: O Autor (2021)

2.8. Reflexão do Som

A reflexão sonora pode ser analisada assim como a ótica física quando analisamos a luz (Carvalho, 2006.). Desse modo, grande parte do som que escutamos é uma composição do som direto e suas reflexões sonoras. Para que essa reflexão ocorra, faz-se necessário que uma superfície acústica possua dimensões maiores que o comprimento de onda do sinal emitido, assim, ondas sonoras de frequência maiores são facilmente refletidas criando uma flutuação maior de agudos no ambiente (figura 9).

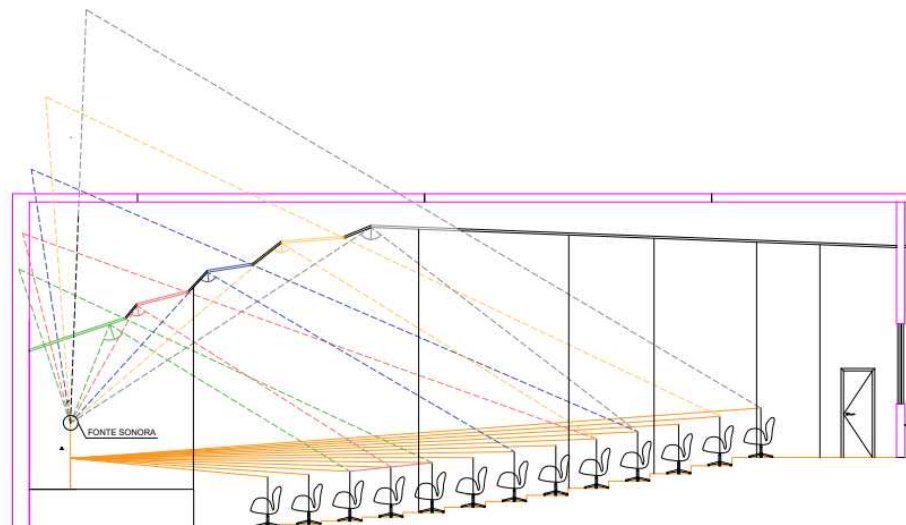
Figura 9 - Reflexão em um anteparo simples



Fonte: O Autor (2021)

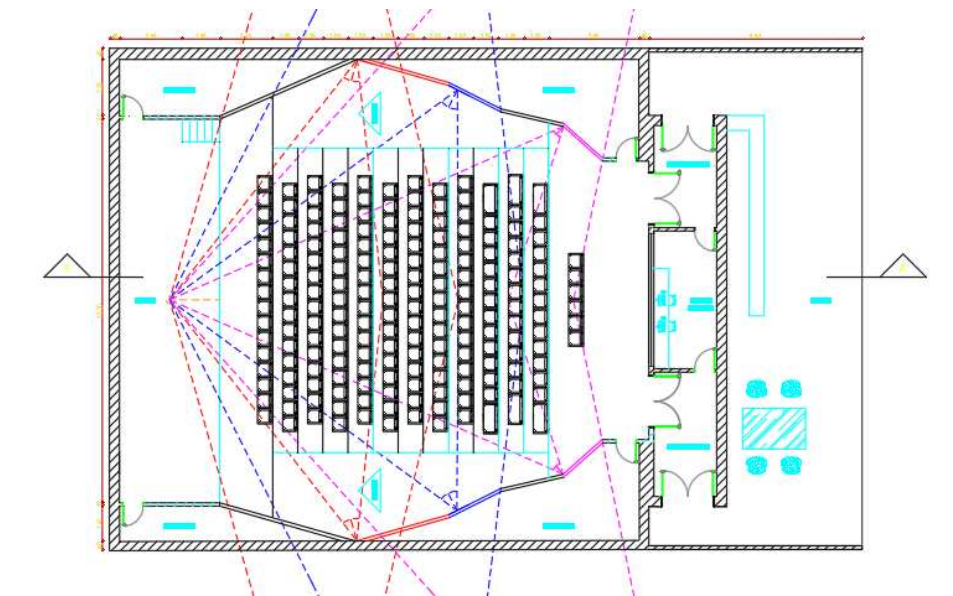
Além disso, esse efeito pode ser explorado dentro da acústica arquitetônica, uma vez que o som emitido tende a perder energia em sua propagação, pois quando este se depara com uma superfície parte do som é refletido e parte absorvido, assim esse recurso pode ser utilizado para reforçar a distribuição sonora no ambiente.

Figura 10 - Reflexão sonora com espelhos acústicos horizontais



Fonte: O Autor (2020)

Figura 11 - Reflexão sonora com espelhos acústicos verticais



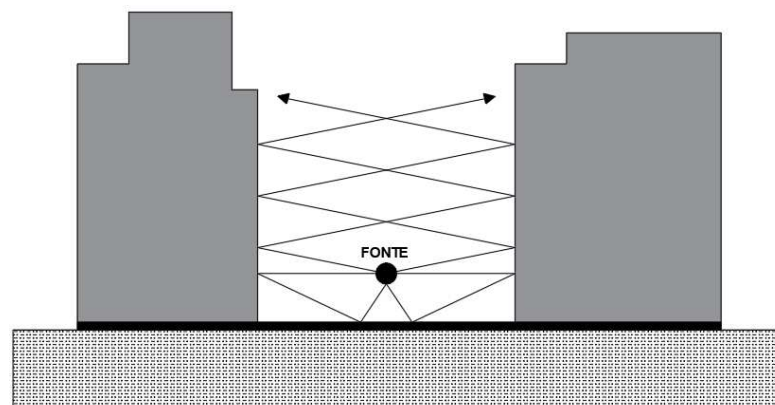
Fonte: O Autor (2020)

Além disso, as conformações topográficas em ambientes urbanos, interferem no campo acústico local, podendo gerar sobras acústicas que podem atenuar ou intensificar o som gerado pela fonte, pois não só a forma que as edificações se relaciona com as outras, mas como pela própria forma de apresentação deste influencia nesse cenário. Assim, edificações que tendem a forma corredores de

fachadas paralelas, criam um ambiente para inúmeras reflexões de ruído, assim, ocorre uma intensificação do ruído gerado naquele ambiente. (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

No entanto, Bistafa (2011) afirma que a ocorrência de amplificações sonoras por reflexões múltiplas, em cânions urbanos, se faz necessário que as edificações tenham, no mínimo, 10 m de altura em ambos lados da via.

Figura 12 - Reflexão sonora em cânions urbano

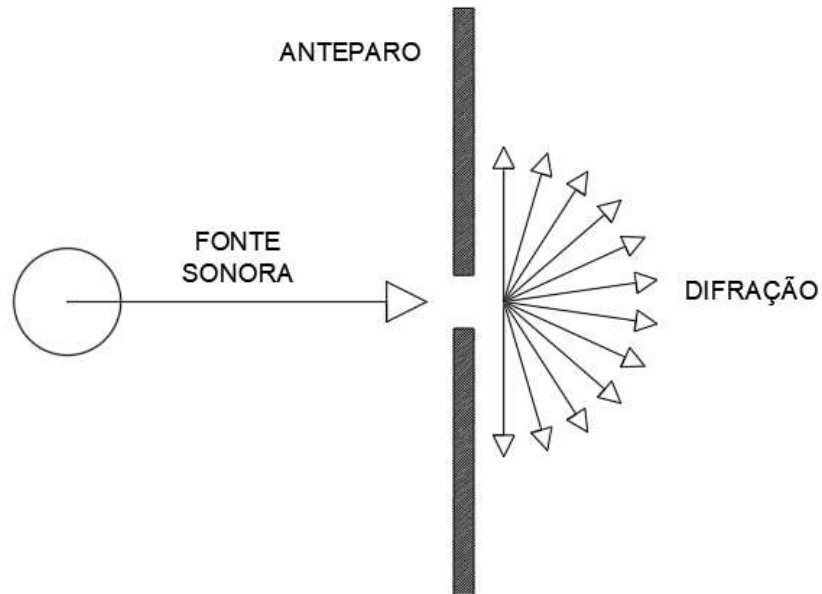


Fonte: O Autor (2021)

2.9. Difração sonora

Esse fenômeno consiste na relação entre comprimento de onda e o tamanho do anteparo, uma vez que o anteparo é menor que o comprimento de onda, essa última tende a contorna-lo e redirecionar sua direção (Figura 13). As arestas do anteparo servem com uma nova fonte sonora, no qual passam a atuar como novo centro de propagação (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Figura 13 - Difração sonora



Fonte: O Autor (2020)

2.10. Absorção sonora

Uma onda sonora que incide em um anteparo provoca três fenômenos: uma parte dessa onda é refletida, parte é transmitida, e o restante é absorvida pela superfície (Figura 14). Portanto, quando o material contido nesse anteparo retém uma quantidade maior de energia, afirmamos que se trata de um material absorvedor (Figuras 15 e 16) (CARVALHO, 2006).

A absorção é ocasionada principalmente pela dissipação da energia presente na onda sonora por atrito, como consequência da movimentação das partículas de ar no interior do material. É possível designar um material como bom absorvedor, uma vez que o mesmo permite que as partículas de ar penetrem e se movimentem em seu interior (BISTAFA, 2011).

Desse modo, como meio de mensurar a capacidade de um material absorver o som, é dado pelo coeficiente de absorção sonora (α), segundo a equação 2.8:

$$\alpha = \frac{E \text{ absorvida}}{E \text{ incidente}} = \frac{E \text{ incidente} - E \text{ refletida}}{E \text{ incidente}} = 1 - \frac{E \text{ refletida}}{E \text{ incidente}} \quad (2.8)$$

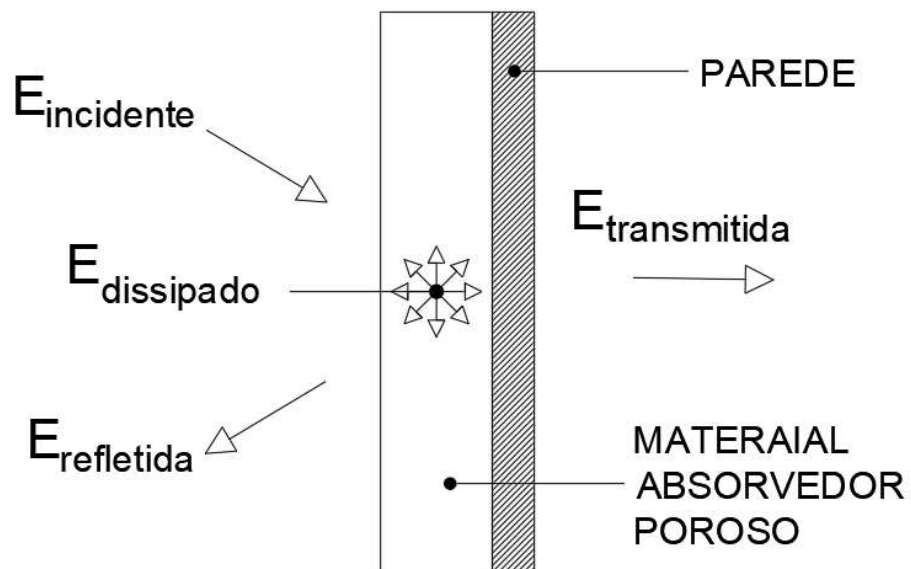
Onde:

$E_{\text{absorvida}}$ = é a energia sonora absorvida ($E_{\text{absorvida}} = E_{\text{dissipada}} + E_{\text{transmitida}}$)

$E_{\text{refletido}}$ = é a energia sonora refletida.

$E_{\text{incidente}}$ = é a energia sonora incidente.

Figura 14 - Balanço energético do som que incide em uma superfície.



Fonte: O Autor (2021)

Além disso, outro parâmetro importante é a absorção sonora de uma superfície, que se trata da capacidade de uma superfície absorver, além do coeficiente de absorção sonora (BISTAFA, 2011). No qual, tal parâmetro é calculado segundo a equação 2.9:

$$A_{sup} = \alpha S \text{ (Sabine)} \quad (2.9)$$

Onde:

$A_{sup} = m^2$ (Sabine)

α = coeficiente de absorção sonora

S = Área da superfície

Figura 15 – Lã de rocha



Fonte: Acusterm (2021)

Figura 16- Espuma absorvedora



Fonte: Decor (2021)

2.11. Isolamento Acústico

Conforme Carvalho (2006): “Isolar acusticamente um recinto fechado consiste em bloquear os ruídos externos ao mesmo a patamares compatíveis com a atividade a ser desenvolvida em seu interior.”

Consequentemente, todo material tem sua capacidade de transmitir parte do som que recebe, esse fator é dado pelo coeficiente de transmissão (τ). Contudo, esse não é o parâmetro que é normalmente utilizado para designar a isolamento sonora de um anteparo, como é comumente utilizado com o coeficiente de absorção (α) para matérias absorvedores, mas sim o parâmetro denominado de perda de transmissão sonora (Equação 2.10)) (BISTAFA, 2011).

$$PT = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (2.10)$$

Onde:

τ = coeficiente de transmissão sonora

2.11.1. Lei das Massas

Todo elemento submetido a uma variação de pressão sonora tende a vibrar. Sua capacidade de vibração é ditada por sua massa, pois quão maior é sua magnitude menor é a capacidade dessa superfície vibrar. Porém, a massa não tem um comportamento uniforme para barrar todo o espectro de frequência, em sons de baixa frequência, por exemplo, ela tende a ser ineficiente (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Além de disso, para frequências as quais o material pode vir a sobre fenômenos de ressonância e coincidência, sua capacidade de isolamento tende a decair. A coincidência entre o comprimento de onda do som incidente e o comprimento de onda da flexibilidade do material, pode vir a ocorrer dependendo da angulação que o som incidente entra em contato com a superfície. (SOUZA, ALMEIDA, BRAGANÇA, 2009).

Todavia, para a região a qual a massa controla a perda de transmissão sonora temos a equação 2.11.:

$$PT = 20 \log(f M) - 47dB \quad (2.11)$$

Onde:

f = Frequência do som incidente (Hz)

M = densidade superficial do material (kg/ bhm^2)

Tal equação é definida como Lei das massas, a qual toma como premissa que $f \cdot M > p_c$, sendo p_c a impedância do meio. É importante frisar que tal equação só é válida para frequências superiores a duas vezes a frequência de ressonância (f_r) e inferiores a metade da frequência crítica (f_c) das superfícies, em que a f_c pode ser entendida como a menor frequência de coincidência (BISTAFA, 2011).

2.11.2. Classe de transmissão sonora (STC)

No intuito de padronizar em um único valor a perda de transmissão sonora de uma partição, foi normatizado pela ASTM E413-04, Classification for Rating Sound Insulation de 2004, o chamado STC (“sound transmission class”). O processo para a determinação de tal valor, se dá através da comparação de valores de contorno padronizados, com os valores medidos. No entanto, para que os valores de contorno atendam de forma correta os valores de PT em bandas de 1/3 oitavas, existem duas condições:

- Os valores de PT de contorno subtraídas dos valores de PT por banda de 1/3 de oitava, não pode exceder 8 dB.
- A soma das diferenças entres os valores de PT e de contorno e PT por banda de 1/3 de oitava não podem exceder 32 dB.

Além disso, o valor correspondente a classe “STC x”, é determinado como sendo “x” o valor do PT de contorno a 500 Hz (BISTAFA, 2011).

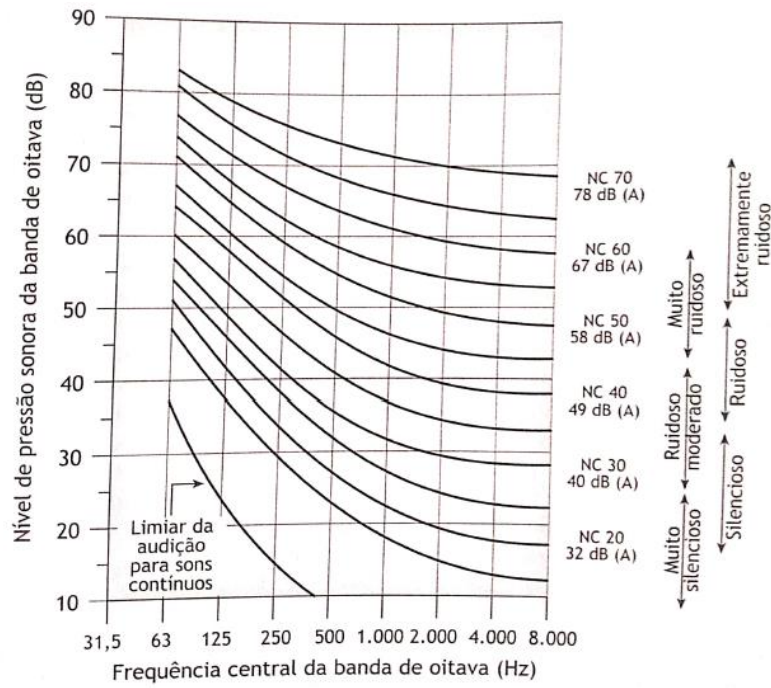
2.11.3. Avaliação do ruído em ambientes internos

Criadas em 1957, as curvas-critérios de ruído (“noise criteria curves”, NC) (Figura 17), têm como objetivo avaliar os níveis de ruído em um ambiente. Cada curva está associada a um valor NC, juntamente a um espectro de bandas de oitava, nas quais as curvas estão relacionadas a níveis sonoros A-ponderados, para assim, proporcionar uma avaliação mais subjetiva da magnitude do ruído.

A sua utilização se dá através da medição em campo do ruído por banda de oitava, e em seguida tais valores são plotados no gráfico que contém as curvas. A curva NC característica será aquela que estará imediatamente acima dos níveis de

ruído aferidos. (BISTAFA, 2011).

Figura 17 - Curvas NC



Fonte: Bistafa (2011).

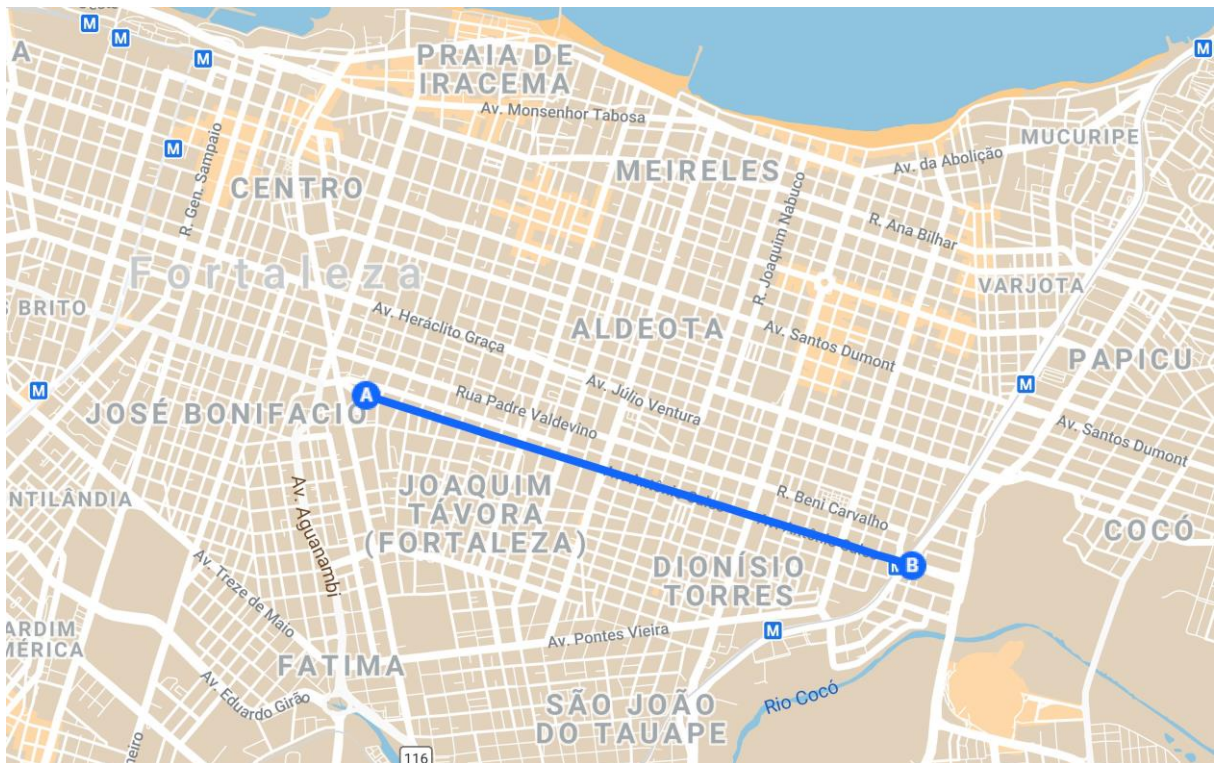
3. METODOLOGIA / MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Objeto de estudo

3.1.1. Avenida Antônio Sales

A Avenida Antônio Sales, localizada na cidade de Fortaleza-CE, fazendo intermédio entre três bairros: Aldeota, Joaquim Távora e Dionísio Torres. Ela tem seu início no cruzamento da Av. Domingos Olímpio com a Av. Aguanambi, e se estende em sentido leste até a Av. Engenheiro Santana Júnior (Figura 18).

Figura 18 - Extensão da Av. Antônio Sales – Fortaleza-CE



Fonte: Google Maps adaptado pelo Autor (2021).

Segundo a Lei complementar nº 236, 11 de Agosto de 2017, a Avenida é classificada como Arterial I, assim, é uma via de grande fluxo de veículos, a qual hoje possui uma ciclo faixa e três faixas de rolamento, em que uma delas é exclusiva para ônibus. Possuindo aproximadamente 3,7 km, ela é rota de conexões importantes entre diferentes áreas da cidade, além de possuir pontos comerciais

relevantes, como grandes supermercados, grandes lojas de materiais de construção, clínicas e hospitais.

O Art. 236º da Lei complementar nº 236, 11 de Agosto de 2017, diz que:

“Vias Arteriais I: fazem articulação intermunicipal e interbairros, integrando regiões da cidade, destinadas a interligar áreas com maior intensidade de tráfego e polos de atividades ao sistema de Vias Expressas, com vistas à melhor distribuição do tráfego nas vias Arteriais II, Coletoras e Locais, conciliando estas funções com a de melhor atender ao tráfego local, com bom padrão de fluidez.”

No entanto, tal via é marcada por muitos empreendimentos residenciais (em sua maioria edifícios), que estão diretamente expostos ao ruído rodoviário provocado pelo fluxo de veículos da via, principalmente em horário de pico, os quais geram engarrafamentos, e amplificam tal problemática. As figuras 19,20 e 21, ilustram a Avenida em alguns locais de sua extensão.

Figura 19 - Avenida Antônio Sales, 1453



Fonte: Google Street (2021)

Figura 20 - Avenida Antônio Sales, 2485



Fonte: Google Street (2021).

Figura 21 - Avenida Antônio Sales, 2849

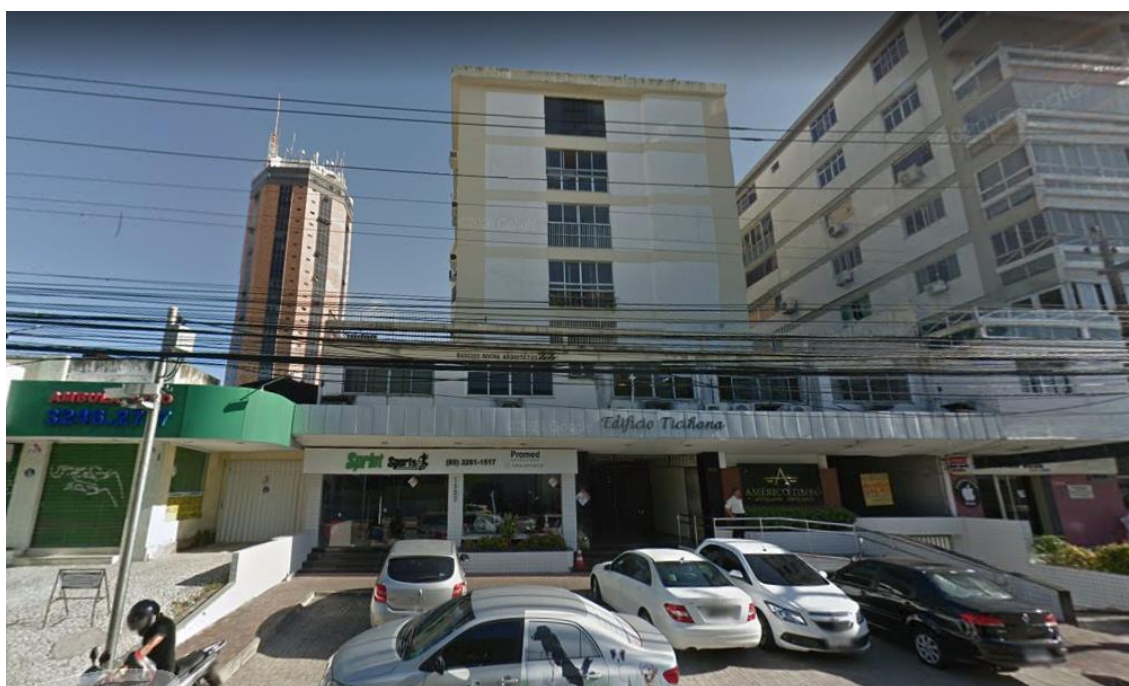


Fonte: Google Street (2021).

3.1.2. Edifício Tichana

Localizado na Av. Antônio Sales, 1516, no quadra delimitada pela Avenida Barão de Sturdat e Rua Dr. José Lourenço, o Edifício Tichana (Figura 22), é uma edificação de uso misto com 20 salas comerciais, e 5 andares residenciais, cada um com um apartamento. Tal edifício se encontra com sua fachada voltada para Av. Antônio Sales, e de frente para uma unidade da rede de supermercados Carrefour. O empreendimento faz parte do bairro Joaquim Távora, no limite de transição para o bairro Aldeota, pois a divisão entre os dois bairros é delimitada pela Av. Barão de Sturdat.

Figura 22 - Edifício Tichana



Fonte: Google Street (2011)

Segundo, Art. 236º da Lei complementar nº 236, 11 de Agosto de 2017, a região é classificada com uma Zona de Ocupação Preferencial 2 (ZOP 2): “Caracteriza-se pela disponibilidade parcial de infraestrutura e serviços urbanos e áreas com disponibilidade limitada de adensamento; destinando-se à intensificação condicionada da ocupação do solo”. No entanto, no que se refere a classificação região quando a predominância de um tipo de atividade, quanto comercial ou residencial, a lei não define, assim, sendo a localidade marcada por grande número de empreendimentos comerciais e residências, será considerada como uma zona

mista com predominância de atividades comerciais.

O apartamento objeto de estudo, tem 210 m² de área, possuindo 3 suítes, gabinete, sala, cozinha, varanda, dependência, área de serviço e se localiza no 5º andar. Sua construção tem estrutura de concreto, e as vedações são de alvenaria de tijolo cerâmico. As esquadrias são de alumínio e vidro. O piso é de taco, e tem um teto em estrutura de concreto com acabamento em pintura.

A brinquedoteca (Figura 23), é voltada para Av. Antônio Sales, onde a mesma tem uma esquadria de alumínio e vidro que separa a edificação dos agentes externos. É possível identificar grande presença de ruído advinda da avenida que acaba por adentrar no restante da edificação, ruído principalmente rodoviário, oriundo do fluxo de carros de pequeno e médio porte, caminhões, ônibus e motos.

Figura 23 – Brinquedoteca



Fonte: Produzido pelo Autor (2021)

3.2. Formação da Amostra

A amostra foi baseada de acordo com as reclamações dos usuários. Desse modo, constatou-se que o horário de maior reclamação se dava entre as 17:30 e 18:30 em dias úteis. No entanto, outros horários como entre 7:00 e 9:00 e 11:00 e 14:00, também havia um aumento do ruído percebido pelos moradores, mas que não era tão considerável quanto no primeiro horário citado.

Desse modo, com intuito de melhor atender a demanda do usuário, a amostra de medição foi dividida em cinco dias, onde foram realizadas medições, entre os horários supracitados. O esquema de medição, quanto à duração, assim como a quantidade de aferições, foi feito de maneira alternada em cada dia, assim, cada procedimento será descrito juntamente ao resultados no próximo capítulo do presente trabalho.

3.3. Procedimento de medição

3.3.1. *Medição de grandezas acústicas*

As medições foram realizadas com base nas definições da ABNT NBR 10151 (2020), nesse caso específico como se trata do ruído que adentra a edificação do reclamante, os horários de medição e o local escolhido foi selecionado de acordo com o item 5.3 da norma, onde:

- As medições foram realizadas a 1 metro de distância de qualquer superfície, sendo os valores medidos com auxílio de uma trena manual de 5 metros;
- As medições foram realizadas no ambiente de acesso a Av. Antônio Sales (brinquedoteca) com as esquadrias abertas e fechadas, dividindo o tempo total do horário de maior solicitação.

Foram utilizados dois aparelhos de medição (Figura 24) um marca Kimo modelo DB200, classe II com faixa de frequência entre 30 dB a 130 dB, abrangendo faixas de frequência entre 31,5 Hz e 10 kHz. O segundo aparelho utilizado foi da marca Minipa modelo MLS -1352C, classe II, com faixa de frequência entre 30 dB a 130 dB, abrangendo faixas de frequência entre 31,5 Hz e 8 kHz, onde ambos foram configurados no modo “fast”, e selecionado a curva de medição “A”, as coletas foram

medidas a cada 5 segundos, com uma auxílio de uma prancheta a 1,20 m, a qual os aparelhos eram apoiados, e os resultados eram registrados manualmente.

Figura 24 - Decibélimetros utilizados para medição



Fonte: Produzido pelo Autor (2021)

3.3.2. Medição de grandezas de tráfego

Os parâmetros viários foram obtidos através da Autarquia Municipal de Transito (AMC), no qual foi aberto um processo solicitando as informações ao órgão. Destarte, foi disponibilizado dados recentes de uma unidade de fiscalização localizado na Av. Antônio Sales, cujo código de sítio é 1385149, realizados do dia 09/11/2016, um dia útil. Desse modo, os dados foram assumidos como representativos para a realidade, tendo em vista que não ocorreram mudanças significativas no que diz respeito sobre implementações de trânsito que chegasse a modificar o comportamento do tráfego da região, assim, os dados foram separados para os horários em que as medições foram realizadas.

Portanto, não se fez necessário medir as grandezas de tráfego em campo, pois o presente trabalho assumiu os dados como representativos da realidade do tráfego da rodovia, e foram organizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de tráfego da Av. Antônio Sales

Horário	Volume horário (Veic/h)	Velocidade média (Km/h)	Percentual de veículos pesados (%)	Veículos não identificados (Veic/h)	Motocicletas (Veic/h)	Veículos de Passeio (Veic/h)	Caminhões (Veic/h)	Ônibus (Veic/h)
7:00 às 8:00	1567,00	29,50	2,83%	112,00	267,00	1148,00	14,00	26,00
12:00 às 13:00	937,00	29,93	3,54%	60,00	150,00	697,00	14,00	16,00
17:30 às 18:30	1193,00	26,25	3,34%	78,00	154,00	925,00	20,00	16,00

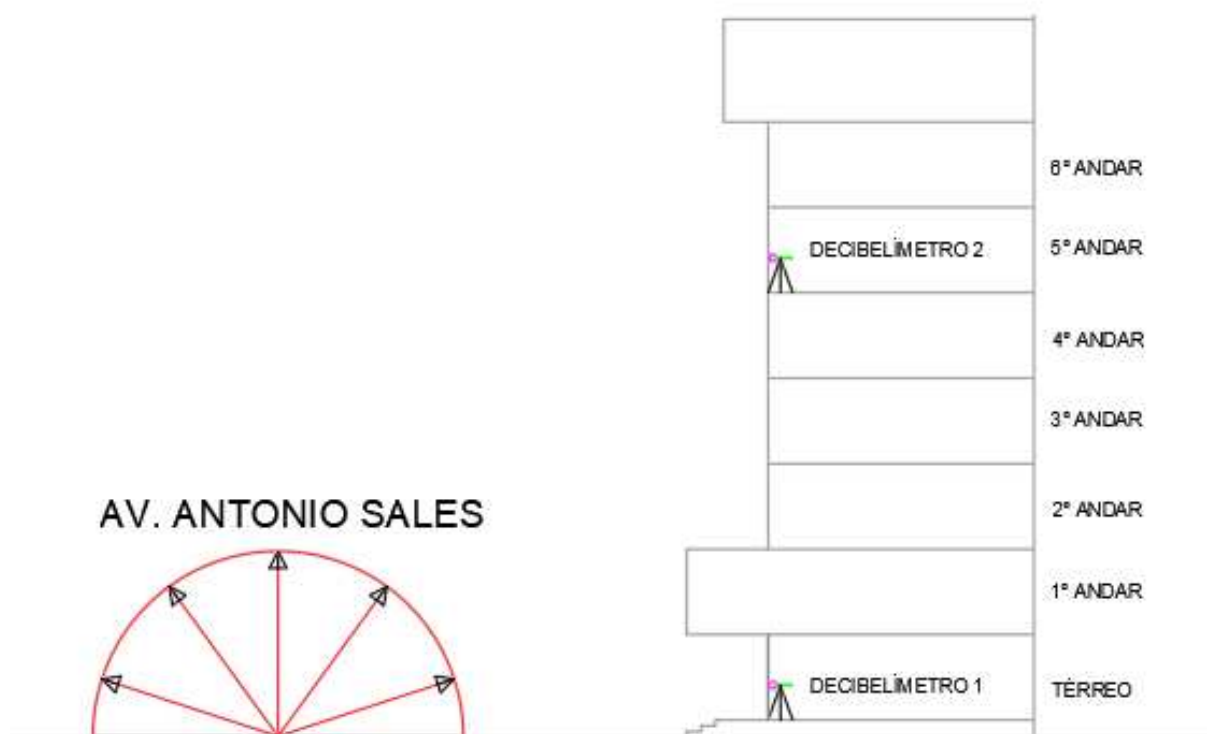
Fonte: AMC adaptado pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. 1º dia de medição

A primeira coleta foi realizada no dia 04/03/2021, no procedimento de medição foram utilizados os dois decibelímetros explicitados na metodologia, os quais um deles foi posicionado no apartamento de frente esquadria exposta ao ruído direto da avenida, e o outro foi colocado no térreo, onde ambos estavam na mesma linha vertical conforme a figura 25:

Figura 25 - Posicionamento dos decibelímetros nos procedimentos de medição



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Além disso, no dia dessa medição a cidade estava sob o Decreto nº 33955, o qual restringia os horários de livre trânsito pela cidade, e estipulava o toque de recolher. Essa medida, foi implementada devido à crise sanitária provocada pelo COVID-19, o qual vinha crescendo em número de pessoas infectadas dando início a segunda onda de contágio do vírus. Fato identificado visualmente, e relatado pelo morador, que tal imposição já teria diminuído o fluxo original de automóveis que passavam pela Avenida, uma vez que muitas modalidades de trabalho estavam em

regime remoto, retirando o necessidade de alguns deslocamentos entre zonas do município.

Desse modo, foram feitas um total de 18 medições no pavimento térreo e no 5º pavimento, onde se localiza o apartamento do reclamante, cada uma possuindo a duração de 1 minuto, sendo intercaladas em 1 minuto cada. Além disso, foram divididas em 3 turnos, realizando 6 medições por turno. No pavimento térreo foi desconsiderada a influência da esquadria, pois o local é aberto (Figura 26).

Figura 26 - Edifício Tichana Medição no pavimento térreo

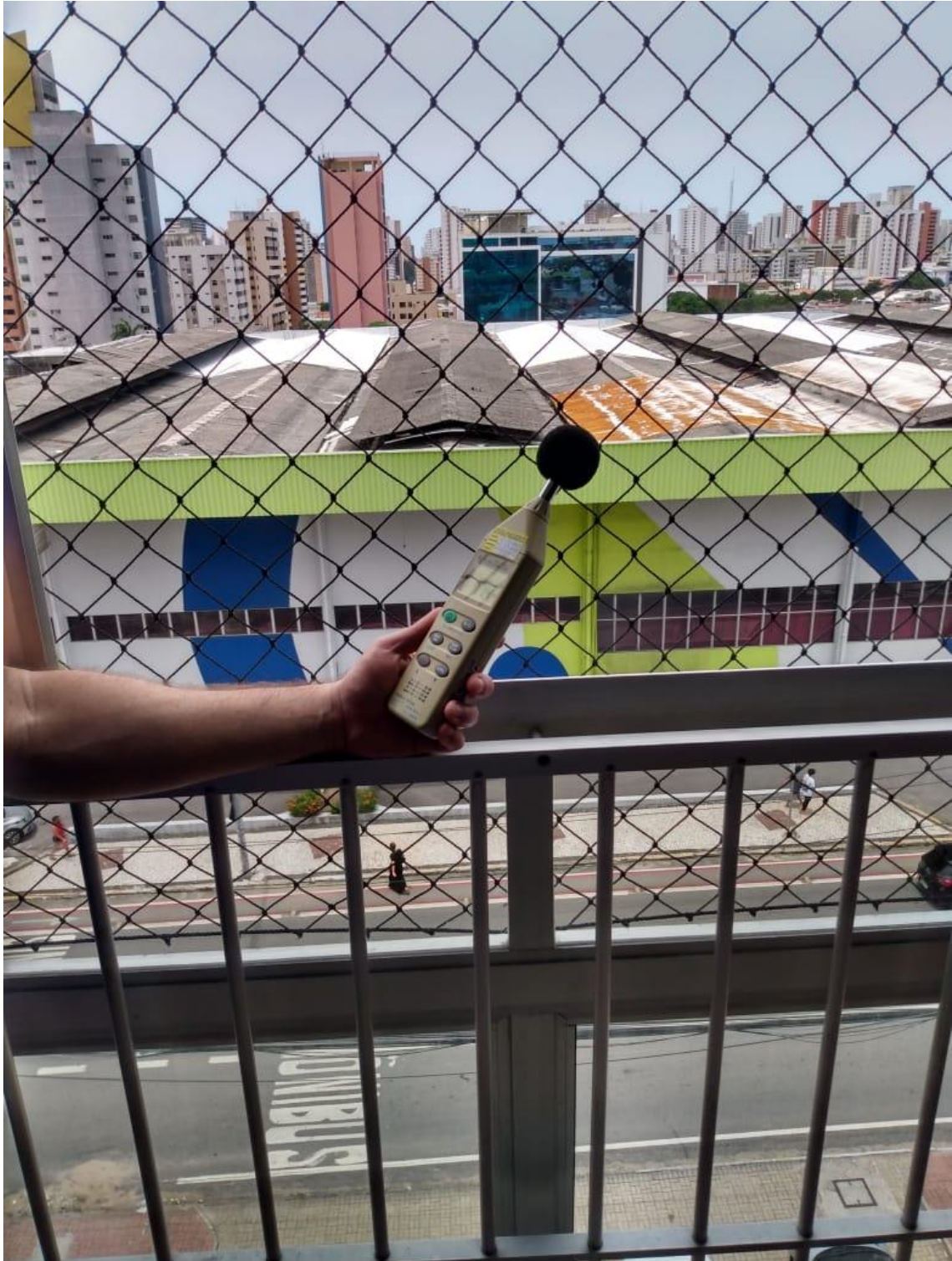


Fonte: Produzido pelo autor (2021)

No entanto, no apartamento do reclamante (Figura 27), foi considerada a influência da esquadria, de modo que alternadamente a esquadria era fechada e realizada a medição, assim, a primeira medição era com a esquadria aberta, a

segunda com a esquadria fechada, e assim sucessivamente até completar um total de 6 medições.

Figura 27 - Edifício Tichana medição no 5º pavimento



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

No intuito de tornar o entendimento mais didático, a Tabela 5 resume como foram realizadas cada medição.

Tabela 5 - Esquema de medição dia 04/03/2021

Medição	Horário	Local 1	Condição da esquadria (Local 1)	Local 2	Condição da esquadria (Local 2)
1	07:30	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
2	07:32	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
3	07:35	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
4	07:37	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
5	07:40	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
6	07:42	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
7	12:30	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
8	12:32	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
9	12:35	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
10	12:37	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
11	12:40	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
12	12:42	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
13	17:30	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
14	17:32	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
15	17:35	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
16	17:37	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada
17	17:40	Térreo	Aberta	5º andar	Aberta
18	17:42	Térreo	Aberta	5º andar	Fechada

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Foi observado durante as medições que os horários escolhidos muitas vezes coincidiam com o tempo em que o sinal estava vermelho. Assim, na maioria das ocasiões os valores máximos relacionados aos picos de ruído, como o arranque de motocicletas, e veículos de grande porte em alta velocidade não foram contemplados.

Analisando a Tabela 6, é possível verificar que o maior valor de ruído equivalente se dá no período da manhã, onde também se encontram os maiores valores de picos de ruído, muitas vezes provocados por veículos que passam em alta velocidade. Além disso, quando comparamos os valores medidos, no pavimento térreo em detrimento ao 5º pavimento, com a esquadria aberta, é possível notar uma diminuição em cerca de 10,37 dB(A).

Tabela 6 - Resultado da medição do dia 04/03/2021

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)	L90 dB(A)
04/03/2021	7:30 às 7:42	Térreo	Aberta	68,06	77,20	51,30	71,44	65,45	56,15
04/03/2021	12:30 às 12:42	Térreo	Aberta	63,00	72,10	53,80	66,95	60,95	56,49
04/03/2021	17:30 às 17:42	Térreo	Aberta	66,00	78,70	54,60	67,40	61,45	56,70
04/03/2021	7:30 às 7:42	5º andar	Aberta	57,14	65,00	52,50	63,19	55,85	51,08
04/03/2021	12:30 às 12:42	5º andar	Aberta	54,08	62,80	52,40	59,82	55,75	52,40
04/03/2021	17:30 às 17:42	5º andar	Aberta	54,72	62,50	53,90	59,91	55,85	51,10
04/03/2021	7:30 às 7:42	5º andar	Fechada	51,95	62,20	48,40	58,38	53,10	48,70
04/03/2021	12:30 às 12:42	5º andar	Fechada	52,79	61,60	51,00	59,11	54,25	51,80
04/03/2021	17:30 às 17:42	5º andar	Fechada	52,58	61,30	49,30	60,55	52,50	50,37

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Em uma análise semelhante, quando comparamos os resultados obtidos no apartamento do reclamante a respeito da atenuação promovida pela esquadria, temos um valor médio de 2,87 dB(A), revelando um desempenho acústico inferior para isolamento, o qual se deve a baixa qualidade empregada nos materiais utilizados na esquadria (Figura 29). Além disso, o desgaste como o tempo se revela através do ressecamento dos componentes responsáveis pela vedação como as borrachas (Figura 28), outra questão pertinente é a espessura do vidro, uma vez que este funciona bem para frequências mais graves deixando transmitir frequências mais agudas, mostrando uma deficiência de desempenho.

Figura 28 - Detalhe do ressecamento da borracha de vedação na esquadria da brinquedoteca



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Figura 29 - Detalhe do desgaste do material empregado na esquadria da brinquedoteca



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Como já comentado, foram obtidos dados a respeito de fluxo de tráfego, velocidade de veículos, e percentual de veículos grandes, pela Autarquia Municipal de Transito (AMC). Dessa forma, é possível observar que, assim como o horário de maior nível de ruído, o período da manhã, também foi o de maior fluxo de veículos. Além disso, a relação entre o fluxo de veículos e o nível de ruído foi obedecida, uma vez que no horário de menor fluxo, período da tarde, obteve menor nível de ruído, e o horário noturno, encontrando-se um nível intermediário de fluxo de veículos e nível de ruído, assim, comprovando uma relação direta entre os dois parâmetro.

Porém, quando analisamos a velocidade, embora influencie bastante no que se refere ao ruído, os valores médios de velocidade foram bastante similares, variando em cercar de 3 km/h, assim, não apresentando uma correlação direta ao nível de ruído de ruído equivalente. Por outro lado, em uma análise visual durante o período de medição, foi possível observar que os picos de ruído na grande maioria das vezes, se davam por motocicletas em alta velocidade, principalmente em momento de menor fluxo de tráfego, pois dava margem para maiores velocidades na via, como é possível observar na Tabela 5, pico de ruído de 78,70 dB(A).

4.2. 2º dia de medição

No dia 05/03/2021, dia referente à segunda medição, foi dado início ao Decreto nº 33965, que estabelecia o isolamento rígido na cidade de Fortaleza, vigorando até o dia 18/03/2021, devido ao alto número de contágio da COVID-19. O decreto restringiu grande parte do setor produtivo, levando grande parte da população ao trabalho remoto, e restringiu a circulação dos indivíduos apenas a serviços considerados essenciais.

Destarte, tal medida impactou de forma direta o fluxo de veículos, uma vez que houve uma drástica diminuição das viagens intermunicipais, por motivo de trabalho, escola. Buscando analisar de forma diferente da primeira medição, foram realizadas um total de 6 medições de caráter contínuo, com duração total de 6 minutos, apenas do apartamento do reclamante, na qual foram realizadas conforme a Tabela 7:

Tabela 7 - Esquema de medição dia 05/03/2021

Medição	Horário	Local	Condição da esquadria
1	08:00	5º andar	Aberta
2	09:00	5º andar	Aberta
3	10:00	5º andar	Aberta
4	17:30	5º andar	Aberta
5	18:30	5º andar	Aberta
6	19:30	5º andar	Aberta

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Dessa forma, foi possível retirar a influência da coincidência de horário com o sinal fechado, e verificar o impacto das restrições impostas pelo Governo do Estado, no que diz respeito ao ruído rodoviário.

Tabela 8 - Resultados da medição do dia 05/03/2021

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)	L90 dB(A)
05/03/2021	08:00 às 08:06	5º andar	Aberta	61,08	69,20	52,70	64,97	59,30	54,43
05/03/2021	09:00 às 09:06	5º andar	Aberta	59,09	67,80	51,90	62,11	57,20	53,36
05/03/2021	10:00 às 10:06	5º andar	Aberta	58,37	66,60	51,90	60,81	57,25	53,36
05/03/2021	17:30 às 17:36	5º andar	Aberta	60,00	66,60	52,40	63,47	59,05	54,69
05/03/2021	18:30 às 18:36	5º andar	Aberta	59,86	67,10	51,20	63,62	57,30	52,80
05/03/2021	19:30 às 19:36	5º andar	Aberta	58,81	66,80	51,50	61,94	56,90	52,66

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Com auxílio da Tabela 8, é possível observar que o ruído equivalente, nos horários aferidos, apresentaram pouca variação, pois entre as medições de maior e menor valor, a diferença é de 2,71 dB(A). No entanto, quando analisamos os picos de ruído durante as medições ocorreu um aumento considerável em relação ao primeiro dia de medição, uma vez que na primeira ocasião os picos máximos de ruído no apartamento variaram entre 65,00 e 62,50 dB(A), e na outra entre 69,20 e 66,60 dB(A), ou seja, um aumento geral em cerca de 3 dB(A). Destarte, foi possível observar que devido a diminuição do fluxo veicular em decorrência do isolamento rígido, aumentou a velocidade da via, gerando mais picos de ruído, ocasionados por

fatores já citados no item 5.1. Além disso as medições de caráter contínuo, deram maior representatividade para o ruído aferido, uma vez que não sofre interferência do efeito do semáforo.

4.3. 3º e 4º dias de medições

O terceiro e quarto dia de medição ocorreram nos dias 06/03/2021 e 07/03/2021, um sábado um domingo respectivamente, nos quais foram realizadas três medições de caráter contínuo em cada dia, nos mesmo horários, conforme a Tabela 9:

Tabela 9 - Esquema de medição dia 06/03/2021 e 07/03/2021

Medição	Horário	Local	Condição da esquadria
1	08:00 às 08:06	5º andar	Aberta
2	12:00 às 12:06	5º andar	Aberta
3	17:30 às 17:36	5º andar	Aberta

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Dessa maneira, fez-se a opção de analisar os dois dias de maneira conjunta, pois ambos apresentam características de fluxo de veículos semelhante, tendo em vista as restrições do isolamento rígido, foi possível observar como era o comportamento de ruído nessa situação (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultado das medições dos dias 06/03/2021 e 07/03/2021

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)	L90 dB(A)
06/03/2021	08:00 às 08:06	5º andar	Aberta	58,91	65,60	49,70	62,31	57,25	52,39
06/03/2021	12:00 às 12:06	5º andar	Aberta	59,76	71,10	48,00	61,80	57,40	51,15
06/03/2021	17:30 às 17:36	5º andar	Aberta	56,40	63,30	49,40	60,46	54,30	50,33
07/03/2021	08:00 às 08:06	5º andar	Aberta	61,58	67,10	45,30	65,17	59,05	49,86
07/03/2021	12:30 às 12:36	5º andar	Aberta	57,14	63,20	50,50	60,71	55,20	52,30
07/03/2021	17:30 às 17:36	5º andar	Aberta	55,63	61,20	46,60	59,34	53,75	49,16

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Nas medições do dia 06/03, observou-se valores de ruído equivalente semelhantes, variando entre 59,76 dB(A) e 56,40 dB(A), uma diferença de 3,36 dB(A), no entanto, os picos de ruído máximo obtiveram maiores discrepâncias nas

medições realizadas, encontrando seu pico máximo de 71,70 dB(A) no horário de 12:00 horas, e o pico de menor intensidade no período da noturno de 63,30 dB(A), uma variação de 7,80 dB(A), um valor mais expressivo, quando comparado os resultados analisado de ruído equivalente.

Analisando a medição realizada no dia 07/03, pode-se observar uma maior divergência entre os valores de ruído equivalente, entre 61,58 dB(A) e 55,63(A), uma diferença de 5,95 dB(A), que decaiu gradativamente ao longo das medições, pois o horário, de 12:00 horas, obteve-se um ruído equivalente de 57,14 db(A), valor esse intermediário em relação as valores encontrados a primeira e na última medição. Além disso, os picos de medição variaram entre 67,10 dB(A) e 61,20 dB(A), apresentando uma diferença de 5,90 dB(A), valor menos expressivo quando comparada a discrepância encontrada na medição do dia anterior.

Dessa forma, quando analisamos as equações de simulação a velocidade está inversamente proporcional ao nível de ruído, o que foi possível constatar na prática uma vez que no domingo, dia de menor circulação de veículos, que tende a cair gradativamente ao passar das horas, houve um decréscimo do nível de ruído equivalente em relação aos dias anteriores assim, comprovando a relação através dos valores medidos.

No entanto, quando falamos de percepção de ruído ela se torna mais acentuada, pois no fim de semana temos períodos de silêncio maior, fato constatado quando analisamos os valores mínimos de ruído, como do domingo após as 17:30 horas, por exemplo, temos o valor mínimo de 46,60 dB(A) e o pico máximo de 61,20 dB(A), ou seja uma diferença de 14,60 dB(A), no qual esse aumento ocorre de maneira muito brusca, pois observando o local no momento da medição, esse aumento em sua maioria se devem aos motoqueiros de aplicativos de delivery, pois nos últimos anos essa modalidade vem crescendo bastante, e na ocasião em específico, estava sobre o regime de isolamento rígido com supracitado, então todos os restaurantes estavam atendendo somente por delivery, assim, aumentando de maneira considerável o número de viagens realizadas por motoristas de aplicativo.

Portanto, como a avenida é corredor de conexão entre diferentes áreas da cidade, há presença constante de motoqueiros em alta velocidade, dessa forma, o

incomodo do usuário torna-se mais intenso, em ocasiões como essa, pois embora os valores apresentados sejam menores que e nos dias anteriores, a percepção do usuário entre silêncio e ruído se torna muito mais evidente.

4.4. 5º dia de medição

O último dia de medição, ocorreu em 08/30/2021, uma segunda-feira, dia útil, sob o regime de isolamento rígido, já comentado nos tópicos anteriores. Destarte, as medições se deram de uma maneira um pouco distinta das demais, no intuito de melhor avaliar a influência das esquadrias na atenuação do ruído no interior da edificação, assim, foram realizadas um total de 6 medições com duração de 5 minutos, onde alternadamente era realizada uma medição com a esquadria aberta, e em seguida uma medição com a esquadria fechada, sendo organizado, conforme apresentado na Tabela 11:

Tabela 11 - Esquema de medição dia 08/03/2021

Medição	Horário	Local	Condição da esquadria
1	07:00 às 07:05	5º andar	Aberta
2	07:06 às 07:10	5º andar	Fechada
3	12:30 às 12:35	5º andar	Aberta
4	12:36 às 12:40	5º andar	Fechada
5	17:30 às 17:35	5º andar	Aberta
6	17:36 às 17:40	5º andar	Fechada

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Analisando a Tabela 12 é possível perceber que os valores de ruído equivalente são bem similares entre horários medidos em ambas situações, tanto com a esquadria aberta quanto fechada, os quais variam entre 57,88 dB(A) e 59,82 dB(A), uma diferença de 1,94 dB(A), quando aberta e uma alternância entre 51,47 dB(A) e 53,92 dB(A) quando fechada, um intervalo de 2,45 dB(A), ou seja, em ambas situação o comportamento foi semelhante e teve pouca variação, mostrando um comportamento homogêneo nesses horários.

Tabela 12 - Resultado da medição do dia 08/03/2021

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)	L90 dB(A)
08/03/2021	07:00 às 07:05	5º andar	Aberta	58,50	63,70	49,10	62,29	56,05	51,34
08/03/2021	12:30 às 12:35	5º andar	Aberta	57,88	63,40	51,50	60,09	57,55	52,41
08/03/2021	17:30 às 17:35	5º andar	Aberta	59,82	66,00	53,60	62,49	59,10	54,14
08/03/2021	07:06 às 07:10	5º andar	Fechada	53,92	63,50	46,80	55,53	52,40	47,61
08/03/2021	12:36 às 12:40	5º andar	Fechada	52,27	57,00	47,20	54,60	51,50	47,90
08/03/2021	17:36 às 17:40	5º andar	Fechada	51,47	56,60	47,30	54,40	50,60	47,84

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Além disso, quando verificado o grau de atenuação da esquadria, é possível observar uma atenuação média de 6,18 dB(A). Quanto aos picos máximos de ruído, apresentaram um comportamento semelhante aos valores aferidos nas medições dos dias anteriores, não havendo diferenças consideráveis das medições realizadas nos dias de final de semana.

4.5. Avaliação de ruído equivalente

No intuito de analisar os dados levantados, se estão de acordo com os limites estabelecidos pela norma ABNT NBR 10151 (2020), foi utilizado a avaliação pelo método simplificado disposto no item 9.5.1, na ocasião em questão não houve contribuições de som tonais ou impulsivos. Além disso, para efeitos da norma, tomando como base a Lei Ordinária nº 8097, de dezembro de 1997, onde define no Artigo 3º:

“O nível máximo de som permitido a alto-falantes, rádios, orquestras, instrumentos isolados, bandas, aparelhos ou utensílios sonoros de qualquer natureza usados em residências, estabelecimentos comerciais e de diversões públicas, festivais esportivos, comemorações e atividades congêneres, eventos sonoros em vias públicas, observando-se o disposto no art. 4º, e contemplando-se 4 (quatro) medições, as quais serão realizadas a, pelo menos, 2,0m (dois metros) do limite do imóvel residencial ou comercial, localizado mais próximo onde se encontra a fonte emissora, de: Alteração feita pelo Art. 1º. - Lei Ordinária nº 10.644, de 22 de novembro

de 2017.

I – 70 (setenta) decibéis, medidos em Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq) na escala de compensação (A), no período diurno compreendido das seis horas às vinte e duas horas; Inclusão feita pelo Art. 1º. - Lei Ordinária nº 10.644, de 22 de novembro de 2017.

II – 60 (sessenta) decibéis, medidos em Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq) na escala de compensação (A), no período noturno compreendido das vinte e duas horas às seis horas.”

Desse modo, tomando o conceito dos horário definidos como diurno e noturno definidos na lei, será estabelecido que o período diurno compreende das 06:00 às 22:00 e noturno de 22:00 às 06:00.

Portanto, todas as medições foram realizadas no período diurno, em uma zona identificada como de uso misto e com predominância de atividades comerciais, como definido no capítulo 4 do presente trabalho. Assim, partimos para a análise do Quadro 2 da ABNT NBR 10151 (2020), onde:

Quadro 2 – ABNT NBR 10151: “Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período”

Tipos de áreas habitadas	RL_{Aeq} Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151 (2020)

Nesse contexto, o nosso limite de ruído equivalente é de 60 dB(A) no período diurno, desse modo, analisaremos os valores correspondentes as medições realizadas no apartamento com a esquadria aberta, conforme a Tabela 13:

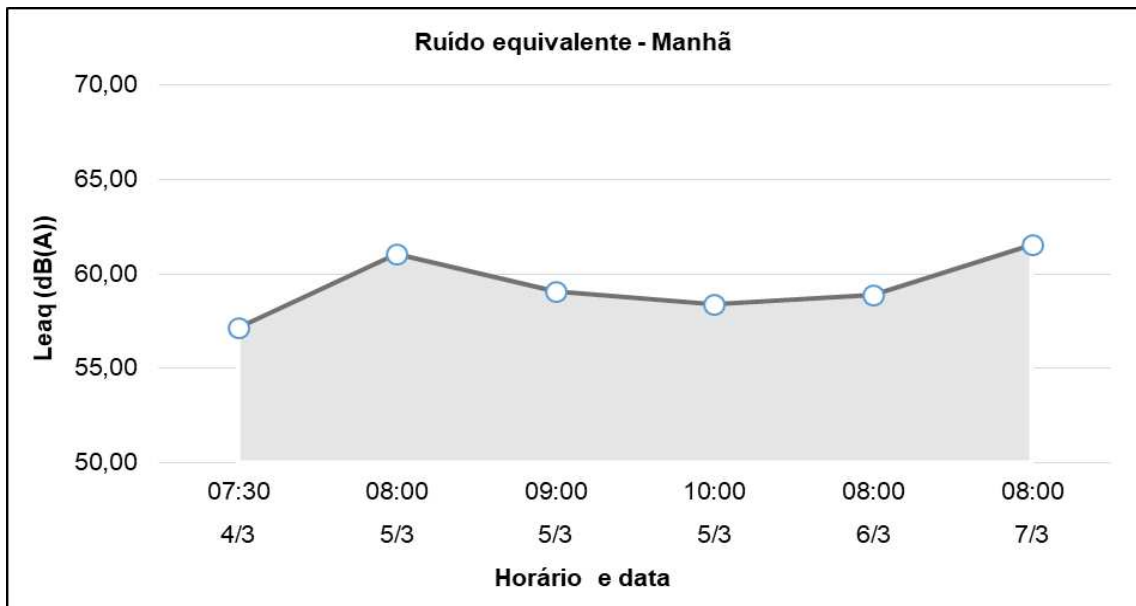
Tabela 13 - Resultado das medições realizadas com esquadria aberta

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)
04/03/2021	07:30	Aberta	57,14	65,00	52,50	63,19	55,85	51,08
05/03/2021	08:00	Aberta	61,08	69,20	52,70	64,97	59,30	54,43
05/03/2021	09:00	Aberta	59,09	67,80	51,90	62,11	57,20	53,36
05/03/2021	10:00	Aberta	58,37	66,60	51,90	60,81	57,25	53,36
06/03/2021	08:00	Aberta	58,91	65,60	49,70	62,31	57,25	52,39
07/03/2021	08:00	Aberta	61,58	67,10	45,30	65,17	59,05	49,86
04/03/2021	12:30	Aberta	54,08	62,80	52,40	59,82	55,75	52,40
06/03/2021	12:00	Aberta	59,76	71,10	48,00	61,80	57,40	51,15
07/03/2021	12:30	Aberta	57,14	63,20	50,50	60,71	55,20	52,30
08/03/2021	12:30	Aberta	57,88	63,40	51,50	60,09	57,55	52,41
04/03/2021	17:30	Aberta	54,72	62,50	53,90	59,91	55,85	51,10
05/03/2021	17:30	Aberta	60,00	66,60	52,40	63,47	59,05	54,69
05/03/2021	18:30	Aberta	59,86	67,10	51,20	63,62	57,30	52,80
05/03/2021	19:30	Aberta	58,81	66,80	51,50	61,94	56,90	52,66
06/03/2021	17:30	Aberta	56,40	63,30	49,40	60,46	54,30	50,33
07/03/2021	17:30	Aberta	55,63	61,20	46,60	59,34	53,75	49,16
08/03/2021	17:30	Aberta	59,82	66,00	53,60	62,49	59,10	54,14

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

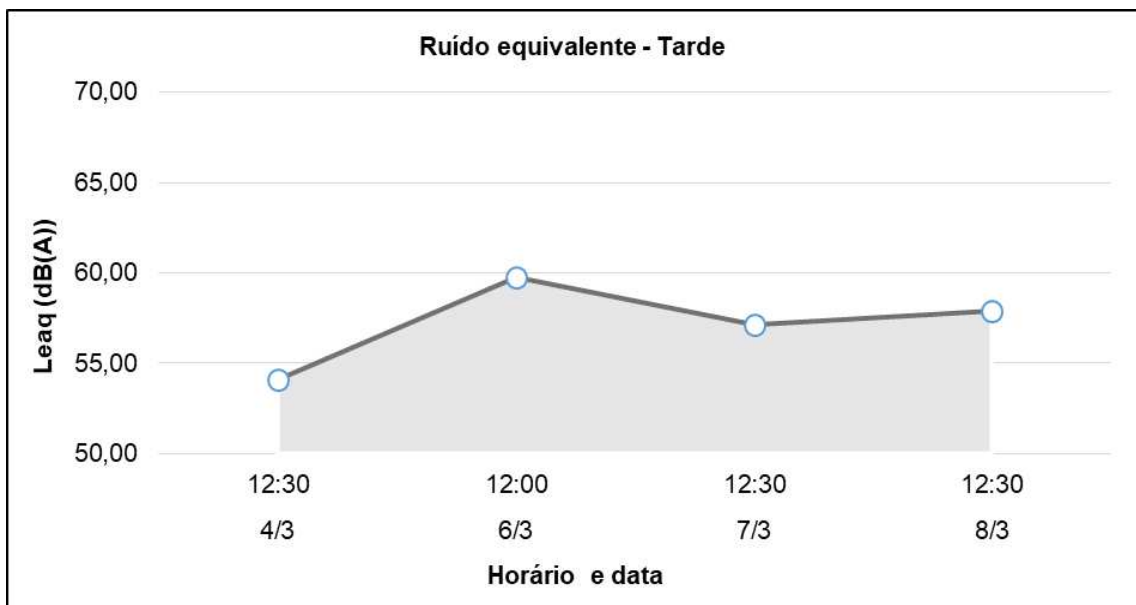
Portanto, é possível perceber que os valores oscilam entre 54 dB(A) e 62 dB(A). No entanto, a maioria dos valores se encontram abaixo do limite estabelecido na norma, outrossim os valores se encontram bem próximo dos limites, essa análise fica mais clara dividindo os períodos de maneira gráfica, conforme os gráficos 1 a 3:

Gráfico 1 - Nível de ruído equivalente no período da manhã com esquadria aberta



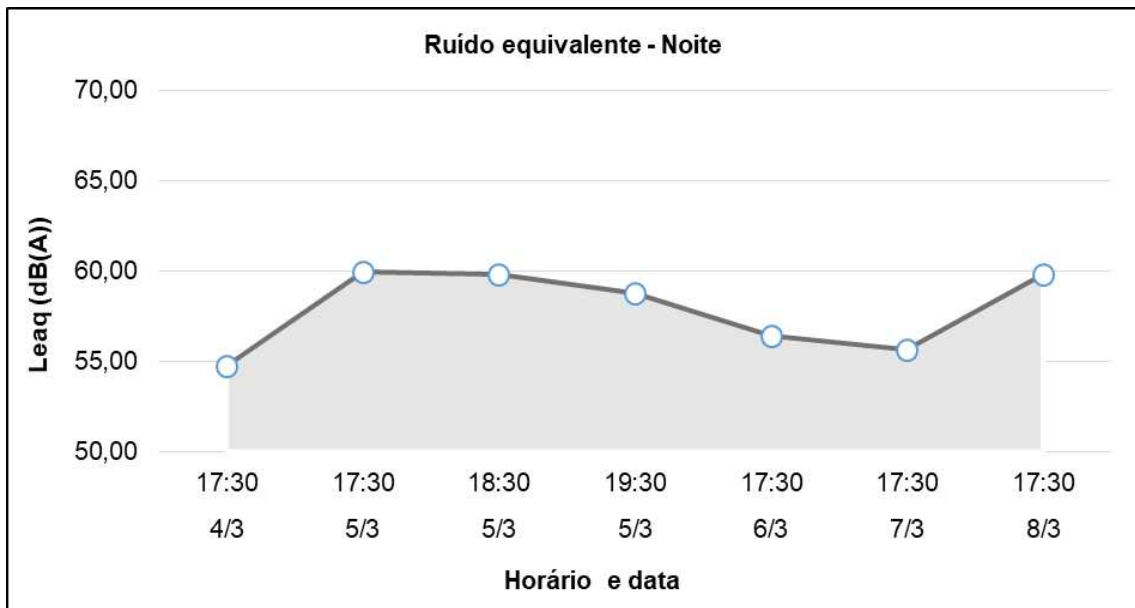
Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Gráfico 2 - Nível de ruído equivalente no período da tarde com esquadria aberta



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Gráfico 3 - Nível de ruído equivalente no período da noite com esquadria aberta



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

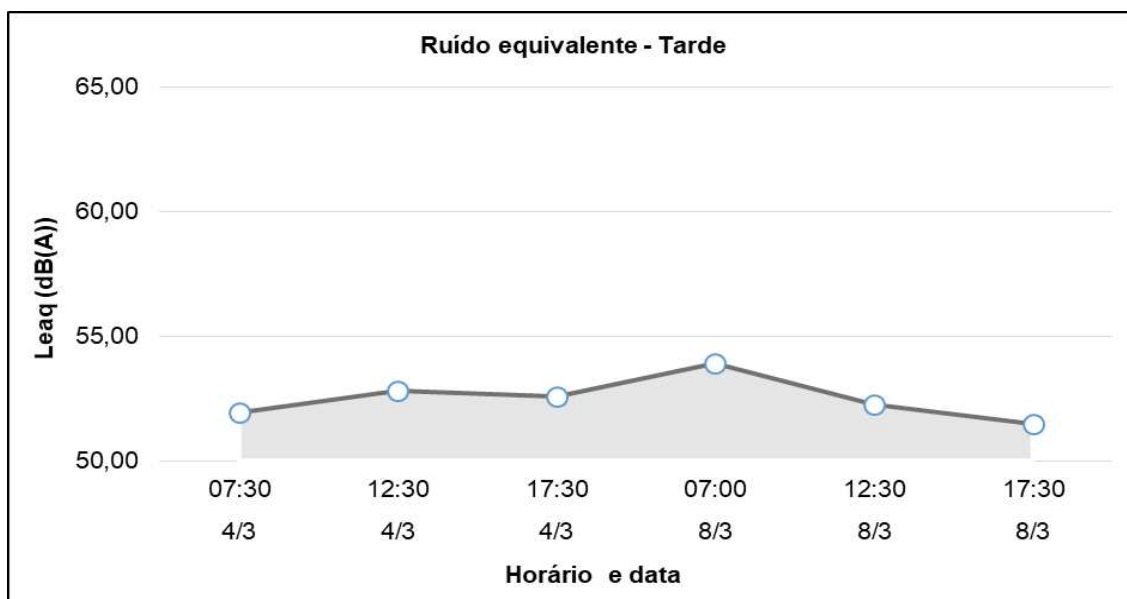
Dessa forma, é possível analisar o comportamento do ruído no que diz respeito ao limite estabelecido, sendo mais comum ocorrer no início da manhã e no final da tarde, períodos nos quais o fluxo de veículos é mais intenso, como já foi mencionado em itens anteriores. Desse modo, diariamente, e em diferentes horários, ocorre a ultrapassagem do limites indicados pela norma quando as esquadrias estão abertas. Porém, quando avaliamos o nível de ruído equivalente com as esquadria fechadas, é possível perceber que em nenhuma medição esse limite é ultrapassado, como observado na Tabela 14 e no gráfico 4:

Tabela 14 - Resultado das medições realizadas com esquadria fechada

Data	Horário	Local	Condição da esquadria	Laeq dB(A)	Lamax dB(A)	Lamin dB(A)	L10 dB(A)	L50 dB(A)
04/03/2021	07:30	Fechada	51,95	62,20	48,40	58,38	53,10	48,70
04/03/2021	12:30	Fechada	52,79	61,60	51,00	59,11	54,25	51,80
04/03/2021	17:30	Fechada	52,58	61,30	49,30	60,55	52,50	50,37
08/03/2021	07:00	Fechada	53,92	63,50	46,80	55,53	52,40	47,61
08/03/2021	12:30	Fechada	52,27	57,00	47,20	54,60	51,50	47,90
08/03/2021	17:30	Fechada	51,47	56,60	47,30	54,40	50,60	47,84

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Gráfico 4 - Ruído equivalente medições com esquadria fechada



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

4.6. Simulações

As simulações foram realizadas com os dados de tráfego disponibilizados pela Autarquia Municipal de Trânsito (AMC), como já comentado no item 4.1 desse capítulo. Assim, temos na Tabela 15:

Tabela 15 - Simulação utilizando a equação Lam e Tam (1998).

Horário	Volume de Trafego (Veic)	Velocidade (Km/h)	Percentual de veículos pesados (%)	Resultado (dBA)
7:00 às 8:00	1567,00	29,50	2,83%	65,57
12:00 às 13:00	937,00	29,93	3,54%	63,26
17:30 às 18:30	1193,00	26,25	3,34%	64,13

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Tabela 16 - Simulação utilizando a equação de Josse no pavimento térreo

Horário	Vol. de Trafego (Veic)	Percentual de veículos pesados (%)	Velocidade (Km/h)	Distancia da fonte (m)	Cv (dBA)	C% (dBA)	Ci (dBA)	Resultado (dBA)
7:00 às 8:00	1567,00	2,83%	29,50	16,60	-4,00	0,00	1,00	68,75
12:00 às 13:00	937,00	3,54%	29,93	16,60	-4,00	0,00	1,00	66,52
17:30 às 18:30	1193,00	3,34%	26,25	16,6	-4,00	0,00	1,00	67,57

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Tabela 17 - Simulação utilizando a equação de Josse no 5º pavimento

Horário	Vol. de Tráfego (Veic)	Percentual de veículos pesados (%)	Velocidade (Km/h)	Distancia da fonte (m)	Cv (dBA)	C% (dBA)	Ci (dBA)	Resultado (dBA)
7:00 às 8:00	1567,00	2,83%	29,50	22,70	-4,00	0,00	1,00	67,39
12:00 às 13:00	937,00	3,54%	29,93	22,70	-4,00	0,00	1,00	65,16
17:30 às 18:30	1193,00	3,34%	26,25	22,70	-4,00	0,00	1,00	66,21

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Em uma análise prévia da Tabela 16, é possível verificar uma variação cerca de 2 dB(A), entre os dois modelos de solução. No entanto, quando comparamos o efeito da distância entre a mesma equação de simulação entre a Tabela 16 e 17, o efeito é pouco significativo, cerca de 1 dB(A), quando na prática vimos que há um decaimento médio de 10,37 dB(A), como exposto no item 4.1 deste capítulo.

Tabela 18 - Comparação entre valores simulados e medidos em campo no pavimento térreo

Data	Horário	Local	Laeq [dB(A)]	Lam e Tam [dB(A)]	Josse [dB(A)]	Varição Lam e Tam [dB(A)]	Varição Josse [dB(A)]
04/03/2021	7:30 às 7:42	Térreo	68,06	65,57	68,75	2,49	-0,69
04/03/2021	12:30 às 12:42	Térreo	63,00	63,26	66,52	-0,26	-3,52
04/03/2021	17:30 às 17:42	Térreo	66,00	64,13	67,57	1,87	-1,57

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Tabela 19 - Comparação entre valores simulados e medidos em campo no 5º pavimento

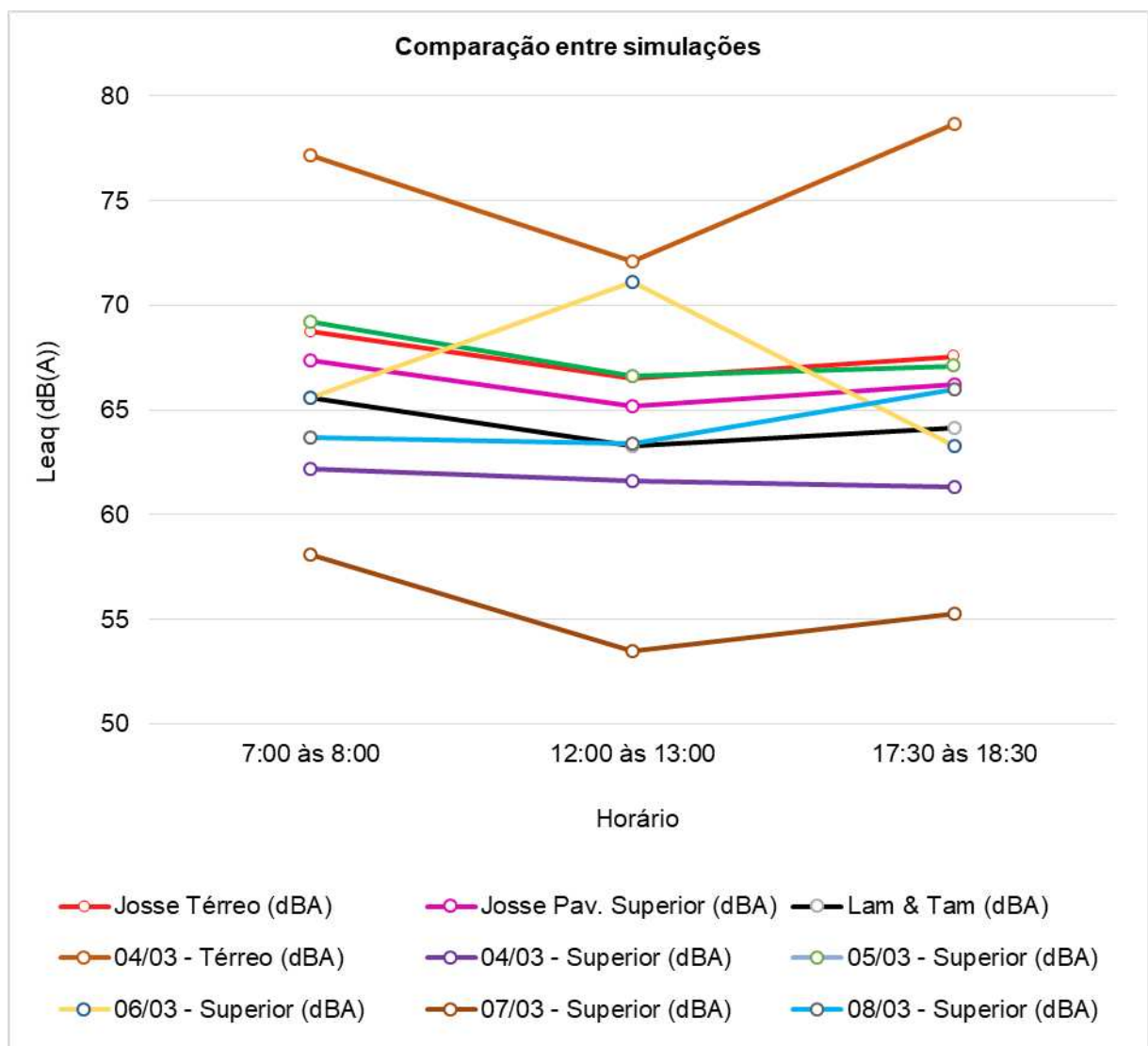
Data	Horário	Local	Laeq [dB(A)]	Lam e Tam [dB(A)]	Josse [dB(A)]	Varição Lam e Tam [dB(A)]	Varição Josse [dB(A)]
04/03/2021	7:30 às 7:42	5º andar	57,14	65,57	67,39	-8,43	-10,25
04/03/2021	12:30 às 12:42	5º andar	54,08	63,26	65,16	-9,18	-11,08
04/03/2021	17:30 às 17:42	5º andar	54,72	64,13	66,21	-9,41	-11,49

Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Analisando as Tabelas 18 e 19, é possível verificar, para a situação a qual a medição fica diretamente voltada para via, que em relação aos valores de ambas, os dados resultantes da simulação foram bastante assertivos. No entanto, na primeira

situação, a equação de Josse obteve maior destaque, com exceção do horário de 12:30, no qual a simulação de Lam e Tam (1998) obteve um desempenho mais assertivo. Além disso, quando aplicamos as mesmas equações para os pavimentos superiores, é possível perceber que a margem de erro eleva-se, situando-se em torno de 9 dB(A) na equação de Lam e Tam (1998) e cerca de 11 dB(A) na equação de Josse. Assim, não caracterizando-se como representativo para a realidade das medições realizadas.

Gráfico 5 - Comparação entre resultados das simulações



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

4.7 Alternativas para atenuação do nível de ruído

Como foi observado no tópico anterior, no que se refere a avaliação de ruído,

a edificação é sujeita a altos níveis de ruído equivalente, que em algumas ocasiões ultrapassa os limites estabelecidos pela norma. Porém, a esquadria existente atenua o suficiente para não permitir que o nível de ruído equivalente ultrapasse os limites estabelecidos.

No entanto, em dias como o domingo, que possui períodos de silêncio maiores, o incômodo pelos picos de ruído, que ultrapassam o limite indicado pela norma, prejudicam a qualidade de vida do usuário. Assim, existem alternativas que podem ser implementadas para melhorar o desempenho de isolamento acústico do local em questão.

A primeira medida diz respeito a manutenção da esquadria existente, através da troca das borrachas de vedação (Figura 30), uma vez que as atuais se encontram ressecadas, resultando no aparecimento de frestas, que tanto diminuem de maneira considerável a capacidade de isolamento da mesma, além de comprometer a capacidade de conter agentes externos.

Figura 30 - Substituição das borrachas de vedação para esquadrias de alumínio



Fonte: Viminias (2021)

Propõe-se, também, a colocação de cortinas no local, nas quais essas devem ser o mais grossas possíveis, de preferência optando por um sistema de cortinas duplas (Figura 31), onde exista um espaçamento entre as duas, provocando o efeito

massa-mola-massa, uma vez que a cortina faz o papel de absorvedor acústico para o ruído advindo da Avenida Antônio Sales, e, colocando-se duas, cria-se uma descontinuidade entre as mesmas, provocando o efeito supracitado e, assim, aumentando a capacidade de isolamento sonoro.

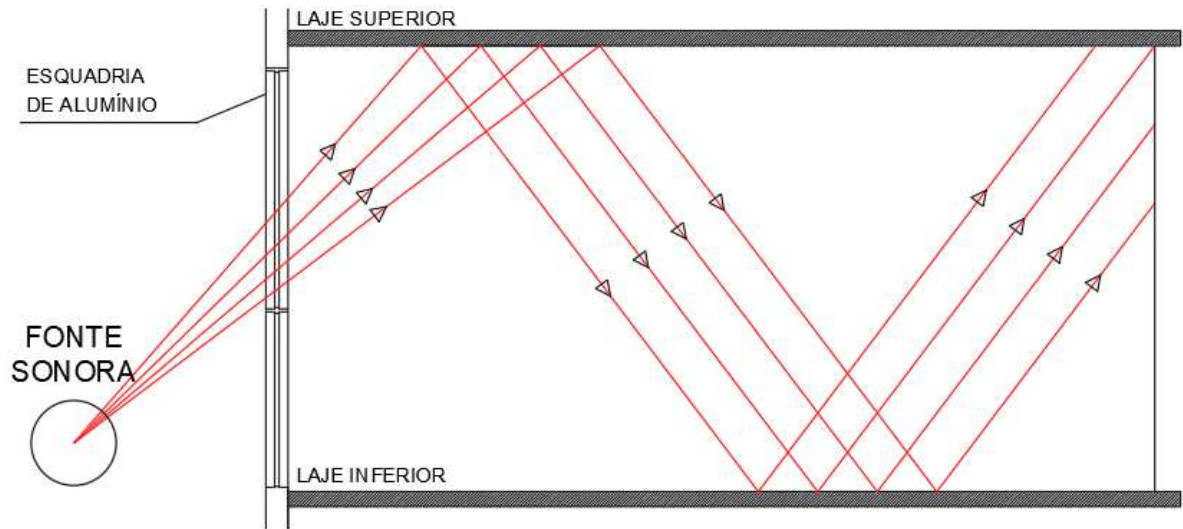
Figura 31 - Sistema de cortina dupla



Fonte: Admirare (2021)

Outra mudança pertinente trata da atenuação as reflexões decorrentes do ruído que adentra o recinto e tende a refletir tanto na laje superior quanto na laje inferior, uma vez que em sua maioria são superfícies de baixo índice de absorção acústica (mármore assentado sobre concreto armado). Este efeito é apresentado na Figura 32:

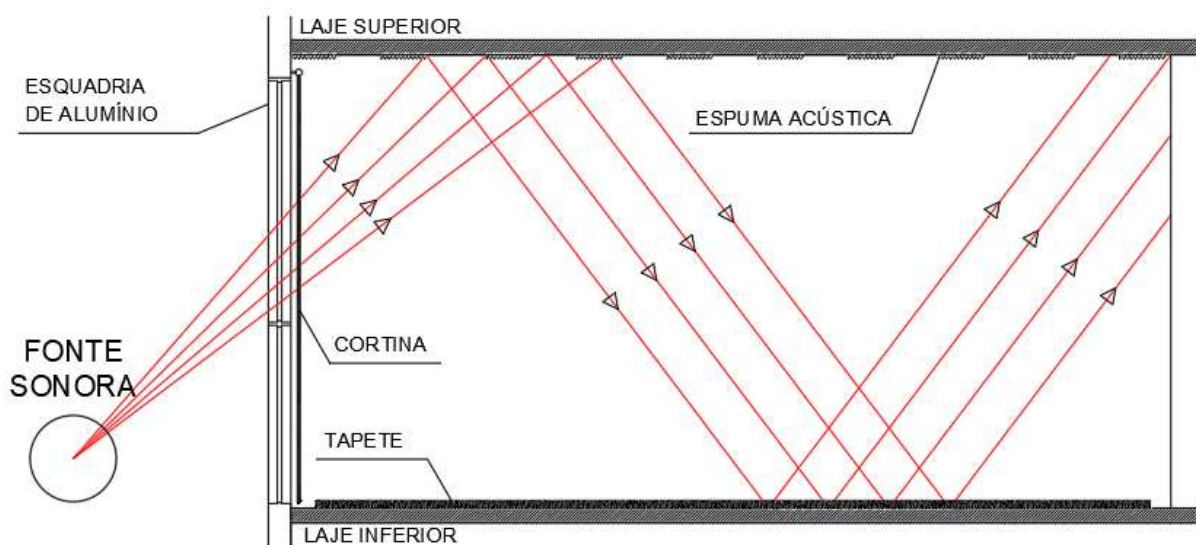
Figura 32 - Reflexões sonoras do ruído externo



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

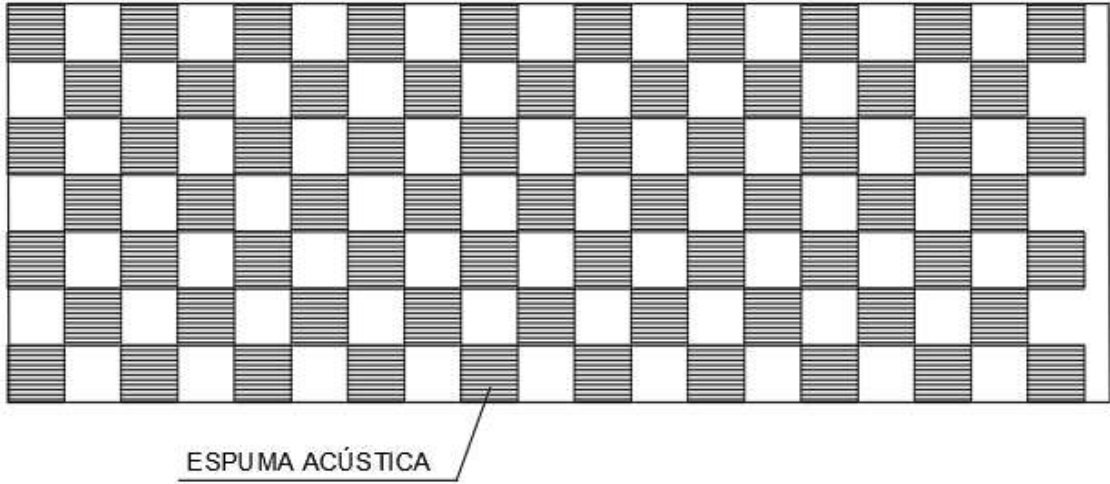
Portanto, para atenuar tal problemática, propõe-se a colocação de espumas fonoabsorventes na laje superior associadas à utilização de tapetes grossos no piso. Assim, acredita-se, o grau de reflexões no recinto tornam-se menores, além da atenuação da intensidade da onda que chega até esse materiais, uma vez que são absorvedores e retiram parte da energia sonora incidente. A Figura 33, ilustra a posição de cada uma das proposições recomendadas.

Figura 33 - Aplicação de soluções acústicas para atenuação de ruído



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

Figura 34 - Layout de apara instalação de espumas acústicas na laje superior



Fonte: Produzido pelo autor (2021)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, descreveu as medições de ruído provenientes de um apartamento localizado às margens de uma via de elevado volume de tráfego em um centro urbano de grande porte. Realidade muito presente na cidade de Fortaleza, e bastante comum em grandes municípios do território brasileiro.

Dessa maneira, foram realizadas medições de diferentes maneiras, e em horários distintos, buscando melhor compreender o ruído existente. Além disso, o trabalho contempla medições em um período histórico singular, não vivenciado anteriormente, do estabelecimento de medidas de isolamento social, e a limitação de livre tráfego dentro da cidade, fator que impactou bastante no número de viagens interzonais diárias no município. Além disso tal situação, dificultou o processo de medições de ruído, pois restringia a circulação até o local, tornando inviável a realização de outras medições no pavimento térreo. Outra questão pertinente, foi a dificuldade para adquirir instrumentos de medição na própria instituição de ensino, sendo preciso solicitar esses aparelhos a outras instituições.

No entanto, analisando as medições realizadas, foi possível perceber que a situação supracitada não diminuiu os níveis de ruído aferidos, em algumas situações veio até a aumentar, pois picos de ruído proveniente de motocicletas, e veículos de grande porte, aumentavam o níveis do ruído equivalente medido, assim, embora uma diminuição da quantidade de veículos limite a quantidade de ruído gerada, por outro lado, aumenta a velocidade média da via, elevando o ruído produzido pelo atrito do pneu com a rodovia, além dos excessos de ruído provocado pelo escapamento e motores de alguns desses modos. Concomitantemente a isto, o sistema de frenagem de ônibus, que muitas vezes utilizam freio a disco, o qual funcionam com base na fricção entre os componentes, produzem um ruído em altos níveis e com características bastante agudas, principalmente quando esse veículos se movimentam em alta velocidade e freiam bruscamente.

Além disso, os aplicativos de delivery, aumentaram consideravelmente a frota de motoboys, em especial no período de isolamento rígido, uma vez que os restaurantes foram obrigados a fechar funcionando apenas por delivery. Assim, principalmente no domingo no período após as 18 horas, onde apresenta os valores mais baixos de ruído, são percebidos os picos de ruído com maior intensidade, devido ao arranque de motocicletas e sua condução em alta velocidade, uma vez

que a avenida está praticamente vazia e é corredor de passagem para diferentes áreas da cidade.

Em uma análise do ruído medido, avaliando o seu nível com base na ABNT NBR 10151 (2020), foi possível verificar que o nível de ruído se manteve próximo ao limite estabelecido, e algumas vezes chegava a ultrapassá-lo. No entanto, medições realizadas com as esquadrias fechadas, foi possível perceber uma redução do nível de ruído gerado, porém de maneira pouco significativa, mas que para a situação em questão, foi suficiente para impedir que os limites estabelecidos pela norma fosse ultrapassados.

Contudo em uma análise subjetiva, tendo em vista que os picos de ruído chegaram a ultrapassar, em alguns casos, 10 dB(A) do limite estabelecido, sentiu-se a necessidade de uma esquadria que obtivesse um maior desempenho de isolamento acústico, pois tal medida seria capaz de mitigar tais situações e ainda promover um menor nível de ruído equivalente que adentra a edificação, tornando a exposição dos usuários consideravelmente menor.

Assim, propõe-se como medidas para mitigar o impacto do ruído na edificação, a manutenção da esquadria, realizando a troca das borrachas de vedação que estão desgastadas, a adoção de um sistema de cortinas duplas, escolhendo modelos que sejam de tecidos grossos, para ambas cortinas, além da fixação de espumas absorvedoras na laje superior e a colocação de um tapete espesso na laje inferior, o intuito de preencher o local com materiais absorvedores e reduzir a intensidade do ruído que adentra a edificação e atenuar as reflexões existentes.

Além disso, os modelos utilizados para realizar simulações, não atenderam de forma coerente o ruído que adentra as edificações, uma vez que a perda de intensidade sonora devido à distância, e a direção de propagação sonora na equação de Lam e Tam (1998), não é levado em consideração. A equação de Josse, embora leve em consideração o parâmetro da distância, é pouco sensível ao mesmo, assim, apresentando uma margem de erro alta na ordem de 22,19%.

Desse modo, sentiu-se a necessidade de elaboração de modelos que possam contemplar tais parâmetros de maneira mais significativa, pois, uma vez em posse de tais equações é possível estimar o valor do ruído equivalente em outras edificações que se encontrem em situação semelhante, fornecendo uma estimativa do

ruído que esta adentrando a edificação, assim, proporcionando insumos para indicar quais alternativas podem ser implementadas para mitigar a situação encontrada.

Portanto, o tema abordado no presente trabalho, é de fundamental importância para uma avanço na qualidade de vida dos usuários de empreendimentos sujeitos a ruído de tráfego, e evidencia a necessidade do uso de materiais com um desempenho acústico condizente com a necessidade.

Por fim, esse trabalho poderá contribuir para o progresso no campo da construção civil, para construir-se edificações mais adequadas, do ponto de vista do desempenho acústico, levando em consideração melhor planejamento da localização de futuros empreendimentos, considerando o problema do ruído de tráfego.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, p. 2. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação e uso geral. Rio de Janeiro, p. 2. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro, p. 2. 1987.

BALZAN, K L. Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC. Santa Maria, 2011.

BISTAFA, S. R. Acústica aplicado ao controle de ruído. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 2011.

BRITO, L. A. P. F.; CARVALHO J. B. J.; TOLEDO, V. D. A eficiência de algoritmos matemáticos para avaliação do ruído urbano. urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba v. 10, n. 1, p. 22-35, Apr. 2018

CARVALHO, Régio Paniago. Acústica arquitetônica. Brasília: Thesaurus, 2006.

COELHO, J. L. B., et al. Avaliação da exposição ao ruído da população em Portugal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 1.; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 17., 1996, Petrópolis. Anais... Petrópolis: SOBRAC, 1996. p. 275-278.

CREMONESI, J. F. Desempenho acústico, arquitetura e urbanismo. Apresentação de aula – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. 28 slides. Disponível em:. Acesso em 28/02/2021.

DEL CARLO, U. Ruído urbano. 1979. 1 v. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

DNIT – Departamento Nacional e Infra-estruturas e transportes. Ministério dos Transportes. Norma DNIT 076 de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental acústico das áreas lindeiras da faixa de domínio - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 11 jul. 2006. 9 p.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. Pró-Fono Revista de Atualização Científica, Barueri (SP), v. 17, n. 2, p. 251-258, maio-ago. 2005.

FORTALEZA. Lei municipal complementar N° 236, de 11 de agosto 2017. Parcelamento, uso e ocupação do solo. Disponível em: https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/images/urbanismo-e-meioambiente/legislacao-municipal/lei_complementar_236_2017.pdf

FORTALEZA. Lei Ordinária nº 8097, de dezembro de 1997. Disponível em: <https://sapl.fortaleza.ce.leg.br/ta/138/text#:~:text=DISP%C3%95E%20SOBRE%20MEDIDAS%20DE%20COMBATE%20%C3%80%20POLUI%C3%87%C3%83O%20SONORA%20E%20D%C3%81%20OUTRAS%20PROVID%C3%84NCIAS.&text=Vig%C3%A4ncia%20a%20partir%20de%205%20de%20Julho%20de%202018.>

FORTALEZA (Cidade). Prefeitura do Município de Fortaleza. Instituto de Planejamento de Fortaleza. Plano de Mobilidade de Fortaleza (PlanMob). Fortaleza: 2015. Disponível em: https://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/assets/files/publications/fortaleza2040_plano_de_mobilidade_urbana_17-08-2015.pdf

FORTALEZA (Cidade). Prefeitura do Município de Fortaleza. Instituto de Planejamento de Fortaleza. Projeto Fortaleza 2040. Fortaleza: 2015. Disponível em: https://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/assets/files/publications/fortaleza2040_i-mostra-virtual_11-09-2015.pdf

GONÇALVES, V. S. B.; SILVA, L. B.; COUTINHO, A. S. Ruído como agente comprometedor da inteligibilidade de fala dos professores. Production, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 466-476, 2009.

KAWAKITA, C. Y. Medição do ruído de tráfego na rodovia sp 270 e avaliação da satisfação quanto ao conforto acústico de seus moradores. Ed.rev. São Paulo, 174 p. 2008.

LAM, H. K., & TAM, M.L. (1998). Reliability analysis of traffic noise estimates in Hong Kong. *Transportation Research*, 2238-248.

OLIVEIRA, M. P. G.; MEDEIROS, E. B.; DAVIS JR., C. A. Planejando o meio ambiente acústico urbano: uma abordagem baseada em SIG. *Revista IP*, Belo Horizonte, ano 2, n. 1, p. 81-96, 2000. Disponível em: . Acesso em: 20 fev 2011.

PIMENTEL-SOUZA F., 1992. *Revista Brasileira de Acústica e Vibrações*, 10: 12-22.

RAMOS, J. O. P. Dinâmica urbana na cidade de São Paulo: o desafio do desenho das soluções acústicas. 156p.: i., São Paulo, 2007.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo arquitetura. São Carlos: EdUFSCar, 2009.

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. *Ciênc. saúde coletiva*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 7, p. 2201-2210, July 2015.

VALLE, Sólton do. Manual prático de acústica.3.ed. Rio de Janeiro: Musica & Tecnologia, 2009.

VAN KEMPEN, Transportation noise exposure and children's health and cognition, E.E.M.M. Thesis, Utrecht University, Utrecht, 2008.

World Health Organization (WHO). Guidelines for community noise. Edited by Birgitta Berghund, Thomas Lindvall, Dietrich H. Schela. 1999.