UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

BRUNA TAMARA DE LIMA

CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL CAUSADO POR INSTRUMENTOS DE PERCUSSÃO

MARINGÁ
2020

BRUNA TAMARA DE LIMA

CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL CAUSADO POR INSTRUMENTOS DE PERCUSSÃO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, na área de concentração Infraestrutura e Tecnologia Urbana, para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares

MARINGÁ

2020

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

Lima, Bruna Tamara de

L732c Caracterização do ruído ambiental causado por instrumentos de percussão / Bruna Tamara de Lima. -- Maringá, PR, 2020.

130 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando Soares.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2020.

1. Ruído ambiental . 2. Bateria - Instrumento de percussão - Ruído. 3. Tráfego - Ruído. 4. Percepção sonora. I. Soares, Paulo Fernando, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. III. Título.

CDD 23.ed. 620.23

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, agradeço a Deus.

Agradeço a meus pais, Auricelia e Clovis, pela educação, dedicação, apoio e amor incondicionais desde sempre.

Agradeço a meu irmão, Clovis Junior, meu amigo e companheiro desde a infância e, mais recentemente, também minha “trena” e parceiro de medições.

Agradeço a meus amigos e familiares que têm me acompanhado e torcido por mim.

Agradeço a meus professores todos que, de alguma forma, contribuíram em minha trajetória.

Agradeço a meu orientador, Professor Doutor Paulo Fernando Soares, que direcionou o trabalho com total solicitude e com quem aprendi lições que vão além do âmbito acadêmico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O ruído ambiental é um problema observado em grande escala nos espaços urbanos do mundo todo. Demandando caracterização e mitigação, as quais podem ser realizadas com base em medições do índice de pressão sonora dos locais de interesse. O objeto desta pesquisa é verificar, por meio da medição dos níveis de ruído, se as queixas dos residentes do entorno a respeito de seu desconforto acústico são fundamentadas. Equipamentos apropriados realizam as leituras que são compiladas por *softwares* específicos. De posse dos dados aferidos, o equacionamento do nível de pressão sonora, descritores estatísticos e outros indicadores, pode ser efetuado e demonstrado de maneira quantitativa a condição sonora do ambiente em estudo. Neste trabalho, a área em estudo corresponde aos ensaios das baterias estudantis dos graduandos da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Tal atividade soma forças ao ruído de tráfego da Avenida Colombo para compor um ambiente sonoro desagradável. Esta área, entre outros usos, é também residencial, motivo pelo qual os efeitos do ruído tornam-se ainda mais preocupantes e têm gerado reclamações dos moradores locais. A caracterização do ruído ambiental da área apresenta que os níveis sonoros estão acima dos limites estabelecidos em norma e legislação municipal. Resultados estes que indicam a necessidade de intervenções no ambiente. Sugere-se o planejamento da construção de barreiras acústicas em torno dos espaços destinados aos ensaios das baterias visando a possível atenuação dos níveis de ruído destes. Embora os valores normatizados não sejam ainda completamente atendidos, é conseguida significativa diminuição dos níveis de ruído monitorados segundo os cálculos efetuados.

Palavras-chave: ruído ambiental urbano; ruído de baterias; percepção sonora; indicadores de ruído; mitigação do ruído; barreira acústica.

ABSTRACT

Environmental noise is a problem seen on a large scale in urban spaces around the world. Demanding characterization and mitigation, which can be performed based on measurements of the sound pressure index of the places of interest. This research aimsn to verify, through the measurement of noise levels, if the complaints of the surrounding residents regarding their acoustic discomfort are substantiated. Appropriate equipment performs readings that are compiled by specific software. With the collected data, the sound pressure level equation, statistical descriptors and other indicators, can be performed and demonstrated in a quantitative way the environmental noise condition of the place. In this research, the area under study corresponds to the rehearsals of student drums of State University of Maringá's (UEM) undergraduates. Such activity plus the traffic noise of Avenida Colombo compose an unpleasant environment in noise terms. This area, among other uses, is also residential, which is why the effects of noise become even more worrying and have brought on complaints from local residents. The characterization of the environmental noise in the area showed that the sound levels are above the limits established in municipal regulations and legislation. These results indicate the need for interventions in the environment. It is suggested to plan the construction of acoustic barriers around the spaces destined to the tests of the batteries, aiming at the possible attenuation of the noise levels of these. Although the standardized values are not yet fully met, a significant reduction in the monitored noise levels is achieved according to the calculations performed.

Keywords: urban environmental noise; drums noise; sound perception; noise indicators; noise mitigation; noise barrier.

SUMÁRIO

1. Introdução 7
   1.1 Justificativa 8
   1.2 Objetivos 9
      1.2.1 Objetivo Geral 9
      1.2.2 Objetivos Específicos 9
2. Revisão de Literatura 10
   2.1 Cenário 10
   2.2 Som e Ruído 13
   2.3 Unidade de medida do som 16
   2.4 Ondas Sonoras 19
   2.5 Propagação sonora 26
   2.6 Grandezas para avaliação do ruído 40
   2.7 Incomodidade provocada pelo ruído 42
   2.8 Seleção de critérios 50
   2.9 Alternativas para mitigação 52
      2.9.1 Barreiras acústicas 56
   2.10 Monitoramento 72
3. Metodologia 75
   3.1 Caracterização do objeto de estudo 76
   3.2 Materiais e métodos 78
   3.3 Monitoramento local 80
   3.4 Caracterização do ruído 83
4. Resultados e Discussões 84
   4.1 Dimensionamento da barreira acústica 95
5. Considerações Finais 105
   5.1 Proposta de indicador de percepção sonora 106
6. Referências 108

1. INTRODUÇÃO

Os centros urbanos estão saturados de sons que variam de extremamente desagradáveis a alegres, de subprodutos completamente não intencionais de atividades humanas, como obras de construção, até formas calculadas, como comerciais, alarmes e obras de arte destinadas ao prazer (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2014; HAN et al., 2018). Este é o caso da música. Pois, quando muito intensa, a música pode ser uma ameaça à saúde das pessoas, causar incômodos e conflitos entre aqueles que a utilizam em ambientes públicos ao ar livre e aqueles que se sentem desconfortáveis (ZHOU, 2014). Desse modo, não há uma delimitação precisa: dependendo da época histórica, a música foi classificada como som e, em outras, como ruído (SALLAS et al., 2013).

O ruído ambiental corresponde ao som externo que afeta os seres humanos e, geralmente, é provocado por atividades industriais, sociais, recreativas e de transporte. É considerado um poluente ambiental, cujo impacto negativo na saúde humana é reconhecido (MURPHY; KING, 2014; MÜNZEL et al., 2014; TORIJA; RUIZ, 2015). A poluição sonora compromete o equilíbrio ambiental, deteriora o ambiente das áreas residenciais - afetando seus moradores -, tem relação direta com o processo de urbanização e pode apresentar consequências mais graves em situações de falta de controle e gerenciamento do poder público, que não atua mais efetivamente na gestão urbanística (SILVA et al., 2017; SULAIMAN et al., 2018).

O ruído é um fenômeno quantificável e perceptível, que deve ser abordado de forma técnica, avaliado e analisado para posterior tomada de ações (SILVA et al., 2017). A caracterização do ruído proveniente das diversas fontes emissoras pode servir como base conceitual e definitiva para melhorias da gestão ambiental, planejamento urbano e de normas da construção civil para maior conforto acústico e melhor qualidade de vida (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2015; SILVA et al., 2017). Por isso a importância da identificação e avaliação do ruído não-residencial associado ao transporte, indústria, construção, atividades humanas e comerciais, de modo que o ruído ambiental seja um dos fatores considerados no desenvolvimento de projetos urbanos sustentáveis (BOTTERO, 2015; HARMAN; KOSEOGLU; YIGIT, 2016).

Os efeitos negativos da poluição sonora, associados ao aumento e adensamento das fontes de ruído, tornam medidas de mitigação e controle, que regulem a paisagem sonora urbana por meio de ferramentas de planejamento urbano com objetivo de alcançar o conforto acústico, tão complexas tanto quanto urgentes (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2014; BRESSANE et al., 2016). Dessa forma, este trabalho visa verificar o ruído ambiental provocado pelos ensaios das baterias universitárias maringaenses de modo a averiguar se o desconforto dos cidadãos é real e contribuir com o planejamento e gestão urbana do município em termos de qualidade ambiental sonora.

1.1 Justificativa

De acordo com Diretiva Europeia 2002/49/CE, é necessário que um elevado nível de manutenção da saúde e do ambiente seja alcançado, sendo a proteção contra o ruído um dos objetivos a atingir (EUROPEAN COMMISSION, 2002).

Segundo Mietlicki et al. (2015), entre as diversas fontes sonoras que contribuem para a poluição sonora, têm-se o tráfego veicular, as atividades industriais, comerciais e, até, de lazer. Com a alta densidade populacional, a poluição sonora em áreas urbanas é ainda mais grave (WANG, CHEN; CAI, 2018), demandando uma melhor compreensão da magnitude e da variação espacial nos níveis de exposição ao ruído (HAN et al., 2018; OIAMO et al., 2018). Assim sendo, é essencial avaliar a população exposta ao ruído em áreas urbanas e fornecer os dados básicos para redução do ruído (WANG, CHEN; CAI, 2018).

A avaliação da qualidade do ambiente acústico urbano é um importante desafio para o planejamento e gerenciamento da urbe (LAKES; BRÜCKNER; KRÄMER, 2013; DI et al., 2018; OIAMO et al., 2018; XU; ZHU; QIN, 2019). Pesquisas sobre a paisagem sonora e a acústica ambiental podem contribuir para o planejamento espacial e urbano, arquitetura e proteção do patrimônio cultural, principalmente definindo a demanda por conforto acústico e a influência da paisagem sonora no espírito do lugar (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2014).

Realizou-se um levantamento bibliométrico no Portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) na seção *Periódicos* - para publicações dos últimos cinco anos. A bibliometria visou quantificar os

trabalhos que estivessem na intersecção ruído ambiental e baterias estudantis/universitárias.

Constatou-se que no tratamento do ruído ambiental urbano, estudos têm direcionado seus esforços ao tráfego veicular e ao mapeamento do ruído (WARE et al., 2015; BASTIÁN-MONARCA; SUÁREZ; ARENAS, 2016; GUILLAUME et al., 2016; THOTA; WANG, 2017; BOSTANCI, 2018; MARGARITIS et al., 2018; WANG; CHEN; CAI, 2018; XU; ZHU; QIN, 2019).

Da relação de baterias estudantis e ruído, somente um trabalho foi verificado. Este, porém, estuda distúrbios cocleares devido à exposição ao ruído (SILVA; FIORINI; AZEVEDO, 2017). Ou seja, não foram identificadas publicações que estudassem o ruído ambiental relacionado a baterias estudantis. O que denota uma possível lacuna, na qual se insere o presente trabalho. Ademais, a situação estudada é específica e de interesse do local em questão.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Caracterizar o ruído causado pelas baterias universitárias em Maringá, Paraná, para verificar o incômodo à população do entorno, de modo a contribuir com o a caracterização da qualidade ambiental sonora do município.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Monitorar o ruído das baterias universitárias em Maringá;

- Avaliar o ruído ambiental da área em questão;

- Sugerir uma alternativa para mitigação do ruído caracterizado;

- Apresentar contribuições com a gestão e o planejamento urbano.

2. REVISÂO DE LITERATURA

Neste tópico será discorrido sobre os assuntos pertinentes e necessários para o desenvolvimento e compreensão do trabalho.

2.1 Cenário

Onipresente nas culturas humanas em toda a extensão da vida do homem, a música faz parte de uma grande variedade de situações sociais, como elemento de diversão, ligação social e regulação do humor (LOUI et al., 2018).

De acordo com Souza et al. (2018), alguns autores definem música como a combinação organizada de sons e silêncios; porém, deve-se complementar que a música é formada por melodia, harmonia e ritmo. A música está presente na vida do homem, seja de modo ativo (em que este toca, canta ou ouve) ou passivamente, quando não há decisão por ouvir, mas esta condição lhe é imposta, pois a música faz parte do ambiente (FONTERRADA, 2004).

A música tem sido empregada pela sociedade de diversas maneiras, com funções variadas: músicas para inclusão, para socialização, para integração, para atividades físicas, para métodos terapêuticos, etc.; além de haver música nos carros, nas ruas e vários outros lugares (SOUZA et al., 2018).

De acordo com Mestrinel (2018), as agremiações de baterias produzem música, cujo ritmo pode ser designado como batucada ou batuque: ritmo tocado por instrumentos de percussão.

Os instrumentos da família de percussão são tímpanos, bumbos, caixas, pratos xilofone, celestes, gongos, etc. São instrumentos que precisam ser agitados ou percutidos para produzirem som. Alguns têm origem bastante remota, desde o início da história do homem, período em que eram utilizados para rituais, danças e para enviar sinais de comunicação e de guerra. São instrumentos cuja intensidade sonora é bastante superior aos das demais famílias (como de cordas e madeiras). Além disso, muitos deles apresentam frequência de ressonância na faixa baixa do espectro sonoro (como os tambores) (FAZZIO, 2018).

Os instrumentos de percussão podem ser agitados, batidos, friccionados ou raspados com as mãos, baquetas ou um contra o outro para que soem (BERKLEY; JENKINS, 2009).

A relação entre baterias de escola de samba e o esporte (o futebol em princípio) é histórica e significativa (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2018). Com o tempo, as baterias ganharam espaço e cada vez mais adeptos nas universidades. Atualmente, de acordo com Santos (2015), a atividade das baterias é um componente essencial para motivar as equipes esportivas (modalidades diversas) e animar as torcidas durante as competições.

Somado ao fato de serem importante apoio nas competições das equipes das atléticas, participando nas arquibancadas motivando a torcida, as baterias universitárias participam de competições locais, estaduais e nacionais, além de se apresentarem como atrações musicais de grandes festas, eventos e formaturas (INTEGRAE, 2017).

A formação dos grupos de baterias universitárias promove a integração, a inclusão e a socialização entre os acadêmicos, o que contribui para preservar sua saúde emocional e psicológica (SOUZA et al., 2018). Além de serem movimentos de manifestação cultural, conferindo às baterias um papel sociocultural no ambiente das universidades (VARGAS, 2018).

A Constituição Federal Brasileira assegura a proteção, promoção e valorização das manifestações culturais populares nacionais, afirmando em seu Artigo 215 que “O Estado garantirá a todos o pleno exercício dos direitos culturais e acesso às fontes da cultura nacional, e apoiará e incentivará a valorização e a difusão das manifestações culturais” (BRASIL, 1988). Dessa forma, os ensaios das baterias universitárias são expressões musicais garantidas. Também é constitucional o direito a um ambiente confortável e seguro, segundo o Artigo 225:

> Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O Inciso V do mesmo artigo atribui ao poder público “controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente” (BRASIL, 1988). O ruído ambiental é considerado elemento nocivo à saúde humana e ao ambiente, de modo que deve ser evitado e combatido.

Estabelece-se assim um cenário conflituoso: de um lado a liberdade de expressão cultural que as baterias universitárias representam e de outro o incômodo pelo ruído gerado pelos ensaios a céu aberto. Pois, embora as normas brasileiras (ABNT NBR 10151:2019 e ABNT NBR 10152:2017) apresentem diretrizes no tratamento do ruído em diferentes situações, não há determinação de valor específico de níveis de ruído aceitável ou confortável para espaços públicos (PANETO; ALVAREZ; ZANNIN, 2017).

Atributos físicos do ambiente podem influenciar níveis relativos de exposição ao ruído, enquanto contextos socioculturais e a sensibilidade pessoal podem influenciar percepções ambientais, de modo que os efeitos do ruído do tráfego em grandes áreas urbanas pode ocultar fenômenos importantes que ocorrem no nível da vizinhança (OIAMO et al., 2015). O som, enquanto elemento de percepção, faz parte do arranjo dos espaços, da composição de paisagens e da identidade dos lugares (MALANSKI, 2017).

Segundo Tunes (2015), da iniciativa brasiliense *“Quem desligou o som?”*, tem havido nos últimos anos uma tendência ao endurecimento nas normas de convivência na cidade, motivado por reclamações e denúncias de cidadãos que não aceitam compartilhar os espaços públicos, exigindo um direito ao silêncio absoluto ou aos espaços vazios.

O espaço público é uma tradução espacial da esfera pública, relativo à combinação entre o material físico e as diferentes formas de utilizá-lo socialmente. Podem ser divididos em espaços institucionais (destinados ao funcionalismo público) e os espaços abertos (ruas, praças e parques). Esses espaços têm visibilidade e têm como prerrogativa de existência a utilização compartilhada de caráter público, ou seja, aquilo que é de todos (CATALÃO; MAGRINI, 2017).

Segundo Ramlee et al. (2015), espaços públicos são importantes para as cidades e equivalem a locais dispostos ou reservados para o uso total ou parcial como jardim público, parque, campo desportivo e de recreação, local de diversão, passeio ou caminhada. De acordo com Ventura (2016), os espaços públicos são locais onde pode-se promover encontros e socialização de pessoas diferentes, propiciando o exercício da tolerância e da convivência entre estas. Para Paneto, Alvarez e Zannin (2017), uma das maneiras mais democráticas em que o espaço urbano é usado corresponde às atividades relacionadas à saúde e bem-estar em áreas públicas das cidades.

Para Díaz Del Castillo et al. (2017), os espaços públicos (parques, trilhas, ciclovias, ruas e praças) provêm oportunidades para recreação e promoção de atividades físicas (como caminhadas e ciclismo). De acordo com Thin, Brookfield e Scott (2018), espaços públicos, que podem incluir equipamentos para exercícios, são de interesse para a realização de atividades físicas, principalmente idosos.

2.2 Som e Ruído

A acústica é a ciência do som, o qual é uma onda em movimento. Em uma onda, a ocorrência de uma mudança ou distúrbio em alguma propriedade física do meio é transmitida por esse meio, assim, quando um som ocorre no ar, a onda sonora causa vibrações nas moléculas do ar. Devido a tais moléculas serem elasticamente conectadas, uma vez que o ar é um meio elástico, esta vibração é propagada pelo ar, cujas camadas vibrantes contêm energia. A principal característica do meio capaz de transmitir ondas sonoras é que este deve possuir elasticidade e inércia, sendo que as referidas ondas podem se propagar através de sólidos, líquidos e gases, mas não no vácuo (PETERS; SMITH; HOLLINS, 2013).

Segundo Bistafa (2018), o som é um fenômeno que ocorre pela vibração das moléculas do ar, a partir de estruturas que vibram, causando a sensação de audição e está também relacionado ao princípio físico análogo. Por esse motivo, infrassons e ultrassons são perturbações de frequências tão baixas ou altas, respectivamente, que são consideradas sons, embora não sejam ouvidas por um

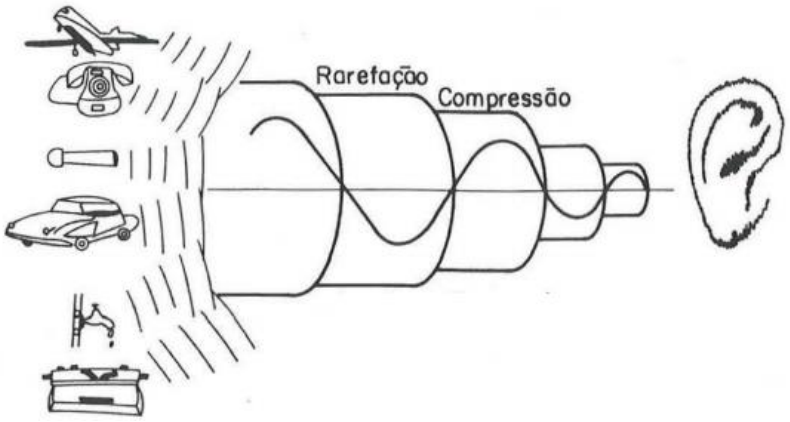
ser humano em condições de normais. Enquanto ruído é um som indesejável e sem harmonia, capaz de comprometer a saúde humana.

Segundo Gerges (2000), o som é caracterizado por flutuações de pressão em meio compressível, gerando sensação de audição no ouvido humano. Porém, flutuações de pressão inferiores 20Hz não são audíveis aos seres humanos, assim como flutuações de pressão superiores a 20kHz, que provocam sensação de dor e não de som (por exemplo, mísseis ou turbinas movidas à gás). Os ruídos são gerados pela variação da pressão ou velocidade das moléculas no meio são e são considerados sons indesejáveis ou desagradáveis.

Segundo Murphy e King (2014), o som resulta de variações de pressão em um meio, geralmente o ar - podendo ser propagado através da água e de sólidos. As flutuações de pressão acima e abaixo da pressão atmosférica são percebidas pelo ouvido humano, o que gera a sensação de audição. O ruído é o som indesejado, capaz de provocar danos e perturbações aos seres humanos e aos animais. Ou seja, o som é um fenômeno que ocorre pela vibração das moléculas do ar, a partir de estruturas que vibram. Tais flutuações de pressão acima e abaixo da pressão atmosférica são percebidas pelo ouvido humano, causando a sensação de audição. Enquanto o ruído é um som desagradável, indesejável e sem harmonia, capaz de provocar danos e perturbações à saúde humana (GERGES, 2000; MURPHY; KING, 2014; BISTAFA, 2018).

Como o som é uma forma de energia que é transmitida devido às colisões entre as moléculas do meio de maneira consecutiva, a etapa de transmissão pode ser representada por compressões e rarefações em série, partindo da fonte sonora e se propagando pelo meio (GERGES, 2000), como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Propagação sonora

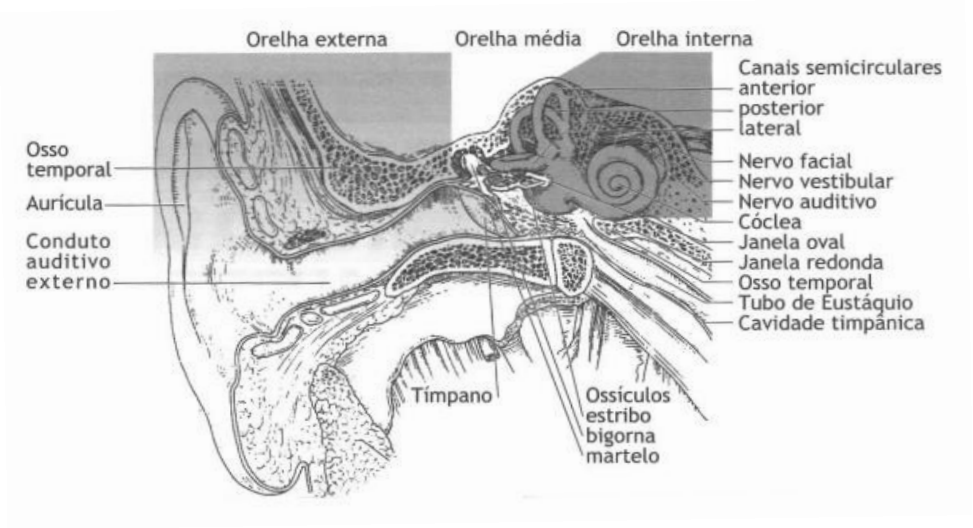


Fonte: GERGES (2000)

A orelha humana compreende o sistema responsável por transmitir os sons e ruídos ao cérebro. Primeiramente, tem-se a geração do som, este é propagado até a aurícula e ao interior do conduto auditivo externo. Então, o tímpano vibra, seguido pela vibração dos ossículos da orelha média. São transmitidas ondas de pressão para o líquido no interior da cóclea, esta, por sua vez, codifica o som, o qual é transmitido ao cérebro por meio do nervo auditivo (BISTAFA, 2018).

A orelha pode ser dividida em orelha externa, orelha média e orelha interna. A primeira é composta pela aurícula e pelo conduto auditivo externo, que têm função de transmissão sonora, proteção do tímpano e manutenção de um percurso não-obstruído para o som. A orelha média é composta pelo tímpano e pelos ossículos martelo, bigorna e estribo, e sua função é equilibrar as impedâncias (razão entre a pressão sonora e a velocidade das partículas, que caracteriza a resistência à passagem do som) do ar e da cóclea ao transmitir para esta a energia sonora incidente no tímpano. A orelha interna é constituída pelo labirinto ósseo e pelo labirinto membranáceo e sua atribuição é, finalmente, transmitir os sinais elétricos codificados em sons para o cérebro (GERGES, 2000; BISTAFA, 2018). Este sistema está representado na Figura 2.

Figura 2 – Anatomia da orelha humana



Fonte: BISTAFA (2018)

2.3 Unidade de medida do som

O Bel (B) é uma medida do nível de potência em relativa à potência de referência, em relação logarítmica, como descrito pela Equação 1, e admite tanto valores positivos quanto negativos (BISTAFA, 2018).

$$bel = log\left(\frac{W}{W_0}\right) \quad (1)$$

Em que W é a potência do sistema e W_0 é a potência de referência.

Como zero bel equivale a $W = W_0$, o Bel é uma unidade relativa dependente de W_0, o que demanda que um valor de referência seja apontado. Como $1\,B$ equivale a $W = 10\,.W_0$, ficou clara a necessidade de se demonstrar as variações menores de potência. Assim, em 1929, engenheiros da *Bell Telephone Laboratories* (*Bell Labs*), criaram o "decibel" (dB) como submútiplo do bel, tal que $1\,B = 10\,dB$. Assim, quando dos cálculos relacionados ao som, utiliza-se da escala logarítmica (BISTAFA, 2018).

A escala decibel relaciona-se a quantidade de intensidade e pressão sonora, que é o estímulo físico mais bem correlacionado com a sensação de som. Dessa forma, o nível de pressão sonora (NPS) é uma medida física que caracteriza a sensação subjetiva dos sons, determinando o grau de pressão de uma onda sonora (que é toda a energia acústica emitida por uma fonte sonora por unidade

de tempo) por meio da Equação 2. A intensidade sonora corresponde a quanto de energia em média atravessa a área unitária perpendicular à direção em que a onda se propaga, por unidade de tempo. Esta é demonstrada na Equação 3 (GERGES, 2000; PETERS; SMITH; HOLLINS, 2013; BISTAFA, 2018).

$$NPS = 10\log(\frac{P}{P_0})^2 \qquad [dB] \qquad (2)$$

Em que P é a pressão sonora e P_0 é a pressão sonora de referência ($2x10^{-5}Nm^{-2}$).

$$L_i = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad [dB] \qquad (3)$$

Em que L_ié o nível de intensidade sonora e $I_0 = 10^{-12}\ Wm^{-2}$.

A intensidade sonora (I) é a quantidade média de energia que atravessa uma unidade de área perpendicular à direção que a onda se propaga, pela unidade de tempo, por isso Wm^{-2}. Para ondas esféricas, ao se multiplicar a área da esfera ($4\pi r^2$), tem-se a potência sonora (W); tal relação é expressa pela Equação 4 (KANG, 2007; BISTAFA, 2018).

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \qquad [Wm^{-2}] \qquad (4)$$

Segundo Kang (2007), pode-se calcular o índice de pressão sonora a partir do índice de potência sonora, conforme a Equação 5.

$$L_p = L_w - 20\log(\mathrm{d}) - 11 \qquad [dB] \qquad (5)$$

Em que:

L_p: índice de pressão sonora;

L_w: índice de potência sonora;

d: distância de uma fonte pontual.

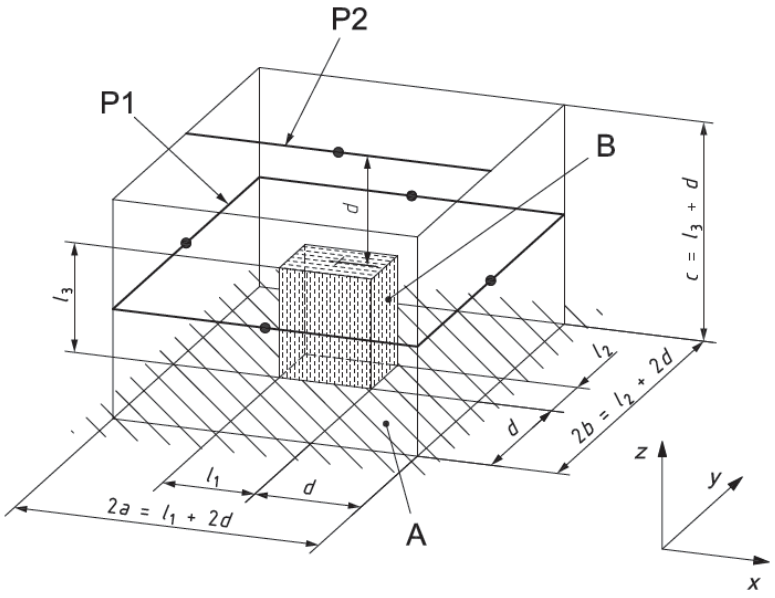
Ainda conforme Kang (2007) e López e Martín (2017), para fontes lineares, próximas a solo duro e que reflexões podem ocorrer, o índice de potência sonora pode ser obtido por meio da Equação 6.

$$L_p = L_w - 20\log(\mathrm{d}) - 8 \qquad [dB] \qquad (6)$$

A ISO 3744 (*Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*) de 2010, especifica métodos para determinar o nível de potência sonora de uma fonte de ruído a partir dos níveis de pressão sonora medidos em uma superfície que envolve essa fonte (máquinas ou equipamentos) em um ambiente que se aproxima de um campo livre próximo a um ou mais planos refletores. Pode-se calcular o nível da potência sonora (Equação 8) da fonte sonora a partir da medição de sua pressão sonora (Equação 7). A superfície de medição é a área da caixa referência (Figura 3), que corresponde ao menor polígono possível que contenha a fonte de interesse, e pode assumir os formatos esférico, cilíndrico, paralelepipedal, ou uma combinação desses, podendo, ainda ser subdivididos para as leituras (ISO 3744, 2010).

A distância de medição (d), que diz respeito ao posicionamento do microfone do aparelho de medição, deve ser de, pelo menos, 0,25 m; porém, preferencialmente, d deve ser de, no mínimo, 1 metro, (ISO 3744, 2010).

Figura 3 – Distâncias (d) de posicionamento do microfone



Fonte: ISO 3744 (2010)

Em que:

Posições do microfone

A - plano refletor

B - Caixa de referência

$2a$ - comprimento da superfície de medição

$2b$ - largura da superfície de medição
c - altura da superfície de medição
d - distância da medição
l_1 - comprimento da caixa de referência
l_2 - largura da caixa de referência
l_3 - altura da caixa de referência
Caminhos 1 e 2 - $P1$, $P2$

$$\overline{L'}_{p(ST)} = 10\log(\frac{1}{S}\sum_{i=1}^{N_m} S_i \text{ x } 10^{0,1L'_{pi(ST)}}) \qquad [dB] \qquad (7)$$

Em que

N_m: número de pontos de medição;

S: a área total da superfície de medição;

S_i: a área parcial associada à posição de microfone;

L'_{pi}: nível de pressão sonora equivalente para cada ponto de medição.

Para o cálculo da potência sonora, tem-se a Equação 8 (ISO 3744, 2010).

$$L_w \approx \overline{L_p} + 10\log(\frac{S}{S_0}) \qquad [dB] \qquad (8)$$

Em que

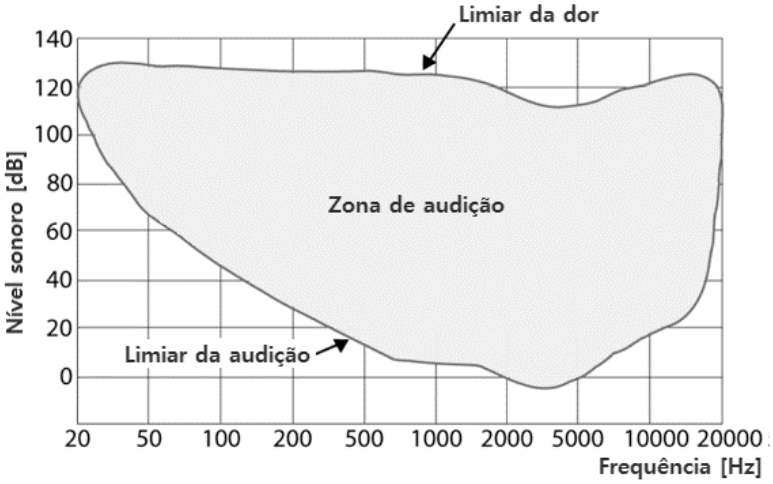
S: área da superfície de medição, em metros quadrados;

S_0: área de referência, 1 m².

2.4 Ondas sonoras

A menor variação de pressão ambiental detectável pelo sistema auditivo humano é de $2\ x\ 10^{-5}\ Pa$, que corresponde ao *limiar da audibilidade*; a variação da pressão ambiente que pode ser dolorosa é de $60\ Pa$, denominada *liminar da dor*, em uma frequência de $1000\ Hz$ de referência (Figura 3) (BISTAFA, 2018).

Figura 3 – Audibilidade humana



Fonte: Adaptado de SCHEIFELE et al. (2012)

Embora as ondas sonoras sejam propagadas sucessivamente, não há transferência de matéria (salvo nas cercanias de explosões, por exemplo), existe somente a transferência de energia. A taxa para a flutuação completa da pressão é denominada de *frequência* (f), cuja unidade é o Hertz (Hz). Esta equivale aos ciclos (ou número de períodos) por segundo e permite distinguir sons graves de sons agudos. O período (T) corresponde ao intervalo de tempo que um ciclo leva para completar a curva de variação da pressão ambiente com o tempo. A Equação 9 apresenta a fórmula para o cálculo da frequência (GERGES, 2000; GOMES; RODRIGUES, 2017; BISTAFA, 2018).

$$f = \frac{1}{T} \qquad [Hz] \tag{9}$$

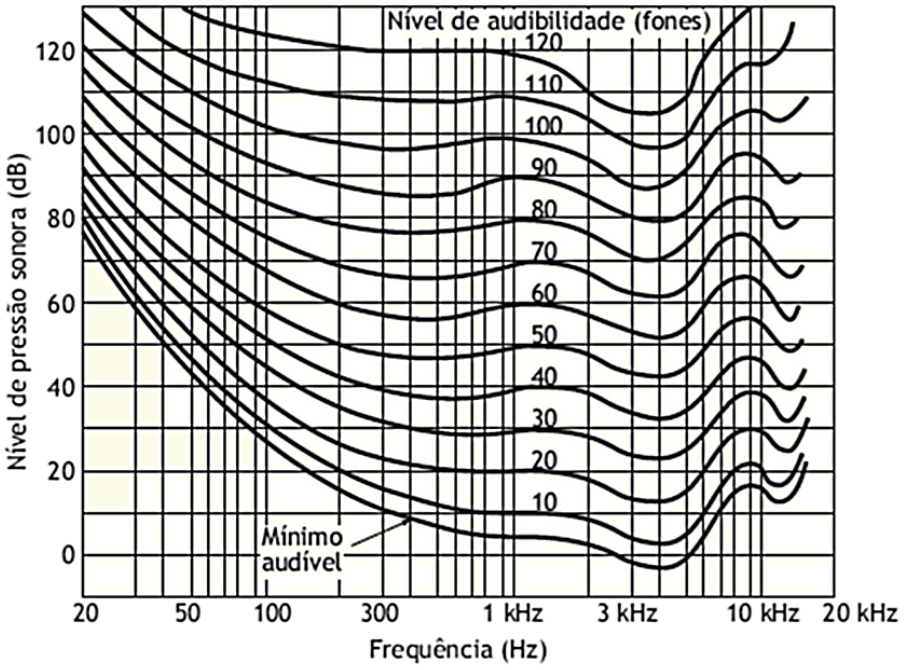
Quando a pressão ambiental variar de maneira cíclica, com período T compreendido entre T_1 e T_2, com amplitude (A) maior que o limiar de audibilidade, o sistema auditivo será capaz de detectar o som. Em tais condições, a variação da pressão ambiente é denominada de *pressão sonora* ou *pressão acústica* (p). A amplitude de uma onda sonora, demonstrada na Figura 7, pode ser entendida como a intensidade das compressões e descompressões do ar, que possibilita a distinção entre sons fracos e sons fortes. É considerada uma conveniente medida da magnitude do som e pode ser relacionada à intensidade e sonoridade deste. A faixa audível ao ouvido humano está entre $20\ Hz$ e $20000\ Hz$, porém o ser humano não é uniformemente sensível ao longo dessa faixa de frequência, por isso, esta é levada em conta juntamente com a amplitude do som quando da

determinação da audibilidade humana. A amplitude de pressão acústica $P(t)$ alude à magnitude da flutuação da pressão total $P_t(t)$ em relação a pressão atmosférica estática P_a. A potência sonora (W) corresponde a quantidade de energia sonora gerada pela fonte sonora (GERGES, 2000; PETERS; SMITH; HOLLINS, 2013; GOMES; RODRIGUES, 2017; BISTAFA, 2018).

O fator que permite a distinção entre um som grave e um som agudo é a *altura*, a qual depende da frequência: quanto maior esta for, mais agudo será o som, assim como este será mais grave quando a frequência for menor. Os sons considerados graves apresentam frequência inferior a 200 Hz, os sons agudos estão acima de 2000 Hz, enquanto os sons médios situam-se neste intervalo (entre 200 e 2000 Hz). Os sons de frequência única são os tons puros, porém, geralmente o que se ouve é a combinação destes em frequências diversas (BISTAFA, 2018).

A unidade do nível de audibilidade é denominada *fon*. O valor unitário do fon é numericamente igual ao nível de intensidade sonora, em dB, na frequência de referência de 1000 Hz (MAGALHÃES; ALVES FILHO, 2017). As curvas de audibilidade são representadas na Figura 4.

Figura 4 – Curvas de audibilidade



Fonte: BISTAFA (2018)

O sistema auditivo do ser humano é capaz de detectar sons entre as faixas de $0\ dB$[1] (limiar da audição) até $140\ dB$ (limiar da dor) a $1000\ Hz$ de frequência de referência. Como o ouvido humano responde a uma ampla faixa de níveis sonoros, torna-se difícil expressar ordens de grandeza tão distantes em uma mesma escala linear. Dessa forma, adota-se a escala logarítmica para expressar os níveis sonoros, o dB (GERGES, 2000; BISTAFA, 2018).

Segundo Magalhães e Alves Filho (2017), qualificar o som depende das propriedades físicas das ondas sonoras amplitude e frequência, sendo que a intensidade do som varia com o quadrado da amplitude da onda sonora. Em relação à intensidade, o que um ouvinte sente não necessariamente coincide com as leituras feitas com um aparelho e seu valor depende da frequência da onda sonora. Como o espectro sonoro da frequência perceptível pelo ser humano está entre 20 Hz e 20000 Hz, um som acima de 0 Hz e menor que 20 Hz são ditos infrassom, acima de 20000 Hz tem-se o ultrassom. Entre os fatores que influenciam na sensação auditiva do homem têm-se a distância do ouvinte em relação à fonte sonora, a intensidade do som e a estrutura fisiológica dos ouvintes.

Bond, Souza e Fernandes (2018) consideram frequências graves o intervalo de 16 Hz a 315 Hz, médias de 400 Hz a 1250 Hz e agudas de 1600 Hz a 20000 Hz. Enquanto Ortins (2016), adotam frequências graves de 20 a 355 Hz, frequências médias de 355 a 1410 Hz e frequências aguas de 1410 a 20000 Hz. Os sons agudos (de alta frequência) são mais nocivos ao aparelho auditivo humano, por outro lado, os graves (baixa frequência), mesmo que suportáveis pela orelha, geram efeitos orgânicos mais acentuados (OLIVEIRA, 2014).

O ruído é uma complexa mistura de sons com diferentes frequências, cujas bandas analisadas em relação aos níveis de pressão sonora correspondentes formam o espectro sonoro (SOARES, 2018).

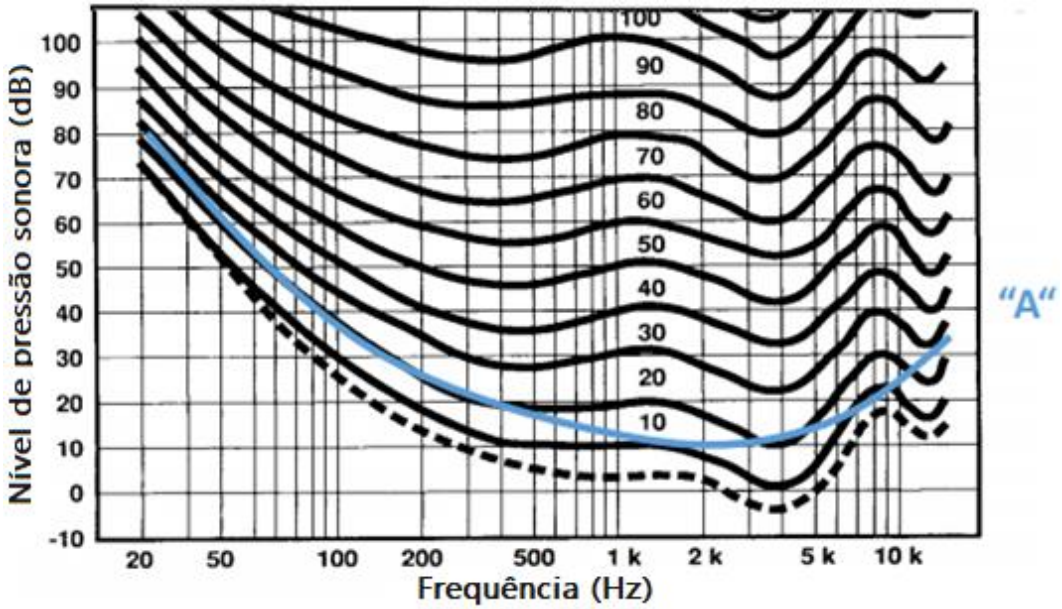
Instrumentos de medição acústica geralmente fornecem o espectro sonoro em bandas de frequência. A banda de frequência é caracterizada por sua largura:

[1] O uso do pós-escrito para indicar a ponderação em frequência ($dB(A)$) foi abolido. Esta informação deve ser incluída no símbolo de grandeza (como o L_{Aeq}), e o seu resultado expresso em decibels (dB), em conformidade com a NBR 10152:2017.

estreita ou larga. Uma banda de frequência larga pode ser constante ou variável, como é o caso da banda de oitava. Esta apresenta um espectro de banda larga com largura variável bastante utilizado, no qual a largura da banda corresponde a, mais ou menos, 70% da frequência central. As frequências centrais da banda de oitava são 63, 125, 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 e 8.000 Hz (LISOT, 2008; BISTAFA, 2018).

A maioria das medições de ruído é efetuada em decibels em A −ponderado (dB). O A −ponderado é o resultado de uma rede de ponderação da frequência eletrônica no medidor de nível sonoro, que tenta construir a resposta humana a diferentes frações na leitura indicada pelo medidor, de modo haja relação com a intensidade do ruído. Ou seja, esta unidade permite registrar o nível de pressão sonora de acordo com o comportamento da audição humana (PERU, 2003; ISO 1996-1, 1996; PETERS; SMITH; HOLLINS, 2013; WANG; CHEN; CAI, 2018). A curva A da audibilidade humana está representada na Figuras 5.

Figura 5 – Curva A de audibilidade humana



Fonte: USP (2017)

Para medidores não ponderados, com *dB* linear recebem uma correção em função da frequência, para os filtros ponderadores; como o filtro A, apresentado na Tabela 1 (em que são destacadas as bandas de oitava).

Tabela 1 – Ganho em função da frequência do filtro ponderado A

Frequência central da banda (Hz)	**Ganho do filtro A**	**Frequência central da banda (Hz)**	**Ganho do filtro A**
10	-70,4	**500**	-3,2
12,5	-63,4	630	-1,9
16	-56,7	800	-0,8
20	-50,5	**1000**	0
25	-44,7	1250	0,6
31,5	-39,4	1600	1
40	-34,6	**2000**	1,2
50	-30,2	2500	1,3
63	-26,2	3150	1,2
80	-22,5	**4000**	1
100	-19,1	5000	0,5
125	-16,1	6300	-0,1
160	-13,4	**8000**	-1,1
200	-10,9	10000	-2,5
250	-8,6	12500	-4,3
315	-6,6	16000	-6,6
400	-4,8	20000	-9,3

Fonte: BISTAFA (2018)

Segundo a International Organization for Standardization (ISO, 1996), na Norma ISO 1996-1: *Acoustics – Description and measurement of environmental noise Part 1: Basic quantities and procedures* (ISO 1996-1), o nível de pressão sonora equivalente contínuo ponderado com a curva A é o melhor descritor do ruído ambiental. Por esse motivo as medidas do ruído devem ser sempre expressas em termos desta grandeza.

A velocidade com que se propagam as ondas sonoras é denominada de *velocidade do som*, a qual, à temperatura ambiente é de 340 ms^{-1} no ar. O *comprimento da onda* (λ), demonstrado na Figura 6 é definido como a distância entre duas frentes de ondas sucessivas, isto é, a distância que a onda percorre no período. A Equação 10 apresenta a maneira de calcula-lo (DE MARCO, 2002; BISTAFA, 2018).

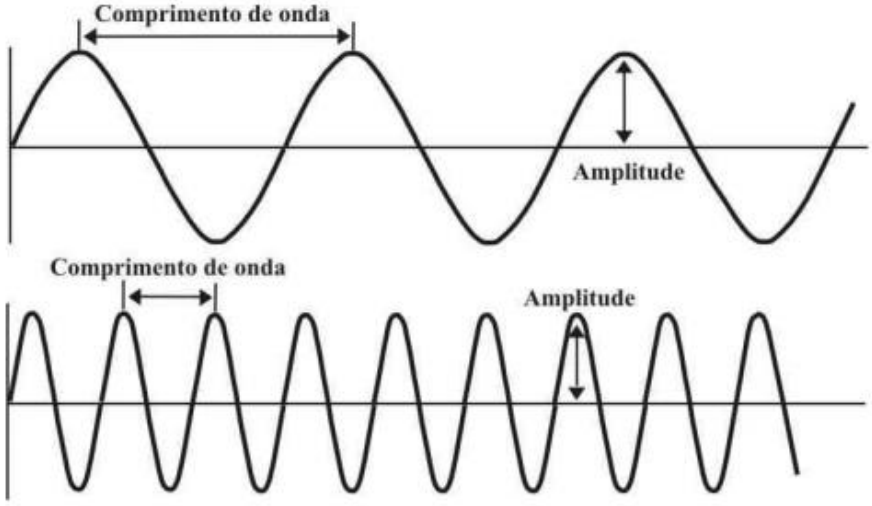
$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad [m] \qquad (10)$$

Em que c é a velocidade do som em metros por segundo, conforme a Equação 11 (BENENSON et. al, 2002).

$$c = (331{,}5 + 0{,}6.T) \qquad [ms^{-1}] \qquad (11)$$

Em que T corresponde a temperatura atmosférica em $°C$, a qual, para a Equação 11, deve estar entre $-20\ °C$ e $40\ °C$ (BENENSON et. al, 2002).

Figura 6 - Comprimento de onda de ondas de diferentes frequências



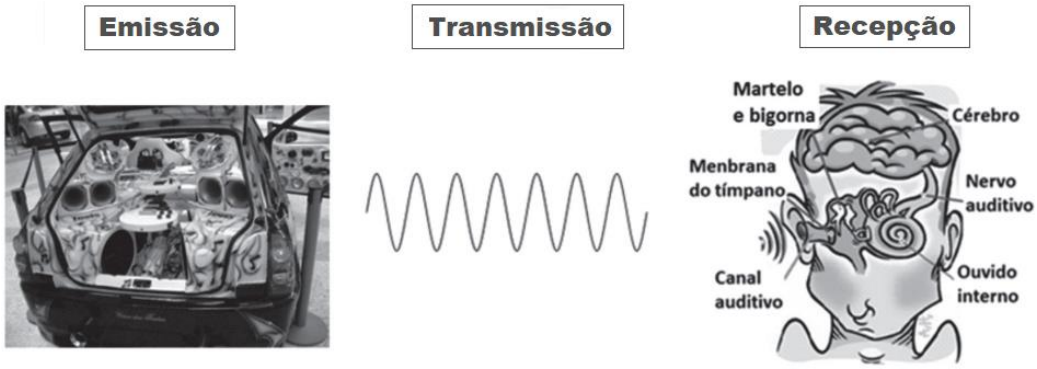
Fonte: KNIRSCH (2018)

De acordo com Knirsch (2018), na Figura 6 o comprimento de onda representado na parte superior da imagem é três vezes maior que o comprimento de onda representado na porção inferior. Já a frequência da onda superior corresponde a um terço da frequência da onda inferior e as duas ondas possuem a mesma amplitude.

2.5 Propagação sonora

De acordo com Bistafa (2018), costuma-se estudar a propagação do som ao ar livre no âmbito de três componentes: a fonte sonora, a trajetória da transmissão e o receptor, como representado pela Figura 7. A fonte emite determinada potência sonora, o que gera um nível sonoro passível de medição nas proximidades da fonte. O nível do som vai sendo atenuado ao passo que o som é propagado entre a fonte e o receptor, isto é, ao longo de sua trajetória.

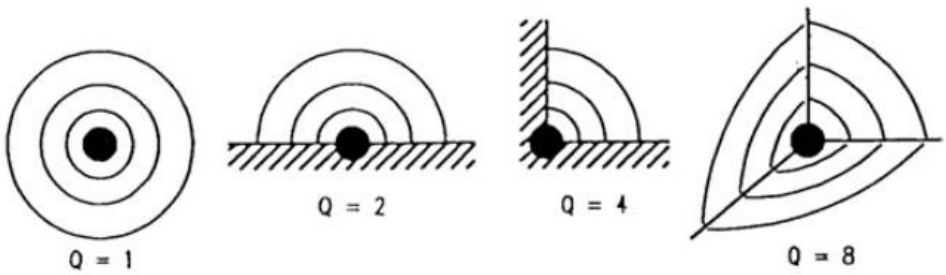
Figura 7 – Propagação do som ao ar livre até o sistema auditivo humano



Fonte: PATRÍCIO (2012)

As fontes sonoras podem ser omnidericionais, quando não apresentam suas direções preferenciais radialmente. Quando as fontes apresentam formas não-esféricas e/ou suas amplitude e fase de vibração de suas superfícies não são uniformes, se trata de uma fonte direcional (DE MARCO, 2002; BISTAFA, 2018). As fontes são dotadas, então, de um $índice\ de\ diretividade\ (DI)$ e de um $fator\ de\ diretividade\ (Q_\theta)$ (LICITRA, 2013; FARINA, 2014), como apresentado na Figura 8 e no Quadro 1.

Figura 8 - $Fator\ de\ diretividade\ (Q_\theta)$ de acordo com a posição da fonte



Fonte: FARINA (2014)

O $índice\ de\ diretividade$ (DI) é definido em função do $fator\ de\ diretividade$ (Q_θ) conforme a Equação 12 (LÓPEZ; MARTÍN, 2017).

$$DI = 10\log Q_\theta \quad (12)$$

Quadro 1 – Valores do $índice\ de\ diretividade$ (DI) e do $fator\ de\ diretividade$ (Q_θ) em função da posição da fonte

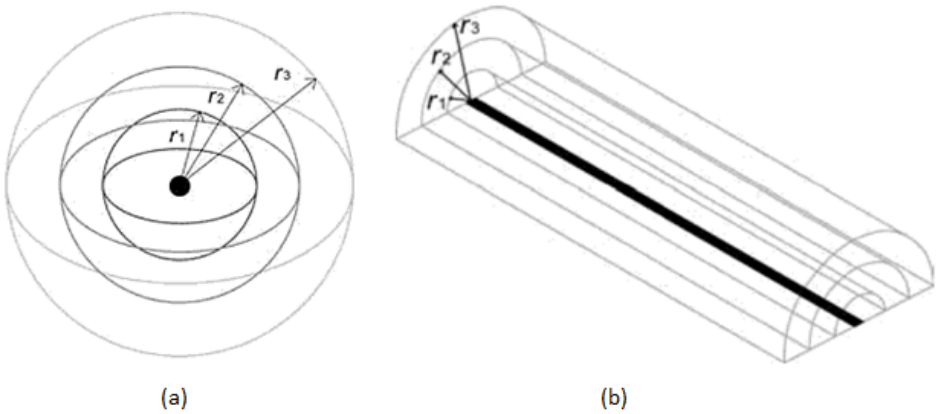
Posição da fonte	Q_θ	DI
Centro do ambiente	1	0
Centro de parede, piso ou teto	2	3
Centro da aresta formado pela junção de duas superfícies adjacentes	4	6
Vértice formado pelo encontro de três superfícies adjacentes	8	9

Fonte: Adaptado de SHARLAND (2005)

Quando as dimensões da fonte sonora são inferiores ao comprimento da onda do som que emitem, distribuindo suas ondas de maneira uniforme em todas as direções, são chamadas de adirecionais ou oniderionais (DE MARCO, 2002; BISTAFA, 2018).

De maneira geral, pode-se considerar que as ondas se propagam no ar em um formato mais ou menos esférico. Da mesma forma, pode-se dizer admitir que as fontes têm uma redução de sua intensidade de forma que a cada duplicação de distância da fonte, divide-se a intensidade por quatro. Quando se aplica esta propriedade aos níveis sonoros para fontes pontuais (Figura 9 (a)), tem-se uma redução de 6 dB, como ilustrado na Figura 10 (DE MARCO, 2002). Para fontes lineares (Figura 9 (b)), como o tráfego veicular, em que as ondas propagam-se em um plano perpendicular à fonte, a redução para dobro da distância desta é de 3 dB (GERGES, 2000).

Figura 9 – Fontes sonoras pontual (a) e linear (b)



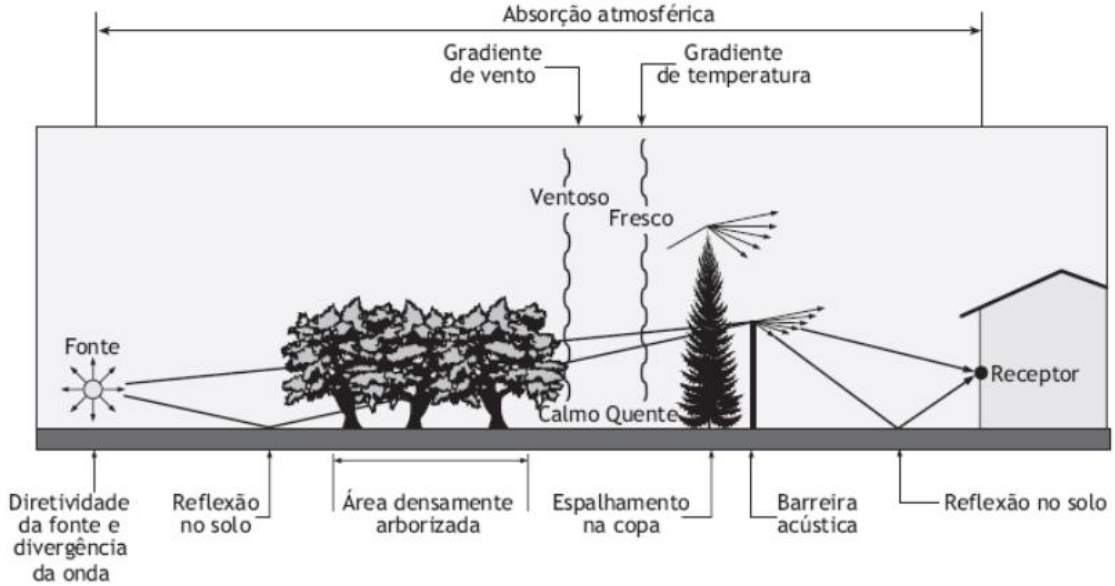
Fonte: Adaptado de LÓPEZ e MARTÍN (2017)

Figura 10 – Decréscimo do nível sonoro com a distância

Fonte: DE MARCO (2002)

Segundo Bistafa (2018), existem diversas componentes que influenciam e contribuem para a atenuação sonora ao longo do percurso das ondas, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 – Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre

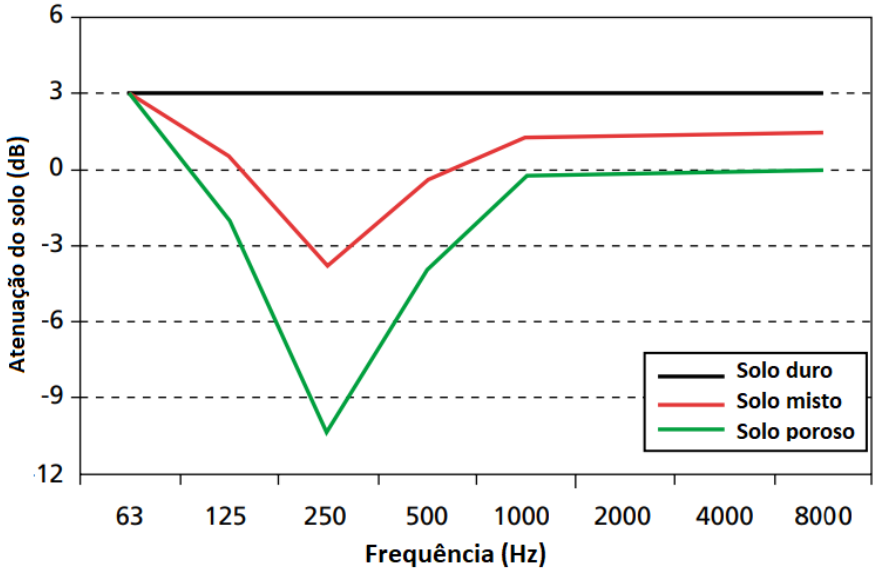


Fonte: ANDERSON E KURZE (1992 apud BISTAFA, 2018)

Por ser um meio heterogêneo, o ambiente externo tem sua atenuação sonora devida a fatores diversos, os quais podem atuar em conjunto, como o ar, a absorção pelo solo e as condições meteorológicas e climáticas (cujos efeitos como atenuadores são difíceis de serem previstos) (ORTINS, 2016). Bande e Nawathe (2013) acrescentam que a atenuação das ondas sonoras pode ocorrer pelo aumento da distância entre a fonte e o receptor, além da absorção pelo solo e/ou por obstrução de barreiras acústicas que podem existir.

Segundo Gonçalves (2014), se solo sobre o qual há a propagação for refletor, ocorrerá um aumento da pressão sonora; do contrário, quando o solo for poroso, será promovida uma redução da pressão sonora devido à absorção sonora do solo. Dessa forma, o efeito do solo nos níveis de pressão sonora varia se este for duro (como o concreto), poroso (com vegetação, por exemplo) ou misto, como representado na Figura 12 (BRÜEL & KJAER, 2001).

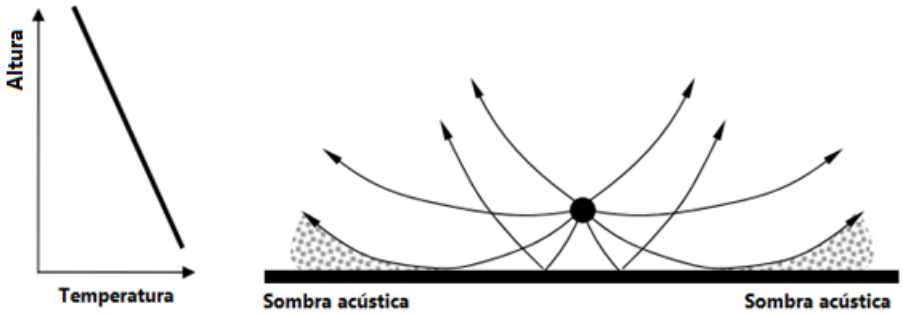
Figura 12 – Efeito do solo para uma distância de 100 metros entre fonte e receptor, com dois metros de altura cada um



Fonte: Adaptado de BRÜEL & KJAER (2001)

A atenuação atmosférica cresce linearmente com a distância e depende da frequência sonora, da umidade relativa do meio, da pressão atmosférica, do vento e da temperatura (NUCARA, 2011; GONÇALVES, 2014; LÓPEZ; MARTÍNS, 2017), como representado pelas Figuras 13, 14 e 15.

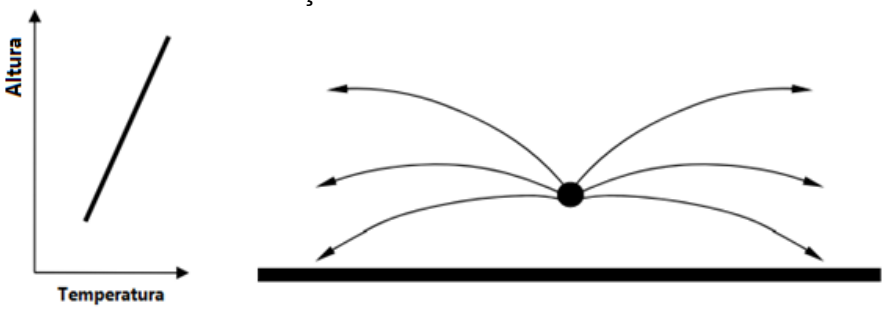
Figura 13 – Efeito da variação de temperatura na propagação sonora em condições normais



Fonte: Adaptado de NUCARA (2011)

A variação da temperatura faz variar a velocidade de propagação sonora, produzindo rarefações que curvam a trajetória das ondas (LÓPEZ; MRTÍNS, 2017). Se a temperatura diminuir com a altitude (gradiente negativo), como normalmente acontece durante o dia, serão criadas zonas de sombra, onde os receptores estão expostos a níveis sonoros inferiores caso essa curvatura não existisse (NUCARA, 2011; LÓPEZ; MARTÍNS, 2017).

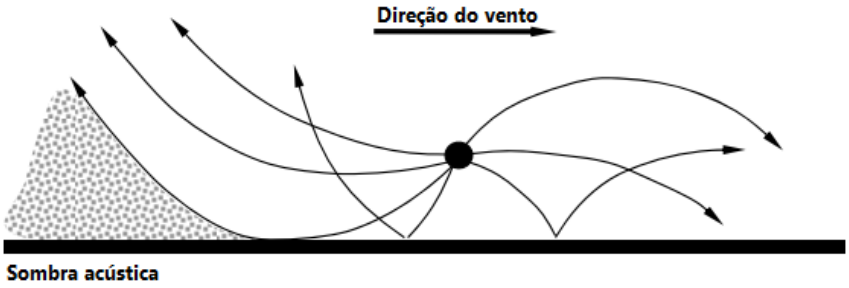
Figura 14 – Efeito da variação de temperatura na propagação sonora em condições de inversão térmica



Fonte: Adaptado de NUCARA (2011)

Em condições de inversão térmica (gradiente positivo), a curvatura das ondas é alterada e os receptores passam a estar expostos a níveis sonoros mais elevados em relação as condições normais, os sons são audíveis mesmo a uma grande distância da fonte (NUCARA, 2011; LÓPEZ; MARTÍNS, 2017).

Figura 15 – Efeito do vento



Fonte: Adaptado de NUCARA (2011)

A presença de vento contribui para que as ondas se propaguem com mais facilidade na direção em que sopra, de modo um receptor percebe níveis sonoros mais elevados onde o vento sopra a favor e menores onde não há vento ou onde este sopra na direção contrária (LÓPEZ; MARTÍNS, 2017).

A ISO 9613-2:1996 apresenta os cálculos para que a atenuação sonora em ambiente livre seja estimada ao passo que as ondas se afastam de sua fonte geradora (ISO, 1996). A norma considera que a atenuação sonora pode ser influenciada por diversas componentes: divergência geométrica, absorção atmosférica, efeito do solo, barreira acústica e efeitos diversos (áreas industriais ou vegetadas, por exemplo). Efeitos calculados, em termos das bandas de 63 Hz a 8.000 Hz, segundo as Equações de 13 a 26 (ISO, 1996).

A atenuação (A) é calculada por

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \quad [dB] \tag{13}$$

Em que

A_{div}: atenuação pela divergência geométrica;

A_{atm}: atenuação pela absorção atmosférica;

A_{gr}: atenuação pelo efeito do solo;

A_{bar}: atenuação por efeito da barreira acústica;

A_{misc}: atenuação por efeitos diversos.

A atenuação devido ao efeito da absorção atmosférica é calculada segundo a Equação 14.

$$A_{div} = 20xlog\left(\frac{d}{d_0}\right) + 11 \qquad [dB] \tag{14}$$

Em que

d: distância entre a fonte e o receptor (m);

d_0: distância de referência ($1\ m$).

A atenuação proporcionada pelo efeito da absorção atmosférica é calculada por meio da Equação 15.

$$A_{atm} = \alpha d/1000 \qquad [dB] \tag{15}$$

Em que

α: coeficiente da atenuação atmosférica para cada banda de oitava, em $dBkm^{-1}$. O valor assumido por α é obtido do Quadro 2.

Quadro 2 – Valores do coeficiente α para bandas de oitava

Temperatura	**Umidade relativa**	**α ($dBkm^{-1}$)**							
		Bandas de frequência (Hz)							
ºC	**%**	**63**	**125**	**250**	**500**	**1.000**	**2.000**	**4.000**	**8.000**
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

A atenuação ocasionada pela ao efeito do solo deve considerar qual o tipo de solo da área: duro, poroso ou misto. Solos duros são, por exemplo, concreto e gelo (fator $G = 0$), solos porosos podem ser exemplificados por grama e

vegetação ($(G = 1)$) e solos mistos equivalem a mistura dos anteriores ($(G\ entre\ 0\ e\ 1)$). A atenuação do solo é calculada conforme a Equação 16.

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad [dB] \tag{16}$$

Em que, conforme a ISO 9613-2:1996:

Quadro 3 – Cálculo de A_s, A_r e A_m de acordo com a frequência

$f(Hz)$	$A_s\ ou\ A_r\ [dB]$	$A_m\ [dB]$
63	$-1{,}5$	$-3q^2$
125	$-1{,}5 + G\ x\ a'(h)$	$-3q\ (1 - Gm)$
250	$-1{,}5 + G\ x\ b'(h)$	
500	$-1{,}5 + G\ x\ c'(h)$	
1000	$-1{,}5 + G\ x\ d'(h)$	
2000	$-1{,}5\ (1 - G)$	
4000	$-1{,}5\ (1 - G)$	
8000	$-1{,}5\ (1 - G)$	

Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

Em que

$$a'(h) = 1{,}5 + 3{,}0\ x\ e^{-0{,}12(h-5)^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5{,}7\ x\ e^{-0{,}09h^2}(1 - e^{-2{,}8\ x10^{-6}\ x\ d_p^2});$$

$$b'(h) = 1{,}5 + 8{,}6\ x\ e^{-0{,}09h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right);$$

$$c'(h) = 1{,}5 + 14{,}0\ x\ e^{-0{,}46h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right);$$

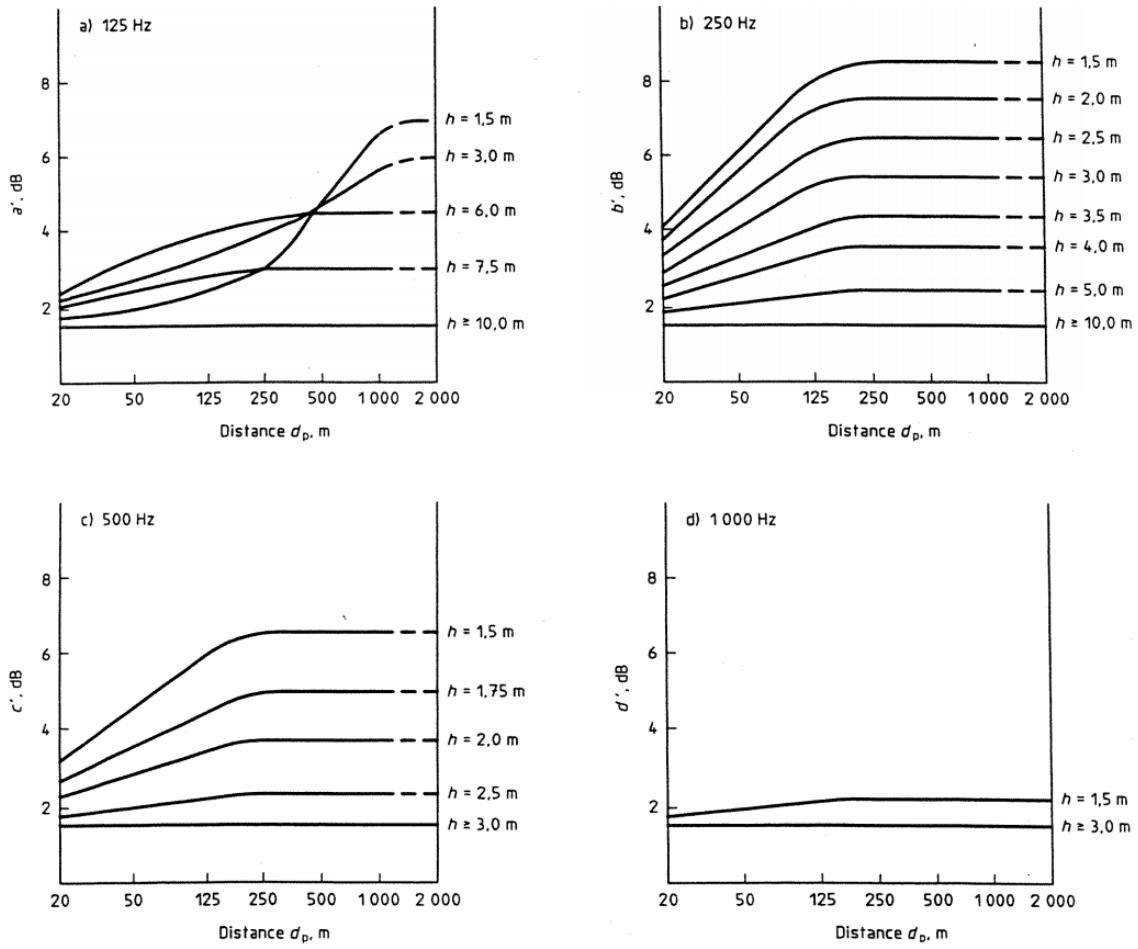
$$d'(h) = 1{,}5 + 5{,}0\ x\ e^{-0{,}9h^2}\left(1 - e^{-d_p/50}\right).$$

Nas quais

d_p: distância entre a fonte e o receptor projetada no solo, em metros.

A altura h entre fonte e receptor é obtida segundo apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Funções a', b', c' e d' em relação a distância d_p e altura h entre fonte e receptor



Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

Para o cálculo de A_m, tem-se:

$q = 0$ quando $d_p \leq 30(h_s + h_r)$;

$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$ quando $d_p > 30(h_s + h_r)$.

Em que

h_s: altura da fonte (em relação ao solo), em metros;

h_r: altura do receptor (em relação ao solo), em metros.

A atenuação proporcionada pela barreira deve ser calculada conforme a Equação 17, para difração no topo do obstáculo.

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \quad [dB] \tag{17}$$

Para difração lateral, tem-se a Equação 17.

$$A_{bar} = D_z > 0 \quad [dB] \tag{18}$$

Em que

D_z é a atenuação para cada banda de oitava, calculada pela Equação 19.

$$Dz = 10log[3 + (C_2/\lambda)C_3 zKmet] \quad [dB] \tag{19}$$

Na qual

C_2 é igual a 20, quando se inclui os efeitos da reflexão do solo; ou 40, para casos especiais quando estas são consideradas separadamente.

C_3 é igual a 1 para difração simples; para difração dupla, utiliza-se a Equação 20.

$$C_3 = [1 + \left(5\lambda/e\right)^2 / [(1/3) + \left(5\lambda/e\right)^2] \quad [dB] \tag{20}$$

e é a distância entre as duas difrações, em metros.

λ corresponde ao comprimento de onda de cada banda de frequência, em metros.

z equivale à diferença entre os caminhos difrato e direto, em metros (Equação 21)

$Kmet$ é o fator de correção devido a efeitos meteorológicos (Equação 22).

O cálculo de z é efetuado conforme a Equação 21.

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad [m] \tag{21}$$

Na qual

d_{ss} é a distância da fonte ao topo, em metros;

d_{sr} é a distância do topo ao receptor, em metros.

a é a distância paralela ao topo da barreira entre a fonte e o receptor, em metros.

O $Kmet$ é calculado conforme a Equação 22.

$Kmet = 1$, para $z \leq 0$;

$$Kmet = \exp[-(1/2000)\sqrt{(d_{ss} d_{sr} d)/2z}\,, \text{ para } z > 0 \quad (22)$$

As reflexões podem ter sua parcela de contribuição devido a coberturas externas e superfícies verticais (como fachadas de edifícios), as quais podem elevar os níveis de pressão sonora no receptor (ISO 9613-2, 1996). Para que a atenuação seja calculada, a norma especifica algumas condições, como a formação da reflexão especular, a magnitude do coeficiente de reflexão da superfície do obstáculo ser maior que 0,2 e que a relação expressa pela Equação 23 seja atendida.

$$1/\lambda > [2/(l_{min}\, cos\beta)^2 [d_{s,o} d_{o,r}/(d_{s,o} + d_{o,r})] \quad (23)$$

Em que

λ: é o comprimento da onda sonora (em metros) de cada banda de frequência;

$d_{s,o}$: é a distância entre a fonte e o ponto de reflexão no obstáculo;

$d_{o,r}$: é a distância entre o ponto de reflexão no obstáculo e o receptor;

β: ângulo de incidência (em radianos);

l_{min}: é a dimensão mínima (largura ou altura) da superfície refletora.

Se qualquer uma dessas condições não for atendida para uma dada banda de oitava, então as reflexões serão desprezadas (ISO 9613-2, 1996).

Ao ser considerada uma pressão sonora mais longa (meses ou anos), deve-se considerar o cálculo da correção das condições meteorológicas como a Equação 24 (ISO 9613-2, 1996).

$C_{met} = 0$,

$se\ d_p \leq 10(h_s + h_r)$;

$C_{met} = C_0[1 - 10(h_s + h_r)/d_p]$,

$se\ \ d_p > 10(h_s + h_r)$. (24)

Em que

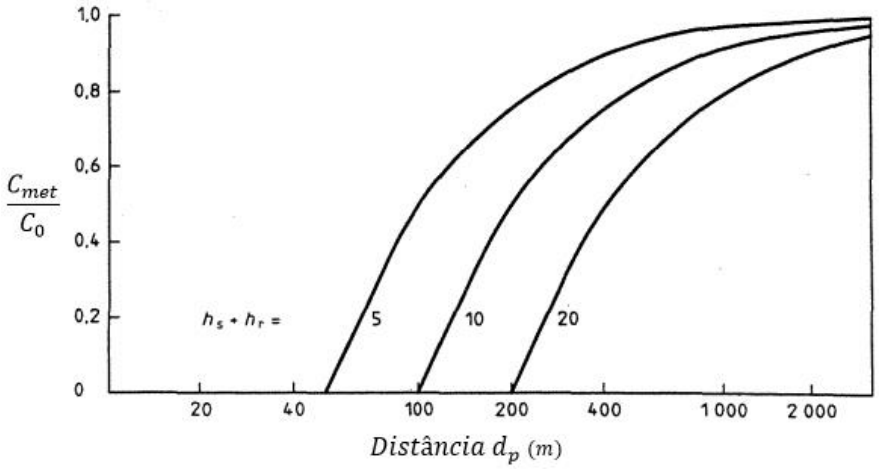
h_s: é a altura da fonte (em metros);

h_r: é a altura do receptor (em metros);

d_p: é a distância entre a fonte e o receptor projetada no solo (em metros);

C_0: é um fator, em dB, que depende das condições meteorológicas de velocidade e direção de vento e gradiente de temperatura do local. Em geral, C_0 varia de 0 a + 5 dB e pode-se consultar o gráfico apresentado na Figura 17 para obtenção estimada de C_0 (ISO 9613-2, 1996).

Figura 17 – Correção meteorológica C_{met}



Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (1996)

A atenuação por efeitos diversos (A_{misc}) compreende a contribuição da vegetação (A_{fol}), áreas industriais (A_{site}) e área de edificações residenciais (A_{hous}) em atenuar o ruído (ISO 9613-2, 1996).

A vegetação contribui para atenuar o ruído se for densa e aumenta com a distância, como apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Atenuação de vegetação densa por banda de oitava em função da distância

Distância de propagação (d_f) [m]	**Bandas de frequência (Hz)**							
	63	**125**	**250**	**500**	**1.000**	**2.000**	**4.000**	**8.000**
	Atenuação (dB)							
$10 \leq d_f \leq 20$	0	0	1	1	1	1	2	3
	Atenuação (dBm^{-1})							
$20 \leq d_f \leq 200$	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

A atenuação proporcionada por áreas industriais depende das características destas e recomenda-se a realização de medições, porém, pode-se adotar uma estimativa como apresentado no Quadro 5.

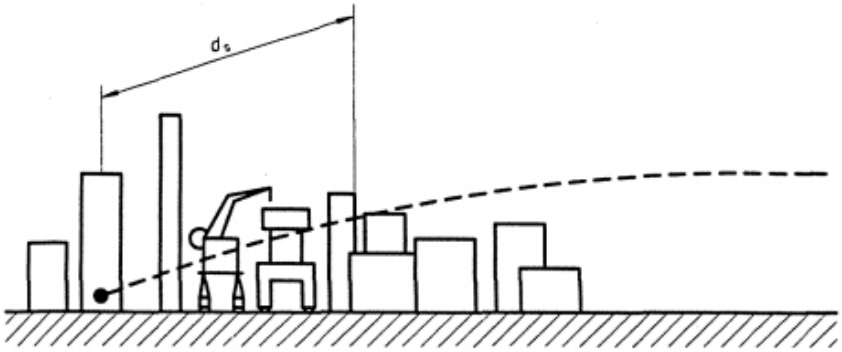
Quadro 5 – Coeficiente de atenuação por banda de oitava quando da propagação de ruído por plantas industriais

Bandas de frequência (Hz)	**63**	**125**	**250**	**500**	**1.000**	**2.000**	**4.000**	**8.000**
A_{site} (dBm^{-1})	0	0,015	0,025	0,025	0,02	0,02	0,015	0,015

Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

A atenuação cresce linearmente com a distância do caminho curvo (d_s) através das instalações industriais até, no máximo, 10 dB (Figura 18).

Figura 18 – A atenuação A_{site} aumenta proporcionalmente ao percurso d_s



Fonte: Adaptado de ISO 9613-2 (ISO, 1996)

Quando a fonte, o receptor ou ambos estão localizados em regiões residenciais edificadas, ocorrerá atenuação, propagação e reflexão entre as construções habitacionais. Desse modo, A_{hous}, que não deve exceder 10 dB, pode ter seu efeito estimado pela Equação 25.

$$A_{hous} = A_{hous,1} + A_{hous,2} \qquad [dB] \tag{25}$$

Em que

$$A_{hous,1} = 0{,}1Bd_b \qquad [dB]$$

$$A_{hous,2} = -10\lg[1 - (p/100)] \qquad [dB]$$

Nas quais

B: densidade de construções na área de propagação;

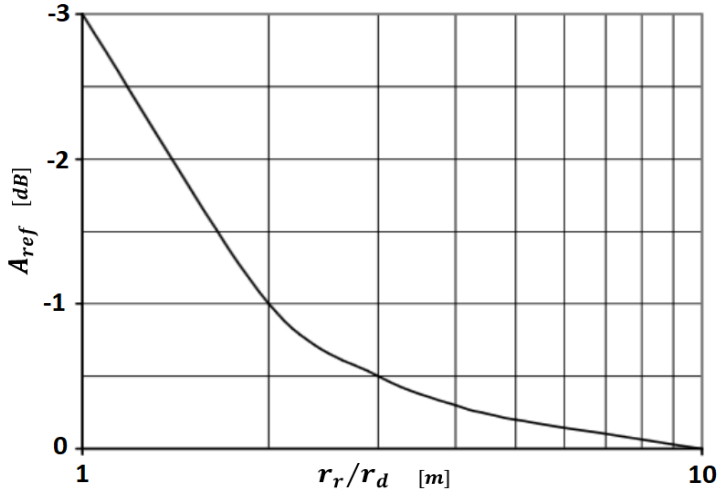
d_b: trajetória da propagação pela área residencial construída;

$A_{hous,2}$ deve ser considerado se houver corredores formados por edificações próximas a via;

p: percentual do comprimento de fachadas em relação ao comprimento total da via em questão, deve ser ≤ 90%.

Segundo Magrini (2017), o efeito da reflexão (A_{ref}) deve ser incluído no A_{misc} e pode ser obtido de maneira gráfica, como demonstrado na Figura 19.

Figura 19 – Efeito da reflexão na atenuação sonora em função dos caminhos refletido e direto das ondas sonoras



Fonte: Adaptado de MAGRINI (2017)

Em que

r_r: caminho refletido, em metros;

r_d: caminho direto, em metros.

Assim, a ISO 9613-2: 1996 apresenta a equação (Equação 26) para que se obtenha o nível de pressão sonora no receptor ($L_{fT}(DW)$) para as bandas de frequência de 63 Hz a 8.000 Hz.

$$L_{fT}(DW) = L_w - D_c - A \qquad [dB] \tag{26}$$

Em que

L_w: índice de potência sonora da fonte;

D_c: correção da diretividade (apresentada no Quadro 1);

A: atenuação total (Equação 13).

2.6 Grandezas para avaliação do ruído

O ruído ambiente é definido como a sobreposição de ruídos, geralmente de naturezas e origens diversas, dos quais nenhum é objeto de análise específica. O nível de ruído residual (ou mínimo) é aquele que se mantém, não apresentando diminuição durante as medições. O ruído de fundo é entendido

como o conjunto de sons e ruídos que acontecem simultaneamente ao objeto de interesse específico. A avaliação de tais ruídos pode ser realizada por meio do nível equivalente e dos níveis estatísticos (BISTAFA, 2018).

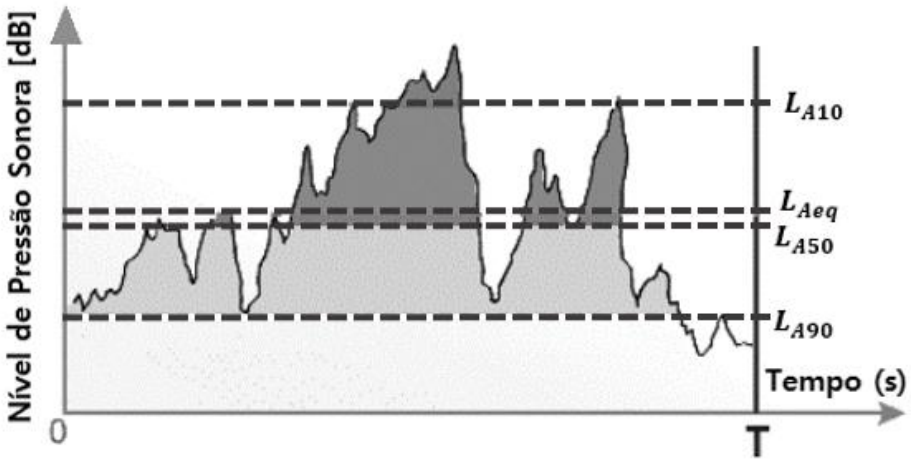
Conforme Bistafa (2018), o nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) corresponde ao nível médio dos ruídos registrados em medições. O L_{Aeq} é utilizado como padrão para análise do ruído ambiental, expresso em ponderação A e representa o nível de um som contínuo (estacionário) em determinado intervalo de tempo, apresentando a mesma energia sonora do som em estudo, com nível variável com o tempo. Seu cálculo é realizado segundo a Equação 27 (GERGES, 2000; ISO 1996-1, 1996; ABNT, 2019).

$$L_{Aeq} = 10\ log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(10^{\frac{L_{Ai}}{10}}\right) \quad (27)$$

Na qual, L_{Ai} é o nível de pressão sonora, em dB, de cada medição do ruído e n corresponde ao número total de leituras.

Os descritores estatísticos correspondem aos níveis estatísticos, relacionando quantidades físicas e os níveis correspondentes em decibels. Como os descritores L_{A90}, L_{A50} e L_{A10}. O nível L_{A90} corresponde ao nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição, é a medida do ruído residual. Já L_{A50} é o nível sonoro excedido em 50% do tempo de medição, é a medida do ruído mediano. Enquanto L_{A10} equivale ao nível sonoro excedido em 10% do tempo de medição, é a medida dos ruídos de pico verificados durante a medição. Tais níveis estatísticos representam a classificação dos níveis sonoros por meio de um histograma; são ordenados de maneira crescente os valores das medições e efetuando-se as frequências acumuladas, revela-se a porcentagem de tempo em que o nível sonoro se manteve em determinada faixa de frequência (ISO 1996-1, 1996; BISTAFA, 2018). O nível sonoro equivalente (L_{Aeq}) e os descritores estatísticos estão representados na Figura 20.

Figura 20 - Variação do nível de ruído ao longo do tempo e respectivos indicadores de ruído ambiente



Fonte: Adaptado de SILVA; OLIVEIRA (2010)

2.7 Incomodidade provocada pelo ruído

A poluição sonora é um problema que perturba especialmente as cidades em rápido crescimento nas sociedades industrializadas de todo o mundo. Isso porque o crescimento econômico está atrelado à execução de atividades que expõem os cidadãos a um ruído de fundo constante (GERGES, 2000; MURPHY; KING, 2014; GERAGHTY; O'MAHONY, 2016). Problemas como a urbanização irregular, uso de tecnologias obsoletas em indústrias, políticas de transporte falhas, falta de legislação e/ou falha na implementação das leis existentes, estão entre os principais fatores que levam à poluição sonora (GAJARDO et al., 2016; HARMAN; KOSEOGLU; YIGIT, 2016; BISTAFA, 2018).

A incomodidade causada pelo ruído é um fenômeno comum nas sociedades modernas - particularmente nas industrializadas - e faz com que o ser humano se sinta desconfortável, induzindo a reações adversas como a sensação de insatisfação, incômodo, distúrbio, perturbação do sono, estresse, tensão, elevação da pressão arterial, comprometer o sistema auditivo e prejudicar o desempenho cognitivo (MÜNZEL et al., 2014; SHU; SONG; ZHOU, 2017; BISTAFA, 2018; BEHESHTI, 2019). Ou seja, o ruído pode gerar diversos efeitos prejudiciais sobre a saúde humana (MÜNZEL et al., 2014; BISTAFA, 2018).

Entre as principais fontes de ruído está o tráfego: seja ele aéreo, ferroviário ou rodoviário. Porém, entre estas, o tráfego viário é a mais relacionada ao

desconforto humano. Os ruídos da circulação de veículos dependem das condições e características destes, como o porte (veículos leves, pesados ou motocicletas), a velocidade e o volume de tráfego, como também das condições das vias (aclives e declives) e da superfície, principalmente quanto à presença de imperfeições (MENDONÇA et al., 2013; BISTAFA, 2018).

O Modelo de Alexandre foi desenvolvido justamente para avaliar o nível de pressão sonora do tráfego rodoviário ($L_{\text{Atráfego}}$) de veículos a motor e com velocidade não superior a 120 kmh^{-1}. O $L_{\text{Atráfego}}$ é obtido pela Equação 28 (JOSSE, 1975; LO BOSCO; LEONARDI; SCOPELLITTI, 2006).

$$L_{\text{Atráfego}} = 52 + 10\ log\left(\frac{Q}{d}\right) \quad (28)$$

Na qual, Q é o número de veículos e d é a distância da via.

Em relação ao fluxo veicular, pode-se considerar também o cálculo do índice de ruído de tráfego ($T.N.I._A$ - *Traffic Noise Index*) utilizado no Reino Unido. Especialmente desenvolvido para o tráfego de veículos, o $T.N.I._A$ foi proposto pela primeira vez em 1968 por Langdon e Griffiths que, por meio de adequadas medidas experimentais, observaram como o ruído devido ao tráfego urbano era estreitamente relacionado, assim como com o nível de ruído de fundo, à amplitude das flutuações entre os picos e o fundo, um parâmetro definido pela diferença entre L_{A10} e L_{A90} (LANGDON; GRIFFITHS, 1968; LO BOSCO; LEONARDI; SCOPELLITTI, 2006; BRESSANE *et al*., 2016).

O $T.N.I._A$ é um índice de classificação de ruído de tráfego obtido a partir de uma combinação de níveis de ruído, o que dá uma melhor correlação com a insatisfação. Tal índice é obtido considerando-se a ponderação A de L_{A10} e L_{A90} provenientes de medições ao ar livre (SHALINI; KUMAR, 2018).

O cálculodo $T.N.I._A$ é efetuado por meio da Equação 29 (LANGDON; GRIFFITHS, 1968; LO BOSCO; LEONARDI; SCOPELLITTI, 2006; BRESSANE *et al*., 2016).

$$L_{ATNI} = 4\ x\ (L_{A10} - L_{A90}) + L_{A90} - 30 \quad (29)$$

Em que, L_{ATNI} é o nível avaliado pelo $T.N.I._A$; L_{A10} corresponde ao nível sonoro superado em 10% do tempo avaliado e L_{A90} equivale ao nível sonoro superado em 90% do tempo avaliado. O termo $L_{A10} - L_{A90}$ é denominado de ruído climático (*NC - Noise Climate*) e é o intervalo no qual os níveis sonoros flutuam em um intervalo de tempo, considerando e ruído de pico (L_{A10}) e de fundo (L_{A90}). (SWAIN; GOSWAMI, 2013).

O $T.N.I._A$ é derivado do pressuposto de que, as extensas flutuações do nível de ruído ao longo do tempo são o fator dominante no incômodo do ruído do tráfego e, para seu cálculo, a constante arbitrária final é incluída para gerar números mais convenientes. Este critério busca compensar a variabilidade do ruído, uma vez que as flutuações do ruído flutuante são comumente consideradas de maior incomodidade. Para este descritor, o grau de incômodo é considerado baixo se inferior a 65 dB, médio se for de 65 a 75 dB, alto entre 75 e 90 dB e muito alto quando superior a 90 dB, como no Quadro 6 (LANGDON; GRIFFITHS, 1968; SHALINI; KUMAR, 2018).

Quadro 6 – Grau de Incômodo pelo L_{ATNI}

Grau de Incômodo	$\boldsymbol{L_{ATNI}}$ **(**$\boldsymbol{dB}$**)**
Baixo	< 65
Médio	65 – 75
Alto	75 – 90
Muito alto	> 90

Fonte: Adaptado de LANGDON e GRIFFITHS (1968)

Em 1982, os mesmos autores relacionaram o nível equivalente (L_{Aeq}) e o grau de insatisfação das pessoas com este ruído, para o que verificaram um coeficiente de correlação de 0,8, considerado significativo. Dessa forma, desenvolveram uma expressão para o grau de insatisfação, apresentada na Equação 30 (LANGDON; GRIFFITHS, 1982; CALIXTO, 2002).

$$G.I._A. = 0{,}046xL_{Aeq} - 0{,}817 \quad (30)$$

Na qual, $G.I._A$ é o grau de incomodidade. Em que o resultado da correlação pode ser expressado na escala do Quadro 7.

Quadro 7 – Grau de Incomodidade ($G.I._A$)

Grau de Incomodidade	Intervalo
Não incomodado	<1
Pouco incomodado	1 – 2
Moderadamente incomodado	2 – 3
Muito incomodado	3 – 4

Fonte: Adaptado de LANGDON e GRIFFITHS (1982)

Também estudando a incomodidade causada pelo ruído e visando melhor estimar a insatisfação gerada por este, Robinson, no ano de 1971, propôs um índice para expressar a Poluição Sonora (L_{ANP}), apresentado na Equação 31 (ROBINSON, 1971; GERGES, 2000).

$$L_{ANP} = L_{Aeq} + (L_{A10} - L_{A90}) \quad (31)$$

O índice L_{ANP} é composto por dois termos: o primeiro é a medida do nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) e o segundo ($L_{A10} - L_{A90}$) representa o aumento do incômodo causado por flutuações nesse nível (SHALINI; KUMAR, 2018). Segundo Swain e Goswani (2013), o L_{ANP} serve como melhor indicador das perturbações fisiológicas e psicológicas ao sistema humano provocadas pela poluição sonora no ambiente.

Segundo Torija e Ruiz (2015), a consideração somente do ruído emitido e propagado pelo tráfego veicular pode induzir a subestimação dos níveis de ruído nas aglomerações urbanas, uma vez que o ambiente urbano também é contemplado com a acumulação, saturação e diversidade de fontes sonoras (como a indústria, o comércio, a construção civil, as atividades sociais e de lazer). De acordo com Oiamo et al. (2018), o tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo são as principais fontes de ruído ambiental em ambientes urbanos, enquanto atividades humanas, fontes estacionárias (por exemplo, equipamentos de ar-condicionado) e ruído de motor não-móvel (como equipamentos de construção) podem ter impactos locais significativos.

Para Quintero, Romeu e Balestegui (2019), a poluição sonora nas cidades é causada principalmente pelo tráfego de veículos, porém, dependendo do local

sob avaliação, pode ser afetada pelas formas de uso da terra e mesmo pelas atividades de lazer.

De acordo com a Resolução nº1 de 08 de março de 1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os problemas dos excessivos níveis de ruído fazem parte dos que estão sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente, uma vez que degradam da qualidade de vida e continuam se agravando nos centros urbanos (BRASIL, 1990). Nesta se estabelece que emissão de ruídos devida a atividades industriais, comerciais, sociais, recreativas e de propaganda política, deve obedecer, em prol da saúde e sossego públicos, aos padrões, critérios e diretrizes especificados nas Normas NBR 10151:2019 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade e NBR 10152:2017 – Níveis de Ruído para conforto acústico, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – (ABNT).

A ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019) estabelece o método de avaliação do ruído baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora medido no ponto de interesse (L_{Aeq}) com os limites estabelecidos em função do uso e ocupação do solo do local monitorado, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de níveis de pressão sonora (RL_{Aeq}) em função dos tipos de áreas habitadas e do período para ambientes externos, em dB

Tipos de áreas habitadas	$\boldsymbol{RL_{Aeq}}$ $[\boldsymbol{dB}]$	
	Diurno	**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 administrativas	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Adaptado de ABNT 10151 (2019)

Os horários considerados para período diurno e noturno podem ser estabelecidos pelas autoridades locais conforme os hábitos da população. Devendo-se observar, contudo, que o período noturno não deve ter início após as 22 horas e não deve ser finalizado antes das 7 horas do dia seguinte. Caso o dia seguinte seja domingo ou feriado o período noturno não deve terminar antes das 9 horas (ABNT 10151, 2019).

Segundo Reynolds (1981), O Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano ($H.U.D._A$), estabelece faixas de ruído externo em áreas residenciais não sujeitas a ruído de aviões. Tal classificação foi apresentada como Critério $H.U.D._A$ por Calixto (2002), como apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Critério $H.U.D._A$

Classificação	L_{Aeq}	L_{10}	L_{90}
Claramente aceitável	L_{Aeq} ≤ 49	L_{A10} ≤ 53	L_{A90} ≤ 41
Normalmente aceitável	49 < L_{Aeq} ≤ 62	53 < L_{A10} ≤ 66	41 < L_{A90} ≤ 56
Normalmente inaceitável	62 < L_{Aeq} ≤ 76	66 < L_{A10} ≤ 82	56 < L_{A90} ≤ 71
Claramente inaceitável	L_{Aeq} > 76	L_{A10} > 82	L_{A90} > 71

Fonte: Adaptado de REYNOLDS (1981) e CALIXTO (2002)

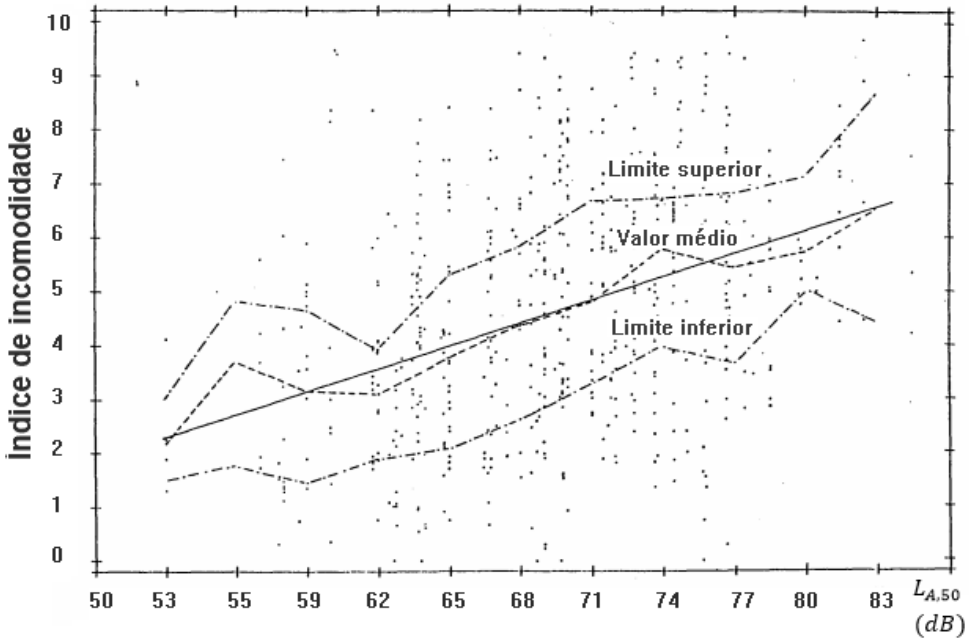
A utilização dos critérios citados pode ser verificada, por exemplo, no trabalho de Margaritis et al. (2018), que utilizaram L_{Aeq}, L_{A10}, L_{A50} e L_{A90} para avaliação do ruído ambiental. Também, Arndt, Philips e Barbosa (2010), que realizaram medições de ruído em Curitiba e empregaram valores de L_{Aeq}, L_{A10}, L_{A90}, L_{ANP} e o critério $H.U.D._A$ para a caracterização. Bressane et al. (2016) utilizaram os critérios L_{Aeq} e L_{ATNI}, assim como Kumar e Srinivas (2015), que ainda acrescentaram L_{ANP} em sua análise.

Segundo Aubree, Auzou e Rapin (1984), pode-se medir o incômodo às pessoas pela exposição ao ruído pela Equação 32, definida como Índice de Incomodidade ($I.I.$).

$$Índice\ de\ incomodidade = 0{,}13 x L_{A,50} - 4{,}36 \quad (32)$$

Em condições em que houver alto grau de exposição e insatisfação, deve-se somar $10\ dB$ ao $L_{A,50}$ (AUBREE; AUZOU; RAPIN, 1984). A Figura 21 representa os limites e média da distribuição em função do $L_{A,50}$ com a correção de $10\ dB$.

Figura 21 – Índice de incomodidade em função de $L_{A,50}$



Fonte: Adaptado de AUBREE, AUZOU e RAPIN (1984) e JOSSE (1975)

Mietlicki et al. (2015), sugerem a adoção do critério HARMONICA (HI) que considera ruído de fundo e eventos ruidosos para seu cálculo (Equação 33) de modo a apresentar um valor relacionado a percepção humana.

$$HI_A = 0{,}2(L_{A95} - 30) + 0{,}25(L_{Aeq} - L_{A95}) \quad (33)$$

Em que L_{A95} é o ruído medido em 95% do tempo de monitoramento.

O HI_A utiliza uma escala de 0 a 10 para facilitar o entendimento da população em relação ao ambiente sonoro em que está inserida, como apresentado no Quadro 9 (MIETLICKI et al., 2015; NOISE IN EU, 2019).

Quadro 9 – Escala do HI_A

Consideração	Dia (6h – 22h)	Noite (22h – 6h)
Silencioso	0 – 4	0 – 3
Ruidoso	4 – 8	3 – 7
Muito ruidoso	> 8	> 7

Fonte: Adaptado de NOISE IN EU (2019)

Como apresentado por Raimbault, Lavandier e Bérengier (2003) e também aplicado por Can et. Al (2010), o centro de gravidade do espectro (*Spectrum Gravity Center* – SGC) é um indicador cujo cálculo resulta na média dos espectros de frequência de potência de som. Dessa forma, o $S.G.C.$ apresenta o tom médio do som, ou seja, é um critério relacionado a agudeza e gravidade do som. Este critério é adequado para discriminar sons ambientais com base em seu conteúdo espectral e é obtido por meio da Equação 34.

$$S.G.C. = \frac{\sum_i B_i 10^{\frac{L_{Ai}}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{L_{Ai}}{10}}} \quad (34)$$

Em que L_{Ai} é o nível de pressão sonora em dB medido em cada banda de frequência B.

O $S.G.C.$ contribui para compreensão da percepção humana ao ruído devido a relação que estabelece entre o nível de pressão sonora e a frequência dos sons (YANG; KANG, 2005).

Indicadores acústicos, como o L_{Aeq}, aos quais é aplicado o filtro de ponderação A, que simula a reação do aparelho auditivo em função da frequência, são os mais utilizados para se avaliar a resposta subjetiva do ouvido humano em relação a vários tipos de fontes sonoras (FREITAS et al., 2016).

2.8 Seleção de critérios

A avaliação do ruído ambiental urbano pode ser formulada a partir de medições deste. As medições do ruído ambiental subsidiam técnicas preditivas para caracteriza-lo, pois apresentam a realidade dos níveis de ruído dos locais de interesse, superando previsões que possuem incerteza inerente. De modo a viabilizar, em termos temporal e espacial, a realização das medições de ruído, devem ser selecionadas as áreas problemáticas para as aferições (HOLLAND; RODGERS; EPUREANU, 2012; MURPHY; KING, 2014). De acordo com Oiamo et al. (2018), o monitoramento do ruído ambiental é um aspecto chave para a avaliação deste.

O incômodo percebido pela população da região em estudo deve ser estimado, pois a satisfação dos cidadãos envolve aspectos sociais, econômicos, ambientais e urbanos, por isso é importante analisar a experiência subjetiva individual e a satisfação percebida pela população relacionada ao desenvolvimento urbano. Mensuração essa que pode ser feita por meio de indicadores, entre os quais pode-se incluir o ruído ambiental percebido pelas pessoas, uma vez que este incorre em desconforto, incômodo e prejuízo à saúde humana (GÖSSLING; CHOI, 2015; MUSA et al., 2018). Conforme Klein et al. (2015), sensações auditivas irritantes são evocadas por fatores acústicos com características espectrais e temporais.

Em estudo sobre o ruído, Ruiz-Padillo et al. (2014) elencaram as variáveis adequadas ao objetivo de caracterizar o ruído ambiental, como nível de pressão sonora (L_{Aeq}), volume de tráfego, população, percentual de veículos pesados e existência de instituições de ensino. Dos indicadores de ruído, o nível de pressão sonora (L_{Aeq}), de acordo com Duin e Heijden (2012), é sugerido por especialistas a ser considerado ao tratar-se do problema de ruído. Também, segundo Yang e Kang (2005), os valores de L_{Aeq} apresentam uma boa relação com a avaliação subjetiva das pessoas em relação ao ruído. Além disso, esse é o parâmetro de comparação com a ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019), que normatiza os limites de tolerância de níveis de ruído.

Ao se estudar o ruído, diversos indicadores podem ser derivados para a caracterização. Odat (2015) verificou o L_{Aeq}, assim como os percentis L_{A10}, L_{A50} e L_{A90}, para caracterização de ruído ambiental de maneira satisfatória, enquanto Wu et al. (2019) analisaram-nos também, principalmente, em relação ao tráfego veicular. Segundo Velis et al. (2000), a utilização do L_{Aeq} como indicador de ruído é apropriada para locais de elevado fluxo veicular. Também, é válido utilizar descritores estatísticos em seus valores absolutos (L_{A10}, L_{A50} e L_{A90}, por exemplo), assim como a combinação entre tais níveis como o *clima acústico* ($L_{A10} - L_{A90}$,), para aprimorar a análise. Em que $L_{10} - L_{90}$ pode ser analisado em termos de $T.N.I._A$. Segundo Liu e Kang (2015), o L_{Aeq} e o descritor composto $L_{A10} - L_{A90}$ apresentam satisfatório poder explicativo para os parâmetros de composição da paisagem sonora.

A utilização dos critérios citados pode ser verificada, por exemplo, em Arndt, Philips e Barbosa (2010), que realizaram medições de ruído em Curitiba e empregaram valores de L_{Aeq}, L_{A10}, L_{A90}, L_{ANP} e o critério $H.U.D._A$ para a caracterização. Bressane et al. (2016) utilizaram os critérios L_{Aeq} e L_{ATNI}, assim como Kumar e Srinivas (2015), que ainda acrescentaram L_{ANP} em sua análise e Shalini e Kumar (2018), que também incluíram L_{A10}, L_{A50} e L_{A10}. A seleção de tais variáveis também aparece em outras pesquisas sobre a caracterização do ruído ambiental (AGUILERA et al., 2015; RAGETTLI et al., 2016; ABDULKAREEM, 2018; SULAIMAN et al., 2018), o que contribui para endossar a justificativa por tal escolha. A estimativa do incômodo pode ser endossada pelo cálculo do $G.I._A$ e do $S.G.C.$. Pois, de acordo com Torija e Ruiz (2013), o cálculo do centro de gravidade do espectro sonoro permite caracterizar a paisagem sonora e o $G.I._A$, o que, conforme Calixto (2002), é satisfatório para na correlação L_{Aeq} e incomodidade. Além do L_{Aeq}, Yang e Kang (2005) indicam também a utilização do $S.G.C.$.

A aplicação de critérios menos utilizados também é interessante, como o $I.I._A$ ou o HI_A, o qual aparece em publicações europeias, como Ricciardi et al. (2015) e Gallo et al. (2018), por exemplo, porém não foi verificado em trabalhos em português.

2.9 Alternativas para mitigação

A poluição sonora é particularmente importante em locais nos quais as pessoas realizam suas atividades. Nas cidades, tal situação é especialmente significante, pois um conflito de interesses é verificado: de um lado, altos níveis de ruído são gerados devido à existência das atividades antrópicas e, de outro lado, baixos níveis de ruído são desejáveis e necessários para possibilitar que a população descanse (CASTIÑEIRA-IBAÑEZ; RUBIO; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2015; XU; ZHU; QIN, 2018). A composição do ruído urbano é complexa dada a superposição de uma ampla variedade de sons originados por diversas fontes e, portanto, característica de cada área em particular. Mas, em geral, pode-se dizer que a principal contribuição para a paisagem sonora urbana é fornecida pelo transporte (tráfego rodoviário, ruído de aeronaves e ferrovias). À essa fonte principal de

ruído são adicionadas outras, como sinos tocando e até a conversação de um grupo de pessoas na rua (CASTIÑEIRA-IBAÑEZ; RUBIO; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2015; QUINTERO; ROMEU; BALESTEGUI, 2019)

A paisagem sonora é um significativo elemento da experiência integral do ambiente urbano e tem influência na saúde e no bem-estar da população, afetando diretamente a qualidade da vida da cidade. Para mitigar a nítida influência negativa do ruído na qualidade de vida urbana é necessário o desenvolvimento de medidas de mitigação para tal problema e a inclusão destas no planejamento e projeto do ambiente construído (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2015; SULAIMAN et al., 2018). Esta abordagem deve considerar os aspectos espacial e funcional do ambiente, buscando uma solução (ou um conjunto destas) para a paisagem sonora como um todo, em que seu conteúdo seja desejável e apropriado ao seu espaço urbano (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2015; XIAO; LAVIA; KANG, 2017).

O ruído é um dos principais fatores de redução da qualidade de vida das populações, problema que tende a se intensificar devido ao desenvolvimento desordenado das cidades (OBERMAN; SCITAROCI; JAMBROSIC, 2014; CARNEIRO, 2018). Dessa forma, autoridades responsáveis pelas leis municipais utilizam-se destas para regular o som urbano de maneira quantitativa, por meio de medições e estimativas (RICCIARDI et al., 2015). Por isso, da necessidade de se medir e avaliar a paisagem sonora com critérios objetivos (TORIJA; RUIZ, 2015; TOSUN; AKYÜZ, 2015).

Também, a evolução das cidades demanda o desenvolvimento de opções de projetos e políticas inovadoras que melhorem as condições atuais, apresentem oportunidades a serem aproveitadas futuramente, considerando as consequências associadas (AREFIEV; TERLEEV; BADENKO, 2015).

De acordo com Kowalski et al. (2015), a busca por soluções de mitigação deve partir dos fenômenos relacionados à geração, potencialização e propagação do ruído.

O som emitido por uma fonte é continuamente atenuado durante sua transmissão até o receptor, ou seja, seu nível sonoro é reduzido conforme a

distância aumenta, pela existência de vegetação e barreiras, absorção pelo ar atmosférico, reflexão pelas superfícies (BISTAFA, 2018).

Ruiz-Padillo et al. (2014), Vogiatzis e Remy (2014), Paneto, Alvarez e Zannin (2017), assim como Bartalucci et al. (2018), sugerem, como possíveis intervenções para mitigação do ruído, alternativas como nenhuma ação (mantendo o estado atual), implementação de barreiras acústicas, melhoria das condições do pavimento das vias ou utilização de pavimentos de baixo ruído/mais absorventes, medidas de planejamento e gestão de tráfego (como a redução do volume do tráfego local e/ou sua velocidade, lombadas), introdução/incentivo de modos alternativos de transporte (bicicleta e caminhada à pé, por exemplo), inspeção de veículos para determinar sua emissão de ruído, estabelecimento de autorizações para circulação de veículos pesados em horários predefinidos, alargamento das calçadas e áreas de estacionamento e aprimoramento de espaços verdes ao ar livre. Além disso, poderiam ser realizadas intervenções para favorecer os pedestres, como a construção de barreiras acústicas em locais estratégicos e o zoneamento de praças e parques, para tornar os ambientes públicos mais saudáveis (PANETO; ALVAREZ; ZANNIN, 2017).

Segundo Lav, Bilgin e Lav (2018), as lombadas são utilizadas como forma de abrandar o tráfego e controlar a velocidade dos veículos, suas saliências de grandes dimensões forçam os condutores a reduzir significativamente a velocidade de seus veículos. De acordo com Sarafraz et al. (2016), a altura das lombadas influenciam mais que sua largura na redução do ruído. Contudo, deve-se considerar que a implantação desses elementos leva a redução de velocidade e a frenagem dos veículos, ações geradoras de ruído.

Em relação ao revestimento, segundo Freitas et al. (2016), os pavimentos de cubos de granito têm os valores mais fortes de ruído, os de concreto betuminoso e mistura betuminosa aberta com betume modificado com borracha apresentam os menores; as superfícies de lama asfáltica apresentam valores superiores aos pavimentos de bloco de cimento.

De acordo com Tian et al. (2014), pavimentos de concreto poroso são capazes de promover redução de ruído de 4 até 8 dB, considerando-se velocidades de

até 90 kmh^{-1}. Segundo Vázquez et al. (2016), pavimentos com ligantes modificados de borracha reduzem o ruído de rolamento incialmente em cerca de 1,8 dB a 50 kmh^{-1} após a sua reabilitação e de 1,3 dB após 3 anos de uso.

Os efeitos acústicos da vegetação têm sido reconhecido por décadas, devido a sua relevância no contexto urbano para o controle do ruído (KANG, 2015). Segundo Jang, Lee e Jeon (2015), arbustos, fachadas com vegetação e telhados verdes são capazes de atenuar os níveis de ruído. Enquanto as árvores tendem a aumentar tais níveis ondem estão localizadas, mas a reduzi-los no entorno, pois as copas das árvores são difusoras e refletoras de sons. Ainda de acordo com os autores, efeitos integrados de tipos vegetais combinados para o tratamento do ruído é menos eficaz que a soma de tratamentos únicos.

Segundo Van Renterghem (2018), estima-se que a redução do nível equivalente de ruído proporcionado por vegetação visível pode chegar a 10 dB. Levando-se em conta que os sons naturais associados, como cantos de pássaros, sons da própria vegetação induzidos pelo vento e sons de água, têm certo potencial sobre o ruído do tráfego rodoviário, pois são considerados relaxantes por si mesmos e contribuem com a ação restauradora da natureza, sugerindo sua proximidade.

De acordo com Botari et al. (2013), a seleção das espécies vegetais (porte, distribuição, frondosidade) e uma extensão superior a 30 metros de área verde, determinará os níveis de atenuação sonora, em que folhas, ramos e arbustos absorvem o som, enquanto troncos, ramos grandes e folhagem densa espalham o som. De modo que um cinturão verde pode absorver o som, mas não isolá-lo, não reduzindo o ruído de maneira eficaz, mas funcionando para esconder do campo de visão a fonte de ruído, proporcionando sensação de decréscimo do incômodo sonoro, contribuindo com a sensação de conforto (BOTARI et at., 2013; MAGALHÃES; BARBOSA, 2017).

Para Kowalski et al. (2015), barreiras de ruído dificultam os fenômenos de propagação de ruído, mas não impendem a geração deste, como, por exemplo, pneus rolando sobre os pavimentos. Assim, a redução do ruído do tráfego na fonte se aplica a soluções técnicas utilizadas em veículos, o modo como estes operam, medidas relacionadas ao gerenciamento de tráfego e às camadas

superficiais dos pavimentos. Como o limite de velocidade dos veículos, fluxo de tráfego suave, utilização de pavimento rodoviário com emissão de ruído reduzida, por exemplo, em alternativa às barreiras acústicas.

A construção de um prédio para receber os ensaios das baterias demandaria um projeto acústico que contemplasse todos os elementos e tratamentos acústicos (como o isolamento acústico) para sua conclusão bem-sucedida. Segundo Barbosa et al. (2016), o desempenho acústico é uma preocupação ao se projetar teatros, cinemas e auditórios, pois são construções em que a exigência de conforto acústico é fundamental para que seja garantida uma boa sonoridade e percepção de todas as frequências sonoras emitidas.

A utilização de barreiras acústicas é uma solução reconhecidamente eficaz (MAGALHÃES; BARBOSA, 2017). De acordo com Carneiro (2018), barreiras metálicas e barreiras de concreto (com características fonoabsorventes) chegam a alcançar uma atenuação de ruído em torno 16 dB e de 14 dB, respectivamente. Porém, a eficiência desse anteparo depende da altura, largura, espessura, material, forma, posicionamento e distância em relação a fonte ou do receptor (CORDEIRO, 2015; MAGALHÃES; BARBOSA, 2017; MEDEIROS; PIMENTEL; MELO, 2018).

Uma vez identificadas as áreas impactadas e o período do dia em que elas são impactadas, as soluções de curto prazo podem incluir medidas voltadas à qualidade de vida dos cidadãos, como barreiras acústicas e janelas à prova de som (KOZIEVITCH *et al*., 2016). De acordo com Pires (2014), pode-se atuar nos receptores superiores providenciando isolamento acústico nas habitações, quando as intervenções na fonte e percurso não são suficientes.

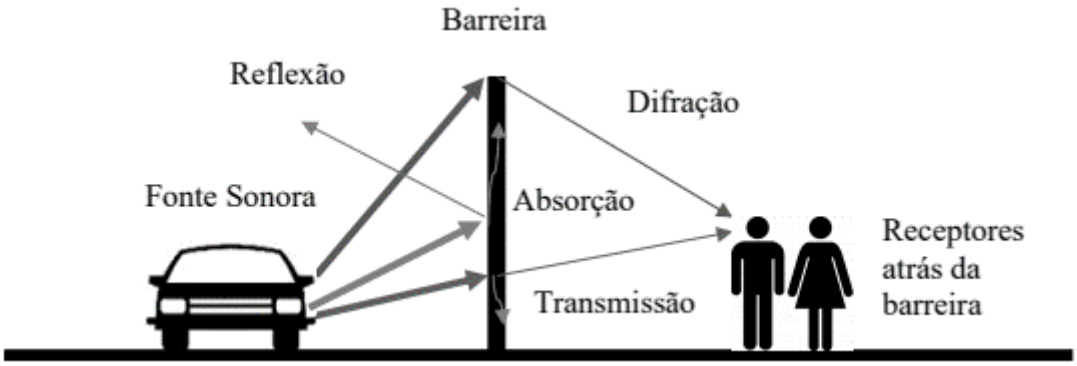
2.9.1 Barreiras acústicas

De acordo com Bistafa (2018), uma barreira acústica corresponde a uma estrutura ou obstáculo qualquer que impeça a visão de uma fonte sonora pelo receptor desta, isto é, obstrui a linha de visão entre estes. Ou seja, as barreiras acústicas são dispositivos limitadores de som, uma vez que constituem-se como

obstáculo à trajetória da onda sonora, podendo ser construídas a partir de um material absorvente e/ou outro refletor do som (PAIS, 2016).

Quando uma onda sonora se propaga na atmosfera pode encontrar um elemento que provoque alteração nas características do meio original e que interfira na propagação, ou seja, um obstáculo (LÓPES; MARTÍN, 2017). Quando colide com um obstáculo, a onda poderá ter parte de sua energia transportada refletida para o meio original de propagação (reflexão), outra parte será absorvida pelo obstáculo (absorção) e parte continuará sua trajetória de propagação mesmo que o percurso seja modificado por causa do obstáculo (refração) (LÓPES; MARTÍN, 2017). Assim, a atenuação do ruído proporcionada pela barreira acústica é resultado dos fenômenos de reflexão, absorção, transmissão e difração, que ocorrem entre o a fonte emissora e o receptor do ruído: ao atingir a barreira, parte da energia sonora é refletida de volta à fonte, parte é absorvida pela barreira, parte é transmitida ao através dela e parte é difratada (PAIS, 2016; CARNEIRO, 2018). Fenômenos estes representados na Figura 22.

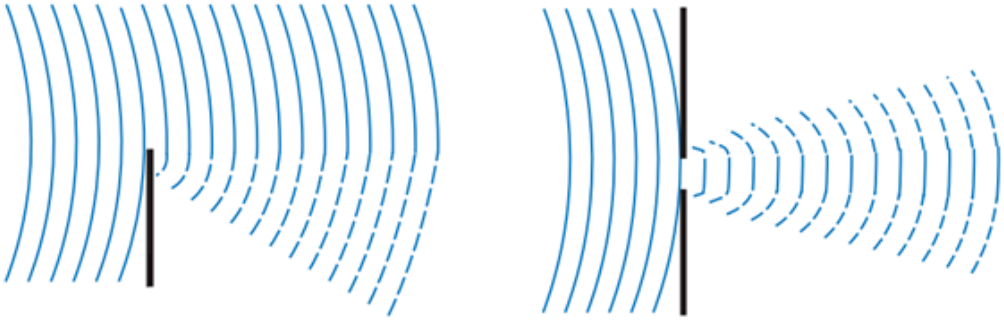
Figura 22 – Fenômenos sofridos por ondas sonoras ao atingir barreiras acústicas



Fonte: PAZOS (2015)

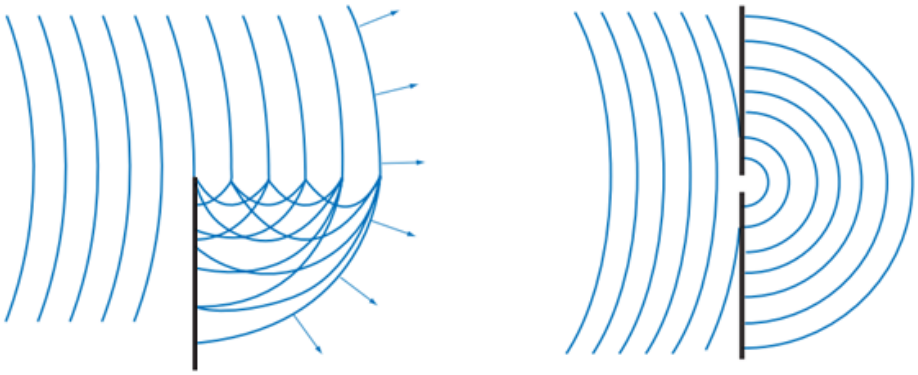
A difração, representada nas Figuras 23 e 24, ocorre quando a sonora transpõe/contorna o obstáculo (por suas bordas ou fendas) que há entre a fonte sonora e o receptor, mudando sua direção e reduzindo a intensidade sonora, até que se recomponha (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2013; SOARES, 2018). Propagações de ondas sonoras rasantes a solos duros, como os asfaltos, apresentam uma amplificação em torno de 3 dB nos níveis de bandas de oitava e níveis sonoros ponderados na curva A (BISTAFA, 2018).

Figura 23 – Efeito da difração em alta frequência



Fonte: FAUSTI (2004)

Figura 24 – Efeito da difração em baixa frequência



Fonte: FAUSTI (2004)

Por serem obstáculos à propagação das ondas sonoras, as barreiras acústicas são úteis em regiões em que se deseja atenuar este fenômeno de modo a melhorar o conforto acústico ao receptor (ORTINS, 2016). Uma barreira pode ser entendida como um painel, espesso ou não, instalado sobre uma superfície (solo, por exemplo), que tem o objetivo de impedir a propagação direta entre uma ou diversas fontes sonoras e um receptor, para que este receba o som que foi difratado (SOARES, 2018). Assim, as barreiras acústicas são uma solução eficiente e eficaz para atenuar a propagação sonora em área livre (CARNEIRO, 2018; SOARES, 2018).

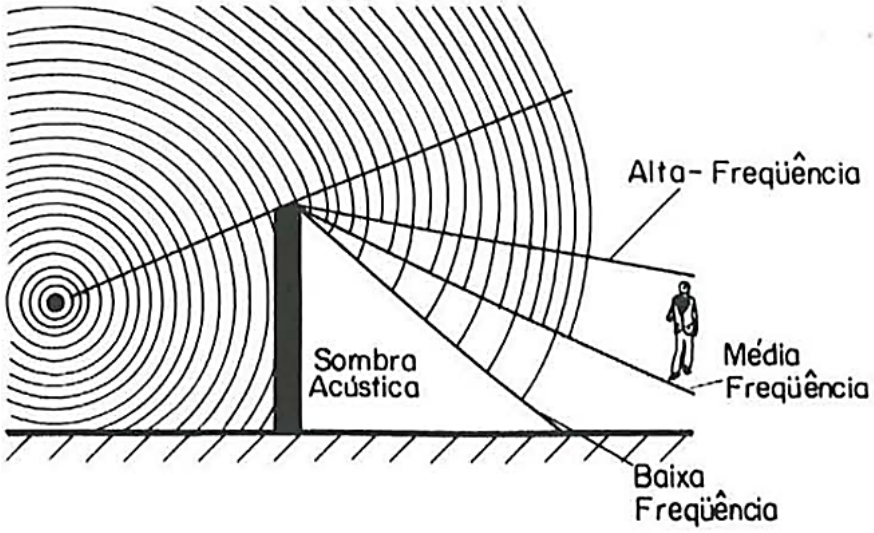
Segundo Pais (2016) e Carneiro (2018), as barreiras acústicas são uma das medidas para redução da propagação de ruído mais utilizadas pois, além de sua eficácia, provem, de modo relativamente mais econômico, proteção às áreas de interesse.

As barreiras apresentam a vantagem de poderem ser construídas maneira estratégica para proteger os receptores conforme a sua localização em relação a fonte de ruído, ocuparem pouco espaço e terem uma longa vida útil (PAIS, 2016).

De acordo com Morais (2008), para que uma barreira acústica seja considerada eficiente ela deve proteger a região de recepção da maior parte possível da energia sonora emitida pela fonte, além de atender aspectos econômico, estrutural, visual e de segurança. A eficácia das barreiras acústicas depende de suas dimensões, da construção e implantação corretas em relação a fonte e receptor, da temperatura, do tipo de solo, do vento, do material de fabricação e/ou outros obstáculos do entorno (PAIS, 2016).

No caso de barreiras longas, a difração do som nas bordas laterais da barreira não influencia o nível sonoro no receptor (BERTI, 2017). Este receberá o som, cuja fonte está na frente da barreira, atinge o topo deste obstáculo e é curvado para baixo por difração, a partir da zona de Fresnel (topo da barreira), criando a zona de sombra acústica atrás da barreira (BISTAFA, 2018), como demonstrado na Figura 25. Os raios sonoros difratados pelo topo atingem uma pequena parte da zona de transição, próxima da zona de sombra ao interferir com a onda direta (SOARES, 2018). O nível do som que entra na zona de sombra é reduzido por difração, que corresponde a atenuação da barreira ($A_{barreira}$) (BISTAFA, 2018).

Figura 25 – Sombra acústica devido a difração na barreira



Fonte: GERGES (2002)

O fenômeno da difração corresponde à alteração de um campo sonoro causada pela inserção de um obstáculo dentro deste campo sonoro; em barreiras acústicas a difração gera a redução do nível sonoro nos receptores dada à presença de um obstáculo na região situada entre estes e a fonte. Ao incidir na barreira, parte da onda sonora sofre reflexão e parte sofre atenuação da energia sonora atrás da barreira, ocasionando modificação no campo sonoro, produzindo uma região de sombra acústica, na qual somente alcança o receptor a energia sonora proveniente da difração das bordas da barreira (MORAIS, 2008).

Por causa da difração, o som pode chegar ao receptor por meio de uma trajetória indireta sobre a barreira, criando o que se chama de uma zona sombra e uma zona clara. Ao incidirem na barreira as ondas sofrem um encurvamento que se propaga, gerando zonas com intensidades de propagação diferentes (PAIS, 2016). A zona de sombra acústica, formada devido às barreias, é verificada quando o comprimento da onda é bastante inferior à dimensão do obstáculo que impede sua trajetória normal de propagação (ORTINS, 2016).

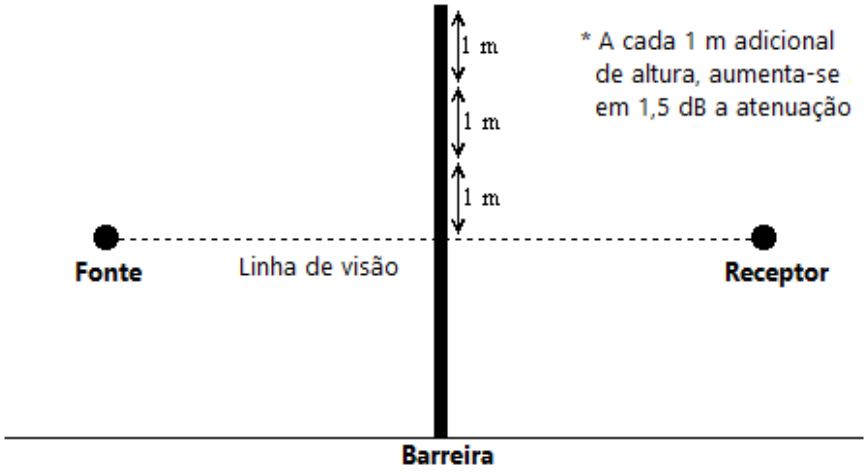
As ondas sonoras não apresentam um comportamento retilíneo ao encontrar a barreira e aquelas que não são refletidas ou absorvidas chegam ao topo e arestas desta, são difratadas e atingem o receptor de maneira indireta (PAIS, 2016). Assim, de acordo com Fard et al. (2013), na presença de uma barreira, o ruído proveniente de uma fonte chega ao local receptor por meio de duas vias: ondas difratadas na borda superior da barreira e por transmissão através da barreira.

Barreiras geralmente são construídas com materiais sólidos. Como o som transmitido é muito baixo, o desempenho da barreira é limitado pelo som difratado, que é altamente dependente da frequência da fonte, bem como das posições relativas da fonte e do receptor e da altura da barreira. O desempenho acústico de uma barreira acústica é geralmente quantificado pela *perda por inserção* (IL), que é a diferença entre o nível de som no receptor com e sem a barreira (FARD et al., 2013).

Segundo Pires (2014), em frequências mais elevadas, cujo comprimento de onda é menor, as ondas sonoras são direcionadas para cima ao atingirem a

barreira, já nas frequências mais baixas, que têm maior comprimento de onda, as ondas são difratadas para a zona de sombra da barreira. Isso implica que as barreiras acústicas são mais eficazes em altas frequências que em baixas frequências, assim a maneira mais simples de controlar o ruído de baixa frequência é aumentar a altura da barreira (FARD et al., 2013). Segundo Soares (2018), embora não exista uma relação direta entre a altura com a atenuação, quanto mais alta a barreira, maior será a distância que o som percorrerá da fonte até o receptor, isto é, entre as trajetórias percorridas pelas ondas difratadas e diretas. De acordo com a *Federal Highway Administration* (FWHA, 2019), como regra geral, adota-se que para cada metro da altura da barreira a atenuação será aumentada em 1,5 dB (Figura 26).

Figura 26 - Aumento da atenuação sonora da barreira acústica

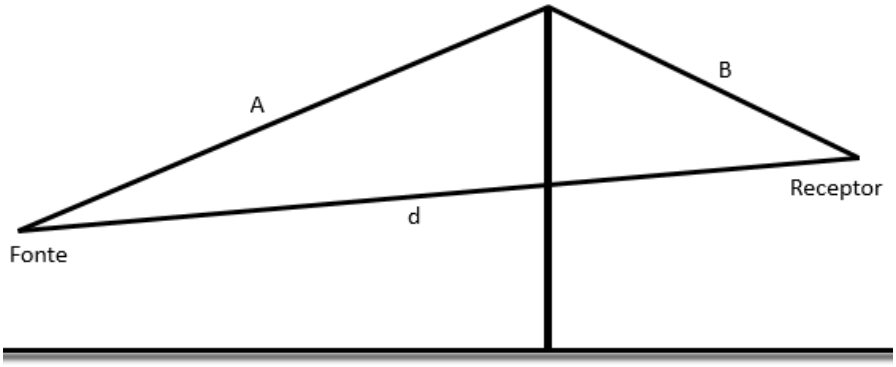


Fonte: Adaptado de FWHA (2019)

Segundo Carneiro (2018), tem-se a máxima redução de ruído quando as distâncias entre fonte, barreira e receptor são pequenas. Pode-se construir a barreira mais próxima ao emissor ou ao receptor sonoro para um bom desempenho do dispositivo, porém, em geral, atenuação é maior quando este é implantado mais próximo a fonte (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

Segundo Soares (2018), a eficácia das barreiras acústicas (Figura 27) é calculada em função do número de Fresnel (N). O qual é obtido, conforme Maekawa (1968) e Rathe (1969), como apresentado na Equação 35.

Figura 27 – Representação de barreira acústica



Fonte: Adaptado de MAEKAWA (1968)

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \tag{35}$$

Em que N é o número de Fresnel (adimensional);

$\delta = A + B - d$, em que que $(A + B)$ equivale a trajetória mais curta sobre a borda, da fonte ao receptor na zona de sombra acústica e d corresponde a distância do caminho direto, entre fonte e receptor, através da barreira (em metros) (KURZE; ANDERSON, 1970);

λ é o comprimento de onda (em metros) conforme a frequência (f) considerada (Equação 10).

Para a situação em que a reta entre a fonte e o receptor passa pela extremidade da barreira, tem-se N = 0 para todas as frequências; quando a reta é interceptada pela barreira, tem-se $N > 0$ e quando a reta não toca a barreira tem-se $N < 0$ (MORAIS, 2008).

À redução sonora ao se instalar uma barreira acústica denomina-se perda por inserção (IL), que pode ser calculada pela Equação 36 (MAEKAWA, 1968; BISTAFA, 2018).

$$IL = L_p - L \qquad [dB] \tag{36}$$

Em que L_p é o nível de pressão sonora no receptor sem a barreira acústica e L é o nível de pressão sonora no receptor após a instalação da barreira acústica.

O resultado pode ser expresso em termos de em bandas de oitava ou 1/3 de oitava. (ISO 9613-2, 1996).

A atenuação de uma barreira (ΔL_B) para o caso de uma fonte pontual com largura infinita e $N > 0$ pode ser calculada pela Equação 37 (MAEKAWA, 1968; LICITRA, 2013; FARINA, 2014).

$$\Delta L_B = 10\log(3 + 20N) \qquad [dB] \tag{37}$$

Para $-0{,}2 < N < 12{,}5$, Kurze a Anderson (1970) apresentam a Equação 38.

$$\Delta L_B = 20\log\left[\frac{\sqrt{2\pi N}}{\tan(\sqrt{2\pi N})}\right] + 5[dB] \tag{38}$$

Conforme Rathe (1969), se $N > 12{,}5$, a atenuação da barreira é de $24\ dB$ e, para fontes pontuais e barreiras infinitas, se $N \geq 1$, aplica-se a Equação 39.

$$\Delta L_B = 13 + 10\log(N) \qquad [dB] \tag{39}$$

De acordo com Langdon e Scholes (1968), ao se projetar uma barreira acústica devem ser considerados fatores como a distância entre esta e a fonte e o receptor, a altura e o *design* da barreira, a posição da fonte e do ponto de recepção e a natureza do terreno.

Segundo Berti (2017), devem ser considerados três critérios para caracterizar um objeto como barreira acústica: sua densidade superficial deve ser, pelo menos, 10 Kgm^{-2}, sua superfície deve ser fechada e suas dimensões horizontais perpendiculares à linha fonte-receptor devem ser superiores ao comprimento de onda de interesse.

Conforme Morais (2008), podem ser empregados diferentes tipos de materiais (e de diversas maneiras) na construção de uma barreira acústica, desde que este tenha uma massa superficial mínima de 10 Kgm^{-2}, de modo que o som que a atravesse não seja significativo; pretende-se dessa forma, que a transmissão sonora através da barreira seja desprezível comparada à difração, não comprometendo o desempenho desta. Além disso, para que a função da barreira seja efetiva, esta não deve apresentar aberturas, cuja transmissão possa ser significativa

Segundo Kotzen e English (2009), a massa superficial da barreira é um dos fatores mais importantes para o isolamento e, no Reino Unido, o Departamento de Transportes utiliza a Equação 40 para o cálculo da massa superficial mínima exigida para uma barreira.

$$\sigma = 3 \text{ x } 10^{\left(\frac{A-10}{14}\right)} \qquad [Kgm^{-2}] \qquad (40)$$

Em que A é a atenuação proporcionada pela barreira em dB.

Exemplos de materiais são apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Propriedades de materiais para barreiras

Material	Espessura mínima (m)	Densidade superficial (Kgm^{-2})
Bloco de concreto leve (0,2 x 0,2 x 0,405 m)	0,2	151
Concreto denso	0,1	244
Concreto leve	0,15	244
Concreto leve	0,1	161
Concreto	0,19	209
Aço, 18 ga	0,00127	10
Aço, 20 ga	0,00095	7,3
Aço, 22 ga	0,00079	6,1
Aço, 24 ga	0,00064	4,9
Alumínio, Folha	0,0000625	4,4
Alumínio, Folha	0,00318	8,8
Alumínio, Folha	0,00635	17,1
Madeira	0,01	5,63
Madeira, abeto	0,012	8,3
Madeira, abeto	0,025	16,1
Madeira, abeto	0,05	32,7
Compensado	0,012	8,3
Compensado	0,025	16,1
Vidro	0,00318	7,8
Acrílico	0,006	7,3 – 7,99

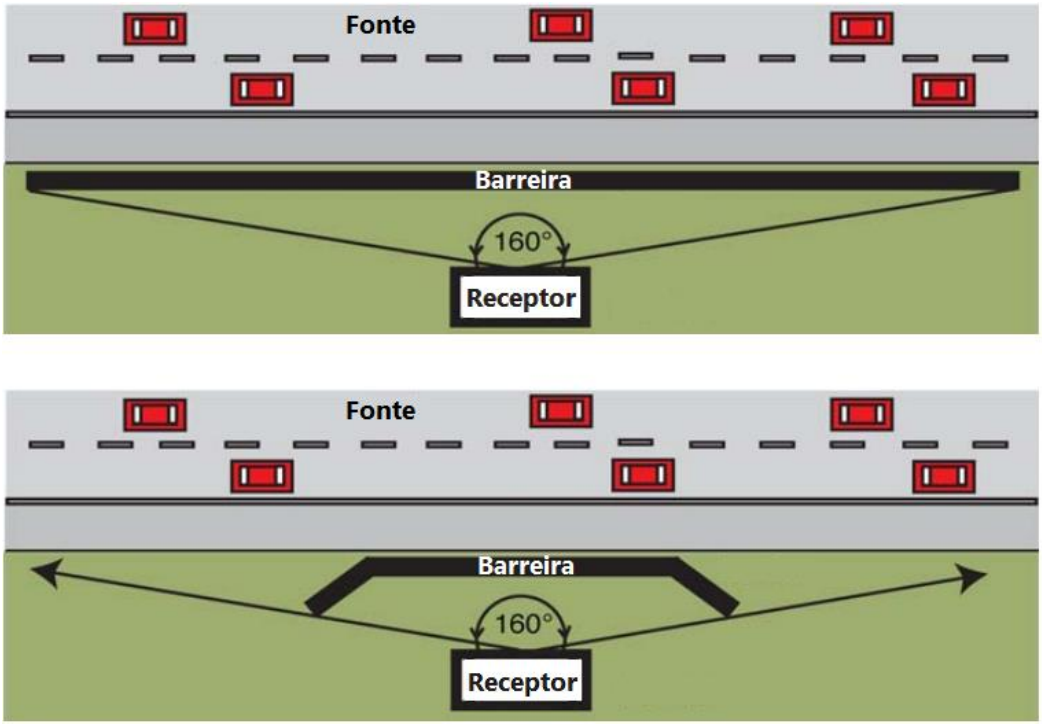
Fonte: Adaptado de FERREIRA NETO (2002) e FWHA (2019)

Segundo Kotzen e English (2009), a difração do som ocorre não somente na borda superior de uma barreira, mas também em torno das extremidades, por

isso a redução de ruído fornecida por uma barreira depende de sua altura e localização (fonte/receptor), como também de seu comprimento. Segundo os autores, o som difratado em torno das extremidades da barreira tenderá a ser menos significativo que o som difratado no topo, já que esse caminho de transmissão se beneficia de quaisquer efeitos de absorção do solo que possam ter atenuado o raio direto.

Em geral, verifica-se que uma barreira que cobre um ângulo de 160º subentendido do receptor para a fonte assegurará que os raios difratados no final não sejam significativos. O comprimento da barreira pode ser reduzido inclinando as extremidades para longe da fonte se houver espaço disponível, como representado na Figura 28 (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

Figura 28 – Proteção da barreira



Fonte: Adaptado de KOTZEN; ENGLISH (2009)

O ruído refletido na barreira pode comprometer a atenuação que esta é capaz de proporcionar, tal situação pode ser resolvida pelo aumento da altura da barreira ou pela utilização de materiais fonoabsorventes em sua face interna, de modo a reduzir a reflexão pelo aumento da absorção sonora (KOTZEN; ENGLISH, 2009). Por isso, segundo Pires (2014), materiais fonoabsorventes são úteis quando da existência de barreiras paralelas ou nas proximidades de tráfego

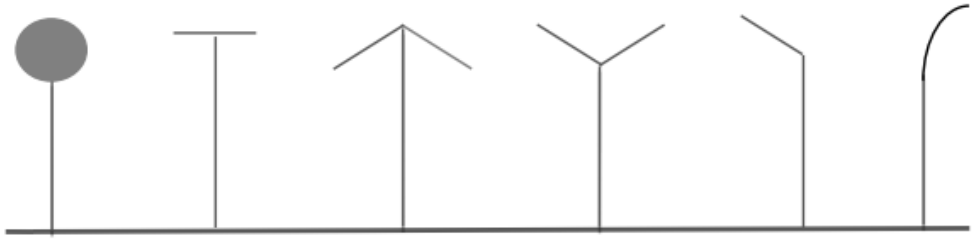
de veículos pesados, situações em que podem ocorrer múltiplas reflexões que provocam a difração no topo da barreira.

O revestimento interno da barreira pode ser feito a partir de materiais absorventes sonoros: membranas ressonantes, ressoadores ou materiais porosos (AZEVEDO, 2013; ABREU, 2017). As membranas são mais eficazes na absorção de sons de baixas frequências, os ressoadores para as médias e os materiais porosos são apropriados para as frequências baixas (SANTOS, 2015; ABREU, 2017; PESSOA, 2018).

De modo a atingir maior atenuação sonora sem aumentar a altura da barreira, pode-se optar pela a inclinação de seu topo (de 3º a 15º, geralmente) ou construí-lo de maneira curva, o que reduz a altura aparente do obstáculo e o torna mais agradável a visão (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

O topo da barreira acústica é uma área sensível, onde a difração ocorre na passagem do som para a zona protegida, para reduzir este efeito pode-se trabalhar na sua configuração (SOARES, 2018). De acordo com designers, os dispositivos acoplados no topo das barreiras devem melhorar as propriedades acústicas destas em comparação às barreiras com planas (PIECHOWICZ, 2015). Segundo Fard et al. (2013), o topo de uma barreira pode ter formato cilíndrico, “T”, seta, “Y”, inclinado ou curvado, por exemplo, como representado na Figura 29.

Figura 29 – Tipos de topos de barreira



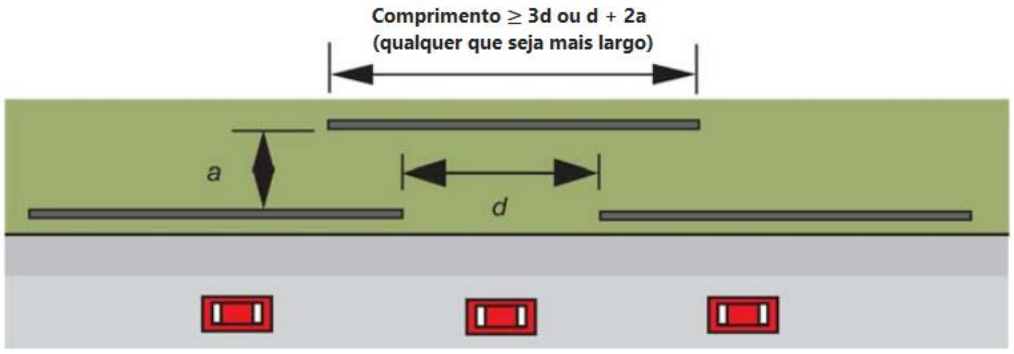
Fonte: FARD et al. (2013)

De acordo com Oldham e Egan (2015), a vantagem de se empregar um topo adicional reflexivo é que a necessidade de tratamento absorvente é evitada.

Embora possam ocorrer reflexões entre barreiras paralelas, barreiras e veículos ou entre barreiras e edificações (PAZOS, 2015), para sons graves (baixa frequência) costuma ocorrer difração ao invés de reflexão, mais comum para altas frequências (BARBOSA, 2015).

Há ocasiões em que pode ser desejável deixar uma lacuna em uma barreira devido a alguma restrição de engenharia ou ambiental e/ou para acesso e manutenção. Nessas situações o desempenho acústico da barreira deve ser preservado, levantando paralelamente uma barreira de sobreposição atrás do local da abertura. Uma face da sobreposição deve ser revestida com material fonoabsorvente para evitar reflexões sonoras na abertura. O comprimento da seção de sobreposição deve ser pelo menos tão longo quanto a separação horizontal entre as duas barreiras, como demonstrado na Figura 30 (KOTZEN; ENGLISH, 2009).

Figura 30 – Comprimento de sobreposições para aberturas em barreiras



Fonte: Adaptado de KOTZEN; ENGLISH (2009)

Apesar de seu efeito positivo à saúde humana, de acordo com Pais (2016), as barreiras acústicas podem não ser bem aceitas pelo público, sendo o impacto visual o maior efeito negativo destes dispositivos; contudo, já existem diversas opções de acabamentos para as barreiras acústicas, de modo a reduzir seu impacto visual e não enquadramento com a paisagem.

As barreiras acústicas podem ser classificadas como absorventes ou refletoras, dependendo do material que as constituem. Podendo também serem mistas: quando sua composição utiliza materiais dos dois tipos (PAIS, 2016). Segundo Gandoman e Kokabi (2015), se a onda sonora colidir contra uma superfície dura e uniforme (refletora), será refletida da mesma forma que a luz reflete de um

espelho, causando isolamento acústico; no entanto, se o som colidir com um material com porosidade perceptível (buracos abertos), as ondas sonoras entrarão no sólido, sua energia será transformada em calor e, em suma, o som será dissipado, gerando absorção acústica.

As barreiras podem ser construídas de diversos materiais, apresentando vantagens e desvantagens para cada um, como sintetizado na Quadro 11 (CARNEIRO, 2018).

Quadro 11 – Vantagens e desvantagens de diferentes tipologias de barreiras

Tipologia de barreiras	Vantagens	Desvantagens
Concreto	Material muito resistente; longa vida útil; pouca manutenção; absorção mediana.	Obstrui o campo de visão, impedindo a propagação da luz; menor absorção quando comparada a barreiras metálicas; esquema de cores pouco flexíveis; difícil integração paisagística.
Revestimento vegetal	Bom desempenho a nível de redução do ruído; fácil integração paisagística; vida útil longa.	Longo período de instalação; exige muita manutenção; custo elevado.
Muro em alvenaria	Bom conforto térmico; economia na execução; resistente ao fogo.	Obstrui o campo de visão; difícil integração paisagística.
Painel metálico	Material opaco com características de isolamento; com manutenção terá vida útil longa; painéis leves; alta absorção.	Necessita de tratamento de anti-corrosão periodicamente; alta exposição à umidade no interior da barreira; difícil integração paisagística.
Madeira	Material opaco com características de isolamento; fácil integração paisagística; absorção mediana.	Vida útil limitada; necessita de tratamento anti-fungos para aumentar sua durabilidade; obstrui o campo de visão.
Materiais transparentes	Material transparente com características de isolamento; não obstrui o campo de visão; vida útil moderada; resistente aos raios ultravioletas.	Material relativamente frágil, sensível ao vandalismo e inflamável; não apresenta características de absorção; pode eventualmente apresentar opacidade.
Compósitas	Material opaco com características de isolamento; vida útil prolongada; resistente aos raios ultravioletas; esquema de cores ilimitado; alta absorção.	Altamente inflamável; obstrui o campo de visão.
Cortiça	Sustentável; impermeável; imputrescível; resistente ao fogo, alta absorção.	Afetado por raios ultravioletas se não for aplicado verniz; possível degradação dos materiais biológicos.

Fonte: CARNEIRO (2018)

Segundo Lamounier (2008), o concreto é um material isolante, então uma parede maciça deste apresenta elevado índice de atenuação sonora e também de reflexão, impedindo que o som passe de um ambiente para outro. Porém, de acordo com Pais (2016), o concreto pode apresentar características absorventes se no seu processo de fabricação forem utilizados componentes que o caracterizem dessa maneira. Concreto geopolimérico de borracha residual, por exemplo, utilizado em barreira sonora apresenta melhor desempenho para redução de ruído que o concreto convencional, dadas as características absorventes que passa a possuir (GANDOMAN; KOKABI, 2015).

Barreiras absorventes podem ser constituídas por materiais porosos de textura aberta, em que a absorção sonora ocorre pelas perdas por fricção nos vazios interligados da camada permeável, sendo uma face de sólida e impermeável para evitar a transmissão sonora através do painel, por exemplo sistemas em concreto com uma estrutura porosa aberta e leve (ANTUNES, 2011).

Conforme Costa et al. (2013), entre os diversos materiais possíveis para a construção de uma barreira, o concreto apresenta a vantagem de ser mais barato requerer menor manutenção, mas pode ser visualmente desagradável, não caso não haja integração com o entorno. De acordo com Pires (2014), o concreto permite uma gama de formatos e dimensões para a construção de barreiras acústicas.

De acordo com Cecchetto et al. (2014), barreiras de concreto são comumente empregadas por sua alta resistência estrutural, possibilidades de modulação, alta durabilidade, baixa manutenção e espessa massa isolante que pode ter o incremento de uma camada de concerto poroso absorvente.

Barreiras com revestimento vegetal apresentam bom desempenho em relação a redução de ruídos e atendem ao enquadramento paisagístico. Podem ter seus painéis protegidos por uma estrutura metálica com o interior composto por um painel de lã de rocha, o que permite o revestimento vegetal. Porém não são comumente encontradas. Sua principal desvantagem é o longo período de instalação, pois as plantas demoram para cobrir toda a barreira (CARNEIRO, 2018). Geralmente, esse tipo de barreira revestida é construída de outro material

e a vegetação é plantada no solo de sua base para crescerem e, gradativamente, cobrirem todo o anteparo (PIRES, 2014). Conforme o autor, embora a vegetação tenha uma função puramente estética, uma vez que tem pouca influência sobre os níveis sonoros, contribui para o enquadrando a barreira na paisagem, o que é um aspeto importante.

Conforme Lacasta et al. (2016), quando um par de barreiras acústicas é erguido paralelamente, as múltiplas reflexões que ocorrem entre elas podem resultar em degradação da atenuação em relação ao do desempenho de uma única barreira, mas esse efeito pode ser minimizado pelo uso de barreiras verdes. Segundo os autores, ao se preencher o interior de barreiras de concreto com vegetação, consegue-se aprimorar o desempenho destas.

Geralmente, pesquisas a respeito de barreiras acústicas, como Jiang e Kang (2016), Oltean-Dumbrava e Miah (2016), Wang, Luo e Cal (2018), Chaddanai e Pruethipong (2018), mantêm o foco na atenuação que se pode obter em relação ao ruído de tráfego veicular.

2.10 Monitoramento

Segundo Ricciardi et al. (2015), as avaliações de ruído urbano podem ser expressas por um único valor que é necessário para se definir o padrão. Para tanto, é necessário que sejam realizados monitoramento do ruído de interesse, de forma a compará-lo com os padrões estabelecidos.

As medições de ruído devem ser realizadas em pontos únicos e em vários destes, sendo que a quantidade, os locais e as distâncias relativas entre os pontos dependem muito sobre a configuração espacial do ambiente investigado, bem como o nível de detalhamento necessário e propósito do estudo específico (KANG et al. 2018).

De acordo com a ISO (1996), na Norma ISO 1996: *Acoustics – Description and measurement of environmental noise Part 2: Basic quantities and procedures* (ISO 1996-2, 1996), a localização e o número de pontos para aferição do ruído dependem das características do ambiente estudado. A quantidade de pontos é estabelecida segundo a representação espacial desejada e a variação dos níveis

de pressão sonora do ruído, que é maior nas proximidades das fontes geradoras ou de grandes obstáculos.

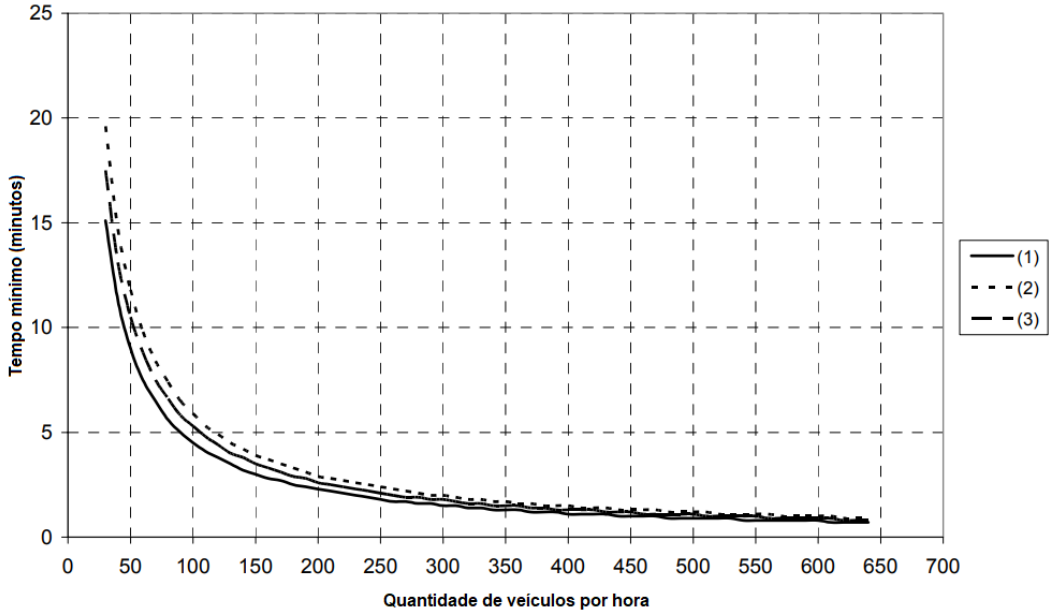
Segundo a ISO 1996-2 (ISO, 1996), ao medir-se o L_{Aeq}, o número de veículos que passantes deve ser contado durante o intervalo de tempo de medição. Recomenda-se a distinção entre, pelo menos, duas categorias de veículos: "pesados" (excedem a massa de 3 500 kg) e "leves". Para determinar se as condições do tráfego são representativas, a velocidade média do tráfego deve ser medida e o tipo de superfície da estrada anotado.

Para cada ponto de medição realiza-se a contagem do número de veículos em circulação, distinguindo-os em quantidade e tipo: motocicletas, veículos leves (automóveis, caminhonetes, utilitários e vans) e veículos pesados (ônibus, micro-ônibus e caminhões). Ao considerar-se a norma alemã RLS-90 (*Richtlinien für den Lärmschutz an Straben* - Diretrizes para Controle do Ruído em Rodovias), esta estabelece massa igual ou superior a 2,8 toneladas como fator de caracterização de veículos pesados. Método que considera, também, o fluxo horário médio de tráfego veicular (DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR, 1990; GUEDES; BERTOLI, 2014; BIASI et al., 2018).

As medições de níveis de pressão sonora devem ser realizadas em dias típicos da semana (terças, quartas e quintas-feiras), de modo que sejam evitadas situações atípicas de finais de semana e feriados. Os horários das medições são aqueles em que há maior fluxo veicular, isto é, horários de pico (MENDONÇA et al, 2013; GUEDES; BERTOLI, 2014; SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015; MAGIOLI; TORRES, 2018).

De acordo com Donato, Monti e Vecchione (2006), o tempo mínimo para o monitoramento de ruído deve ser estabelecido segundo o volume de tráfego por hora, conforme demonstrado graficamente na Figura 31.

Figura 31 – Relação entre tempo mínimo de monitoramento e fluxo horário de veículos



Fonte: DONATO; MONTI; VECCHIONE (2006)

Da Figura 31, a curva 1 demonstra a relação propriamente dita. As curvas 2 e 3 representam a incerteza inerente relacionada a velocidade e distância, respectivamente. Tal incerteza é de 20% para ambas (DONATO; MONTI; VECCHIONE, 2006). Este método valida o tempo de 15 minutos de medições de ruído para satisfazer o monitoramento.

Para a aferição do ruído, o equipamento deve estar calibrado e a configuração para tal deve ser feita conforme as instruções do fabricante (ISO 1996-1, 1996). De acordo com a ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019), o calibrador acústico deve atender às especificações da IEC 60942, e sua classe deve ser 2 ou melhor. Tal instrumento, assim como medidor de nível de pressão sonora, deve ter certificado de calibração da Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), renovado a cada dois anos, pelo menos. Auxiliado pelo calibrador acústico, o operador do equipamento deve realizar uma verificação e eventual ajuste do medidor de nível de pressão sonora ou do sistema de medição imediatamente antes e após cada medição, ou conjunto de medições relativas ao mesmo evento (ABNT 10151, 2019).

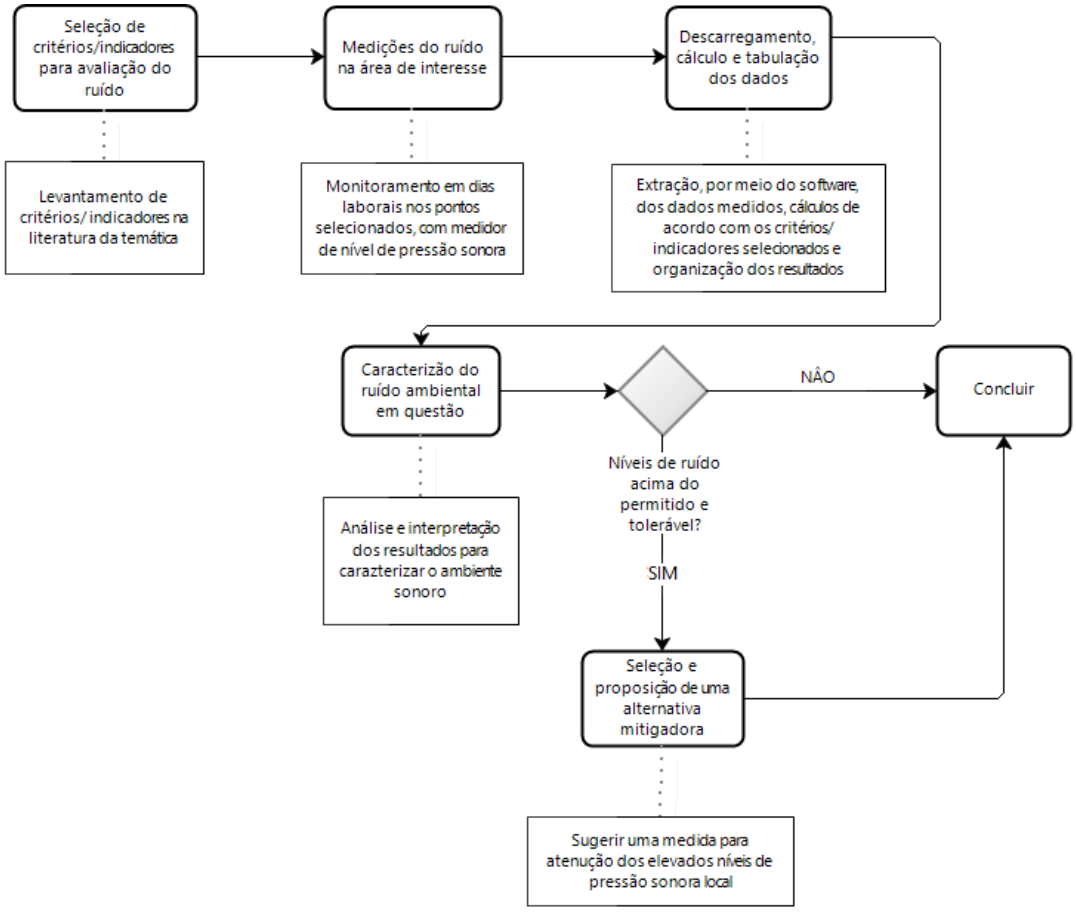
3. METODOLOGIA

A pesquisa realizada neste trabalho é aplicada e exploratória, pois visa à geração de conhecimentos para solucionar problemas específicos, com aplicação prática. Seu planejamento é flexível e inclui revisão bibliográfica. Sua abordagem é quantitativa, uma vez que o ambiente em estudo e seus elementos constituem fonte direta de dados descritivos e quantificáveis a serem classificados, apresentados e analisados para a caracterização da situação estudada (GIL, 2010; PRODANOV, FREITAS, 2013).

Esta pesquisa caracteriza-se ainda como estudo de caso, pois são realizados estudos aprofundados sobre o objeto de pesquisa, atendendo aos requisitos (como rigor, objetividade e coerência) fundamentais a este tipo de estudo (GIL, 2010; PRODANOV, FREITAS, 2013).

Apresenta-se o fluxograma das etapas de realização do trabalho é apresentado Figura 32.

Figura 32 – Fluxograma metodológico



3.1 Caracterização do objeto de estudo

O Município de Maringá está situado na região noroeste do Estado do Paraná e é o polo de uma Região Macroeconômica que abrange 25 municípios. A população da cidade era de 357 077 habitantes em 2010, a estimativa para 2018 é de 417 010 pessoas (IBGE, 2010; MARINGÁ, 2019). A frota de veículos da cidade é, de acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES, 2019) 315 352 unidades em 2018. Tais dados demonstram a importância e o impacto das atividades do município, tanto em aspectos econômicos e políticos como sociais e urbanísticos.

O zoneamento maringaense é dividido em Zona de Comércio Central (ZCC), Zona de Comércio e Serviços (ZCS), Zonas Industriais (ZI), Zonas Residenciais (ZR), Zonas de Urbanização Específica (ZUE), Zonas de Proteção Ambiental (ZP), Zonas Especiais (ZE), Zona Rural (ZRU) e Setor de Eixos Rodoviários (SER) (MARINGÁ, 2013).

Foi realizado o monitoramento de ruído na Zona Especial 07, região onde os grupos das baterias das atléticas dos cursos de graduação da Universidade Estadual de Maringá (UEM) ensaiam. São doze as baterias universitárias que representam vários cursos da UEM (ATLÉTICAS, 2016). Além de proverem a animação durante os jogos, as baterias participam de competições próprias. Os grupos das atléticas da universidade maringaense são premiados e reconhecidos por suas performances, que são praticadas nas proximidades da universidade (INTEGRAE, 2017).

Os ensaios das baterias universitárias, considerados ruidosos pelos moradores locais, acontecem diariamente no estacionamento do Ginásio Francisco Bueno Neto (Ginásio Chico Neto), ao lado da Avenida Colombo (rodovia) na Zona Especial 07. Esta, no trecho considerado, tem velocidade de tráfego limitada a 60 kmh^{-1}.

Os estudantes realizam seus ensaios ao final das tardes, das 18h00min às 19h30min, pois este horário foi estabelecido pela universidade (UEM, 2015), como uma tentativa de atender as reclamações que os moradores da região vêm apresentando sobre o barulho das baterias.

O espaço utilizado pelos universitários faz parte da Vila Olímpica ou Complexo Esportivo Jaime Canet Júnior, que briga o Estádio Regional Willie Davids, os Ginásios de Esportes Chico Neto e Valdir Pinheiro, o Parque Aquático, quadras de areia, um velódromo, pista de atletismo, academia para a terceira idade (ATI) e um alojamento para 80 atletas (MARINGÁ, 2019).

O entorno do complexo esportivo é um espaço público e funciona como uma pista de caminhada/corrida. A população maringaense a utiliza diariamente, inclusive e principalmente nos horários de ensaio das baterias, que ocorrem no estacionamento do complexo, tangenciando um trecho da via de caminhada. Ou seja, o ruído gerado pelos ensaios das baterias não tem afastado a população da utilização do espaço para a prática de exercícios físicos, embora os moradores da região tenham reclamado da atividade dos universitários.

De acordo com a legislação de Uso e Ocupação de Solo do Município de Maringá (MARINGÁ, 2013), as Zonas Especiais são destinadas a abrigar padrões urbanísticos específicos em áreas onde exista a presença de atividades, usos ou funções urbanas cujos caráteres excepcionais não se enquadram nas demais zonas definidas a lei em questão.

O Munícipio de Maringá adota os valores estabelecidos para níveis de ruído da ANBT NBR 10151 (ABNT, 2019), de acordo com sua Lei Complementar nº 218/1998 do (MARINGÁ, 1998). Os dados obtidos dos monitoramentos devem ser comparados com os valores definidos para o período diurno, pois a referida legislação considera que tal período está compreendido entre às 7h00min e 20h00min e as medições foram realizadas dentro deste intervalo.

A legislação maringaense menciona manifestações artísticas e recreativas relacionadas a eventos como Carnaval, Festas Juninas, Ano Novo, e Feiras Agropecuárias e demais festas populares tradicionais, para as quais admite-se, em caráter excepcional, até o limite de 50% dos níveis de emissão sonora previstos de acordo com a ANBT NBR 10151 (MARINGÁ, 2015). A mesma lei considera que fanfarras ou bandas musicais, em cortejos, procissões ou desfiles cívicos são situações de exceção em que não se aplica proibições em termos de ruído. Porém, para o caso das baterias não verifica-se, então, enquadramento

específico, de modo que considera-se a tolerância para ruído ambiental da ANBT NBR 10151 (ABNT, 2019) adotada pelo município.

A área selecionada é de uso misto e fluxo veicular intenso. Estas características configuram um ambiente urbano conflituoso, pois há diversidade e intensidade de atividades (como econômicas e educacionais) concorrentes aos imóveis residenciais, em que há demanda de condições de conforto e repouso para seus habitantes.

3.2 Materiais e métodos

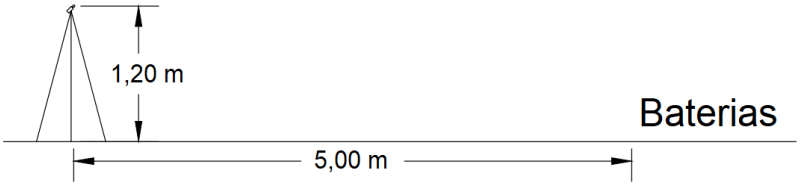
Com vistas à caracterizar o ruído do ambiente sob influência dos ensaios das baterias, foram realizadas mais medições do índice de pressão sonora em três pontos distintos durante os períodos em que as atléticas estavam ensaiando. Foram monitorados a fonte propriamente dita e outros dois pontos próximos, mas de uso e ocupação do solo distintos (um comercial e outro residencial).

Para os monitoramentos, utilizou-se o aparelho Solo da marca 01 dB. Este medidor de índice de pressão sonora é de Classe 2, atende as especificações de configuração da ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019) e foi utilizado segundo as orientações da mesma norma. O sonômetro foi configurado com curva de resposta para ponderação A, tempo de resposta *fast* e instalado sobre um tripé. O aparelho fornece também dados do espectro sonoro (bandas de 1/3 de oitava), o que contribui para aprimorar a caracterização do ruído medido no ambiente.

Como indicado pela ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019), o microfone do aparelho recebeu um protetor de vento, foi posicionado a dois metros de qualquer tipo de barreira e a altura de um metro e vinte centímetros do solo. O sonômetro foi fixado em um tripé durante as medições.

Durante a execução das leituras dos níveis de pressão sonora dos ensaios das baterias, admitiu-se uma figura aproximadamente retangular em torno dos grupos e o sonômetro foi posicionado para efetuar uma medição a uma distância aproximada de 5 metros, como representado pela Figura 33.

Figura 33 – Posicionamento do equipamento para monitoramento das baterias

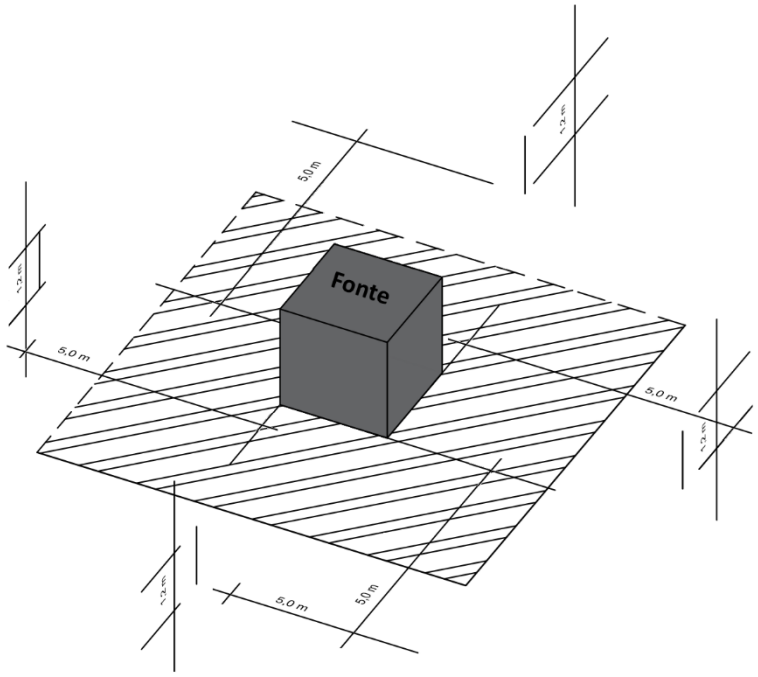


Os monitoramentos dos três locais foram realizados às terças, quartas e quintas-feiras, com início às 18:00 horas e cada leitura durou 15 minutos por ponto.

As medições foram executadas de tal maneira que cada ponto foi por três vezes o primeiro ponto de monitoramento, três vezes o segundo ponto de monitoramento e três vezes o terceiro ponto de monitoramento. Dessa forma, cada local teve leituras no início, no meio e no final do horário das medições pelo mesmo número de vezes.

Também foram realizadas medições da fonte sonora de interesse, os ensaios das baterias universitárias, de modo análogo a ISO 3744: 2010, com vistas à utilizar os valores obtidos em análises de atenuação. Estas leituras foram efetuadas em três dias laborais (terça, quarta e quinta-feira), com início às 18:00 horas. O posicionamento do microfone do medidor de nível de pressão sonora seguiu as especificações da ISO 3744: 2010, considerando-se a fonte dentro de um cubo, cujas medidas foram realizadas a 5,0 metros de distância de cada uma de suas quatro faces, a 1,20 metros de altura (em relação ao solo) (Figura 34). Cada uma das medições levou 15 minutos.

Figura 34 – Representação da figura considerada para medição dos níveis de ruído das baterias



3.3 Monitoramento local

Para registro e avaliação do ruído ambiental da área em que os ensaios das baterias ocorrem foram realizadas medições na fonte geradora e em mais dois pontos nas proximidades. Intenciona-se, dessa forma, medir o ruído gerado pelos ensaios das baterias propriamente ditos e de um local comercial e outro residencial enquanto as baterias estão tocando.

Um dos pontos monitorados corresponde ao estacionamento do Ginásio Chico Neto, onde as baterias realizam seus ensaios, ao lado da Avenida Colombo e pertencente a Zona Especial 07. As doze baterias que representam a UEM utilizam o espaço para ensaiarem das 18h:00min as 19h:30min. Durante os períodos de medição, verificou-se a presença de vários grupos ensaiando simultaneamente, apesar de não serem sempre os mesmos grupos diariamente.

Durante os monitoramentos de ruído das baterias, as leituras dos níveis de pressão sonora registraram dados de número de grupos e de grupos distintos, pois a cada dia uma quantidade de atléticas ensaia, podendo ser todas distintas ou algumas as mesmas de um dia para o outro. Por isso, há variação no número

de equipes, membros e, consequentemente, de instrumentos sendo tocados. Os instrumentos, que podem ser em quantidades variáveis, são surdos de marcação, surdos de corte, caixas, tamborins, chocalhos e repiques. Algumas baterias usam todos, outras não.

No decorrer dos ensaios das baterias, é comum que os membros cheguem após o início ou saiam antes do final, de modo que o número de membros também varia dentro de um mesmo grupo durante o mesmo período de ensaio.

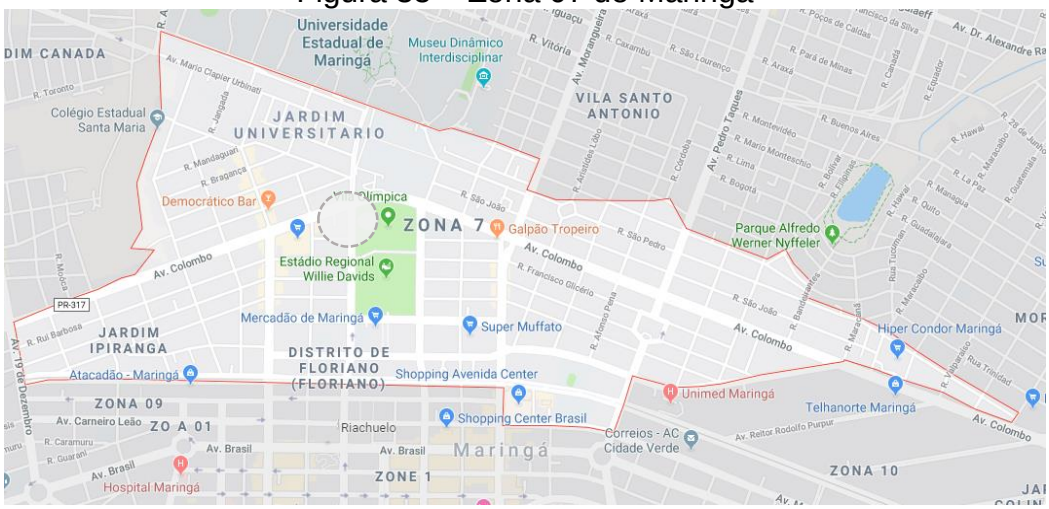
Enquanto ensaiam, os universitários movimentam-se constantemente, mudando a direção do corpo, afastando-se e aproximando-se do aparelho medidor. Além disso, os instrumentos não são tocados durante o tempo integral do ensaio, pois ocorrem paradas (de todos os membros ou somente alguns). Acrescenta-se também que há ocasiões em que somente um ou alguns instrumentos são tocados. Estes fatores implicam que, ao longo do tempo, pode haver variação na intensidade e direcionalidade sonora.

Outro ponto de monitoramento é na própria Avenida Colombo, a distância de uma quadra do local dos ensaio (em torno de 200 metros), pertencente ao Eixo de Comércios e Serviços A1. Local de intenso tráfego veicular, assim como o anterior.

O terceiro ponto de realização das leituras está localizado uma quadra acima do ponto da Avenida Colombo, na Rua Raimundo le Goff. Esta rua corresponde a uma quadra somente e está situada entre a Avenida Duque de Caxias e a Rua Visconde de Nassau. Este ponto pertence a Zona Residencial Quatro e apresenta baixo fluxo de veículos.

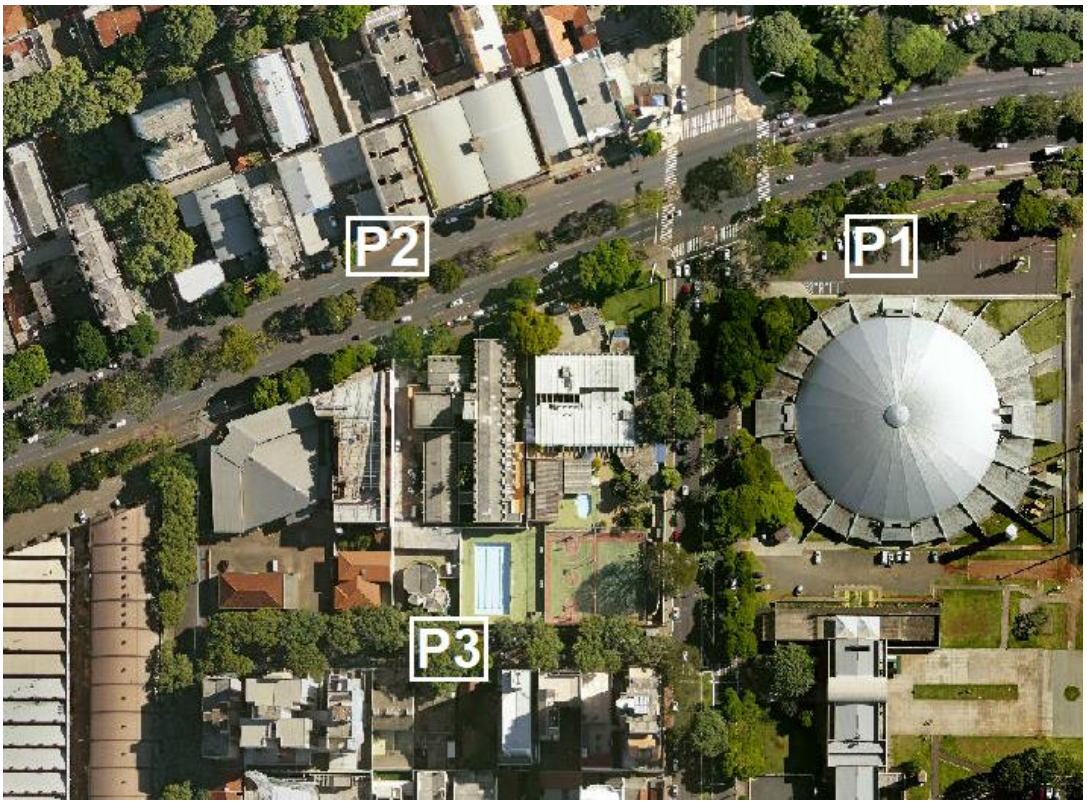
Os locais selecionados pertencem a Zona 07 (Figura 35) e são esquematizados na Figura 36, em que P1 é o ponto de ensaio das baterias, P2 corresponde ao ponto monitorado na Avenida Colombo e P3 indica o ponto de coleta da Rua Padre Raimundo le Goff.

Figura 35 – Zona 07 de Maringá



Fonte: Adaptado de GOOGLE (2019)

Figura 36 – Pontos monitorados

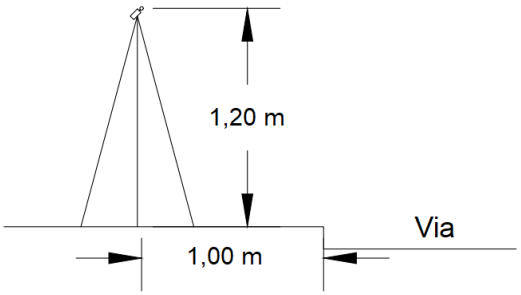


Fonte: Adaptado de MARINGÁ (2017)

P1: Ensaio das baterias;
P2: Avenida Colombo;
P3: Rua Padre Raimundo le Goff.

O posicionamento do sonômetro durante as medições em P2 e P3 está representado na Figura 37.

Figura 37 - Posicionamento do equipamento para monitoramento dos pontos comercial e residencial



3.4 Caracterização do ruído

A análise do ruído monitorado será realizada em termos de $L_{A,eq}$, $L_{A,10}$, $L_{A,50}$, $L_{A,90}$, $L_{A,tráf}$, $L_{A,tni}$, $L_{A,np}$, $L_{A,10} - L_{A,90}$ e $S.G.C.$. Para tanto, os dados das leituras coletados com o sonômetro foram extraídos por meio do *software dBTRAIT®*, próprio para o aparelho utilizado (Solo da 01 dB). Os cálculos foram efetuados com auxílio do *Microsoft Office Excel®*, aplicando as equações apresentadas durante a Revisão de Literatura (como incluídas nas páginas 40, 43, 44, 45, 48, 49 e 50). Em seguida, os resultados foram comparados e classificados de acordo com os parâmetros adotados (como a ABNT NBR 10151:2019, Critério *H.U.D.*, *Grau de Incomodidade*, *Traffic Noise Index*, *Índice de Incomodidade* e *Índice Harmômica*), também demonstrados na Revisão de Literatura. Realizou-se também uma análise em relação ao espectro sonoro, para a qual foi considerado o centro de gravidade deste ($S.G.C$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Das leituras realizadas com o aparelho Solo nos três pontos de interesse, foram extraídos os dados e realizados os cálculos do Nível de Pressão Sonora Equivalente ($L_{A,eq}$), descritores estatísticos e demais indicadores, como apresentado nos Quadros 12, 13 e 14. Também, deve-se considerar que, da contagem veicular, o fluxo médio para o ponto 1 foi de 1366 veículos, para o ponto 2 foi de 1171, enquanto que o 3º ponto apresentou uma circulação média de 9 veículos.

Quadro 12 – Resultados do monitoramento (Ensaios das Baterias)

Ensaios das Baterias (P1)									
Indicadores (dB)									
Dia	$L_{A,10}$	$L_{A,50}$	$L_{A,90}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,tráf}$	$L_{A,tni}$	$G.I.$	$L_{A,np}$	L_{A10}- L_{A90}
1	88,9	82,3	77,4	86,0	73,3	93,4	3,1	97,5	11,5
2	88,3	80,1	71,6	83,7	71,6	108,4	3,0	100,4	16,7
3	85,4	79,2	72,1	81,5	73,6	95,3	2,9	94,8	13,3
4	91,6	87,6	83,2	88,7	73,7	86,8	3,3	97,1	8,4
5	94,0	90,1	83,3	90,7	73,6	96,1	3,4	101,4	10,7
6	95,7	92,3	80,6	92,4	82,2	111,0	3,4	107,5	15,1
7	59,6	56,4	54,2	87,6	73,0	45,8	3,2	93,0	5,4
8	94,6	91,0	85,2	91,7	82,6	92,8	3,4	101,1	9,4
9	91,9	85,4	79,9	88,2	82,6	97,9	3,2	100,2	12,0
Equivalente	91,9	87,6	80,6	89,0	78,6	103,7	3,2	101,2	12,5

Quadro 13 – Resultados do monitoramento (Avenida Colombo)

Avenida Colombo (P2)									
Indicadores (dB)									
Dia	$L_{A,10}$	$L_{A,50}$	$L_{,A90}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,tráf}$	$L_{A,tni}$	$G.I.$	$L_{A,np}$	$L_{A,10}$ - $L_{A,90}$
1	77,8	69,1	62,2	78,1	81,6	94,6	2,7	93,7	15,6
2	79,7	70,5	64,1	78,1	82,3	96,5	2,7	93,7	15,6
3	78,2	69,1	64,5	81,7	70,3	89,3	2,9	95,4	13,7
4	77,6	69,5	63,0	77,3	82,1	91,4	2,7	91,8	14,6
5	78,5	71,0	66,5	77,3	81,5	84,5	2,7	89,3	12,0
6	80,6	71,1	65,9	78,3	82,3	94,7	2,8	93,0	14,7
7	79,1	70,1	66,0	76,8	81,7	88,4	2,7	89,9	13,1
8	77,9	70,2	64,1	77,1	82,4	89,3	2,7	90,9	13,8
9	76,8	68,3	63,5	74,0	72,4	86,7	2,6	87,3	13,3
Equivalente	78,6	70,0	64,6	78,1	81,0	92,2	2,8	92,3	14,2

Quadro 14 – Resultados do monitoramento (Rua Pe. Raimundo le Gof)

Rua Pe. Raimundo le Gof (P3)									
Indicadores (dB)									
Dia	$L_{A,10}$	$L_{A,50}$	$L_{A,90}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,tráf}$	$L_{A,tni}$	$G.I.$	$L_{A,np}$	L_{A10}- L_{A90}
1	58,2	51,6	48,9	56,5	61,2	56,1	1,8	65,8	9,3
2	57,1	51,2	48,9	54,9	60,2	51,7	1,7	63,1	8,2
3	57,5	52,6	50,3	56,4	59,0	49,1	1,8	63,6	7,2
4	60,7	53,7	50,4	67,0	62,0	61,6	2,3	77,3	10,3
5	59,5	54,7	52,5	56,9	59,7	50,5	1,8	63,9	7,0
6	59,6	56,4	54,2	58,2	49,8	45,8	1,9	63,6	5,4
7	59,5	53,5	51,1	70,7	61,2	54,7	2,4	79,1	8,4
8	58,6	52,3	50,1	70,6	48,0	54,45	2,4	79,2	8,6
9	59,9	53,7	51,4	58,4	63,8	55,40	1,9	66,9	8,5
Equivalente	59,1	53,6	51,2	65,4	60,3	55,44	2,0	74,2	8,3

No Quadro 15, tem-se os dados resultantes reunidos e resumidos para os locais monitorados.

Quadro 15 – Resumo dos resultados dos monitoramentos

Indicadores (dB) **- Equivalente**										**Fluxo de veículos (Média)**
Ponto	$L_{A,10}$	$L_{A,50}$	$L_{A,90}$	$L_{A,eq}$	$L_{A,tráf}$	$L_{A,tni}$	$G.I.$	$L_{A,np}$	L_{A10}- L_{A90}	
P1	91,9	87,6	80,6	89,0	78,6	103,7	3,2	101,2	12,5	1366
P2	78,6	70,0	64,6	78,1	81,0	92,2	2,8	92,3	14,2	1171
P3	59,1	53,6	51,2	65,4	60,3	55,44	2,0	74,2	8,3	9

Realizando-se as verificações do ruído aferido com base nas grandezas e critérios selecionados para cálculo e caracterização, apresentados na Revisão

de Literatura e calculados acima, pode-se analisar os valores obtidos e interpretar os resultados de modo a caracterizar o ambiente sonoro.

Para a comparação com a ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019), considera-se que, devido ao complexo esportivo, o ensaio das baterias ocorrem em uma “Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo”, em que o ruído diurno pode ser de até 65 dB. O ponto considerado na Avenida Colombo pode ser enquadrado em “Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas”, na qual o ruído até às 22 horas pode ser de, no máximo, 60 dB. A Rua Raimundo le Goff pode ser classificada como “Área mista predominantemente residencial”, onde o ruído diurno pode atingir 55 dB.

Os resultados equivalentes de $L_{A,eq}$, $L_{A,np}$ e $L_{A,traf}$ dos ensaios das baterias, da Avenida Colombo e da Rua Padre Raimundo le Gof foram comparados com os limites toleráveis estabelecidos pela ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019) para cada tipo de área, como apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 – Análise do ruído nos pontos monitorados em relação a ABNT NBR 10151:2019

Ensaios das Baterias			
ABNT ≤ 65 dB			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,np}$	$L_{,Atraf}$
Valor calculado	89,0 dB	101,2 dB	78,6 dB
Consideração	Acima	Acima	Acima
Avenida Colombo			
ABNT ≤ 60 dB			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,np}$	$L_{A,traf}$
Valor calculado	78,1 dB	92,3 dB	81,0 dB
Consideração	Acima	Acima	Acima
Rua Pe. Raimundo le Gof			
ABNT ≤ 55 dB			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,np}$	$L_{A,traf}$
Valor calculado	65,4 dB	74,2 dB	60,3 dB
Consideração	Acima	Acima	Acima

A comparação dos indicadores L_{Anp} e $L_{Atráfego}$ em relação a ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019) demonstra que os níveis de ruído estão acima do estabelecido nesta norma. Ao se considerar o $L_{A,eq}$, que é o indicador adotado pela norma e, consequentemente, legislação municipal, a extrapolação dos limites de tolerância é também evidente. Nos ensaios das baterias, a diferença entre o nível de ruído permitido (*65 dB*) e medido (89 dB) é de 24 dB. Na Avenida Colombo, o nível de ruído é de 18,1 dB acima do valor normatizado (*60 dB*) e na Rua Pe. Raimundo le Gof tal diferença é de 10,4 dB em relação aos 55 dB determinado pela ABNT NBR 10151 (ABNT, 2019).

Realiza-se um enquadramento dos pontos monitorados segundo os valores equivalentes de $L_{A,eq}, L_{A,10}$ e $L_{A,90}$ conforme o critério $H.U.D._A$, demonstrado no Quadro 17.

Quadro 17 – Análise do ruído nos pontos monitorados em relação ao critério $H.U.D._A$

Ensaios das Baterias			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,10}$	$L_{A,90}$
Valor calculado	89,0 dB	91,9 dB	80,7 dB
$\boldsymbol{H.U.D._A}$	$L_{A,eq} > 76\ dB$	$L_{A,10} > 82\ dB$	$L_{A,90} > 71\ dB$
Consideração	Claramente inaceitável	Claramente inaceitável	Claramente inaceitável
Avenida Colombo			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,10}$	$L_{A,90}$
Valor calculado	78,1 dB	78,6 dB	64,6 dB
$\boldsymbol{H.U.D._A}$	$L_{A,eq} > 76\ dB$	$66 < L_{A,10} \leq 82\ dB$	$56 < L_{A,90} \leq 71\ dB$
Consideração	Claramente inaceitável	Normalmente inaceitável	Normalmente inaceitável
Rua Pe. Raimundo le Gof			
Indicador	$L_{A,eq}$	$L_{A,10}$	$L_{A,90}$
Valor calculado	65,4 dB	59,1 dB	51,2 dB
$\boldsymbol{H.U.D._A}$	$62 < L_{A,eq} \leq 76\ dB$	$53 < L_{A,10} \leq 66\ dB$	$41 < L_{A,90} \leq 56\ dB$
Consideração	Normalmente inaceitável	Normalmente aceitável	Normalmente aceitável

Para o critério $H.U.D._A$, o ruído medido nos ensaios das baterias é bastante superior ao limite nos três indicadores considerados ($L_{A,eq}, L_{A,10}$ e $L_{A,90}$), indicando um ambiente claramente ruidoso. Na Avenida Colombo, o $L_{A,eq}$ tem a

pior classificação, porém, os demais indicadores também estão na categoria de níveis inaceitáveis, embora em uma situação pouco melhor. Para a Rua Pe. Raimundo le Gof, o $L_{A,eq}$ é considerado inaceitável, mas, já apresenta valores reduzidos em relação aos outros dois pontos. Para $L_{A,10}$ e $L_{A,90}$, os níveis de ruído estão dentro das faixas de referência, sendo classificados como aceitáveis.

Analisa-se o incômodo das pessoas em termos do $Traffic\ Noise\ Index$ e do $Grau\ de\ Incomodidade$, de acordo com os resultados equivalentes de $L_{A,tni}$ e $G.I._A$, respectivamente, como apresentado no Quadro 18.

Quadro 18 – Análise do ruído nos pontos monitorados em relação ao $Traffic\ Noise\ Index$ e ao $Grau\ de\ Incomodidade$

Grau de incômodo			
Ensaios das Baterias			
Indicador	Valor calculado	Valor de referência	Consideração
$\boldsymbol{L_{A,tni}}$	103,7 dB	> 90 dB	Muito intenso
$\boldsymbol{G.I._A}$	3,2	3 - 4	Muito incômodo
Avenida Colombo			
Indicador	Valor calculado	Valor de referência	Consideração
$\boldsymbol{L_{A,tni}}$	92,2 dB	> 90 dB	Muito intenso
$\boldsymbol{G.I._A}$	2,8	2 - 3	Moderadamente incômodo
Rua Pe. Raimundo le Gof			
Indicador	Valor calculado	Valor de referência	Consideração
$\boldsymbol{L_{A,tni}}$	55,4 dB	< 65 dB	Fraco
$\boldsymbol{G.I._A}$	2,0	2 - 3	Moderadamente incômodo

A análise do ruído em relação ao $Traffic\ Noise\ Index$ demonstra que, apesar de as Baterias e a Avenida Colombo terem a mesma classificação, a primeira supera o valor de referência em 13, 2 dB, enquanto a segunda está 2,2 dB acima

do referencial. Na rua, o incômodo é baixo, uma vez que o $L_{A,tni}$ é de 55,4 dB, ficando abaixo dos 65 dB propostos pelo critério. Para o $Grau\ de\ Incomodidade$, todos os pontos apresentam algum incômodo, sendo os ensaios das baterias o local em que este é mais elevado.

Ao se calcular o $Índice\ de\ incomodidade\ (I.I._A)$ são obtidos os valores apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 – Análise do ruído nos pontos monitorados em relação ao $Índice\ de\ Incomodidade$

Ponto	$I.I._A$	Consideração
Ensaios das Baterias	8,3 dB	Acima do limite superior
Avenida Colombo	7,1 dB	Acima do limite superior
Rua Pe. Raimundo le Gof	3,9 dB	Valor médio > $I.I._A$ > Limite superior

Os resultados do indicador $I.I._A$, concordam com as análises anteriores, isto é, os pontos mais ruidosos correspondem aos ensaios das baterias e a Avenida Colombo. O $Índice\ de\ incomodidade$ está acima do limite superior para esses dois pontos. Na Rua Pe. Raimundo le Gof, o indicador tem valor abaixo do limite superior, porém acima do valor médio.

De maneira geral, os Ensaios das Baterias e a Avenida Colombo demonstram ser os pontos mais críticos. O primeiro constitui uma fonte sonora por si só e ainda conta com o trânsito intenso para agravar a situação. No caso do segundo, o fluxo veicular já é suficiente para causar níveis de ruído inaceitáveis.

No ponto residencial, na Rua Pe. Raimundo le Gof, as condições de ruído ambiental são mais amenas, embora ainda estejam acima do permitido em lei e recomendado em norma. Tal resultado pode indicar que a incomodidade percebida pela população é real e justificável.

Pode-se entender que o ruído gerado pelas baterias e o ruído verificado na Avenida Colombo (principalmente originário da circulação de veículos) tenham efeito conjugado. Embora o $L_{A,eq}$ e demais indicadores tenham sido mais elevados nos ensaios das baterias, os resultados verificados na via também estão bastante acima do tolerável. Assim, um ruído acaba complementando e concorrendo com o outro, promovendo variação da percepção conforme o ponto em que o receptor se encontra. Porém, do descritor L_{90} (que caracteriza o ruído de fundo), percebe-se que há margem para melhorias. Afinal, uma alteração a partir de 5 dB já é claramente percebida pela orelha do ser humano. Embora o padrão normatizado não seja atingido, pode-se ter algum ganho em termos de poluição sonora.

Dos dados aferidos nas leituras foi possível extrair também o espectro sonoro de cada medição, em que as bandas de frequência vão de 12,5 Hz até 20.000 Hz. Assim, calculou-se o $S.G.C.$, cujos resultados são apresentados no Quadro 20.

Quadro 20 – Resultados do monitoramento (espectro sonoro)

$S.G.C.$			
Dia	Ensaios das Baterias	Avenida Colombo	Rua Pe. Raimundo le Gof
1	454,6	285,0	95,9
2	333,5	266,4	67,9
3	491,3	342,4	85,7
4	719,2	251,1	188,2
5	843,2	203,0	79,0
6	311,6	233,5	90,2
7	340,1	180,9	471,0
8	357,3	266,9	487,9
9	244,5	150,2	87,6

Pelo cálculo do $S.G.C.$, percebe-se que a percepção auditiva humana está submetida, predominantemente, a frequências baixas nos pontos monitorados. Verifica-se que os valores mais elevados do $S.G.C.$ estão relacionados aos

ensaios das baterias e à Rua Padre Raimundo le Gof, os valores mais baixos, locais que, no panorama geral, detêm o maior e menor $S.G.C.$, respectivamente.

Conforme Soares et al. (2014), fontes sonoras de frequências altas (sons agudos) são causadoras de incômodo. Assim como os sons graves. Pois, segundo Baliatsas et al. (2016) e Alves, Silva e Remoaldo (2018), o sistema auditivo humano apresenta baixa sensibilidade às baixas frequências e este tipo de ruído possui características muito particulares que causam muito mais desconforto, incômodo e efeitos negativos não-auditivos a longo prazo.

Da relação da frequência em função dos níveis de pressão sonora com o limiar da audição foram gerados os Gráficos 1, 2 e 3 apresentados adiante.

Gráfico 1: Baterias – ($f\ (Hz)$ x $NPS_A\ (dB)$)

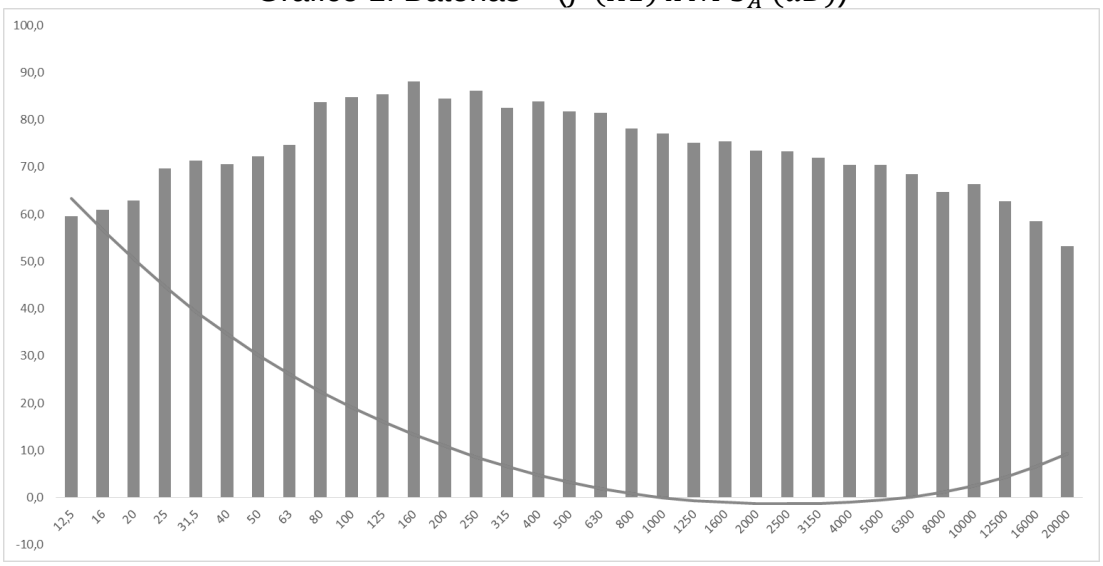


Gráfico 2: Avenida Colombo – ($f\ (Hz)$ x $NPS_A\ (dB)$)

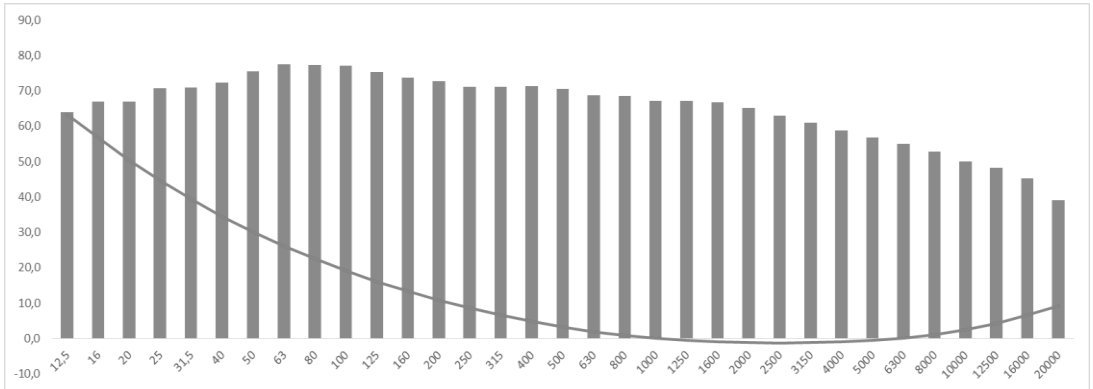
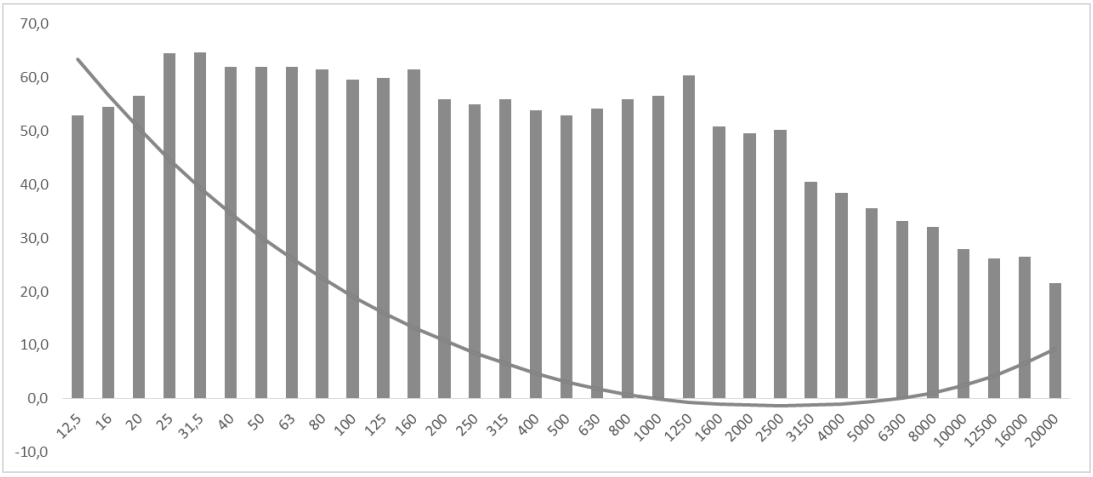


Gráfico 3: Rua Raimundo le Gof – $(f\ (Hz)$ x $NPS_A\ (dB))$



Para apresentar os resultados de forma mais didática, pode-se utilizar o Índice Harmônica $(H.I._A)$ para expressar a condição do ruído ambiental nos pontos monitorados, como apresentado no Quadro 21.

Quadro 21 – Critério do $HARMONICA$

Ponto	$H.I._A$ **calculado**	$H.I._A$ **de referência**	**Consideração**
Baterias	12,28	> 8	Muito ruidoso
Avenida Colombo	10,22	> 8	Muito ruidoso
Rua Raimundo le Goff	7,04	4 - 8	Ruidoso

Os resultados indicam que o ambiente sonoro da área monitorada está poluído, fundamentando as reclamações dos cidadãos que habitam as proximidades. Contudo, pelos resultados verificados, pode-se interpretar que promover a mudança dos ensaios das baterias de local, vai somente transferir o problema. Por isso, seria mais apropriado que alternativas ao espaço já poluído em termos de som, sejam estudadas para se buscar uma situação de maior conforto. Afinal, no ponto residencial os níveis de ruído não estão tão acima da norma. Também, a área já está comprometida pela existência da rodovia (Avenida Colombo), de modo que ainda que os estudantes passassem a ensaiar em outro ponto da cidade o ambiente continuaria submetido ao elevado ruído do tráfego veicular e as baterias poderiam passar a produzir ruído em uma região antes silenciosa.

Das opções para mitigação elencadas no tópico 2.9, a gestão do tráfego veicular ou troca de pavimento das vias de entorno seriam adequadas para o ruído do trânsito. A vegetação não apresenta efeito significativo se não for densa, o que é impraticável em um região altamente urbanizada e a construção de um edifício para abrigar os ensaios das baterias seria um projeto complexo e uma obra de custo bastante elevado, dadas as demandas a serem atendidas. Dessa forma, sugere-se a construção de uma barreira acústica para abrigar tais ensaios e atenuar o ruído gerado. Pois, esta intervenção é capaz de reduzir a propagação sonora e ainda manter os ensaios dos universitários no local em que ocorrem.

4.1 Dimensionamento da barreira acústica

Definiu-se a construção de barreiras acústicas infinitas para conter o ruído gerado pelos ensaios das baterias. Propõe-se que estes obstáculos à propagação sonora sejam dimensionados como quatro paredes côncavas à fonte, em que dois painéis paralelos serão implantados externamente a outros dois de modo a circundar os ensaios das baterias. Esta configuração pretende permitir a passagem de pessoas pelas lacunas deixadas entre os painéis, mas de maneira que as aberturas não sejam significativas o bastante para comprometer a atenuação do som.

Como os grupos de baterias podem espalhar-se ou concentrar-se dentro da barreira e devido à variedade de instrumentos, estaturas dos estudantes e posicionamento que cada um pode assumir, considera-se que a altura da fonte emissora (instrumentos) seja de 1,0 metro. A altura adotada para a barreira é de 5 metros.

Dadas as dimensões construtivas mais comumente empregadas, admite-se que o pé direito dos pavimentos da edificação mais próxima é de 3 metros e sua laje de 0,10 metros. O receptor sensível é considerado no segundo pavimento, onde estaria exposto ao ruído na sacada de seu apartamento. Assim, para um indivíduo de 1,70 metros, tem-se um receptor de 4,80 metros para o ruído gerado pelas baterias.

Considerou-se a distância do edifício residencial mais próximo aos ensaios das baterias, 142 metros, e a concentração instrumental no interior da barreira. Da geometria, obtém-se que a zona de sombra acústica da barreira equivale a, aproximadamente, 18 andares de um edifício residencial.

Os cálculos efetuados para tal barreira acústica resultam nos valores apresentados nos Quadro 22a e 22b.

Quadro 22a – Atenuação obtida por frequência e densidade superficial desejável

$f(Hz)$	$\Delta L_B\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ aten.(dB)$	$\sigma\ (Kgm^{-2})$
12,5	6,1	59,5	53,5	1,57
16	6,4	60,9	54,5	1,65
20	6,7	62,9	56,2	1,74
25	7,0	69,7	62,7	1,85
31,5	7,5	71,4	63,9	1,98
40	8,0	70,5	62,5	2,16
50	8,5	72,3	63,8	2,36
63	9,1	74,6	65,5	2,61
80	9,8	83,7	73,9	2,92
100	10,5	84,8	74,3	3,27
125	11,2	85,4	74,2	3,68
160	12,1	88,1	76,0	4,24
200	12,9	84,5	71,6	4,84
250	13,7	86,2	72,5	5,55
315	14,6	82,5	67,9	6,42
400	15,6	83,9	68,3	7,50

Quadro 22b – Atenuação obtida por frequência e densidade superficial desejável

$f(Hz)$	$\Delta L_B\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ aten.\ (dB)$	$\sigma\ (Kgm^{-2})$
500	16,5	81,8	65,3	8,69
630	17,4	81,4	64,0	10,15
800	18,4	78,2	59,8	11,94
1000	19,3	77,1	57,8	13,91
1250	20,3	75,1	54,8	16,23
1600	21,3	75,4	54,1	19,28
2000	22,3	73,5	51,2	22,54
2500	23,2	73,2	50,0	26,36
3150	24,2	72,0	47,8	31,03
4000	25,2	70,4	45,2	36,74
5000	26,2	70,4	44,2	43,03
6300	27,2	68,4	41,2	50,70
8000	28,2	64,6	36,4	60,08
10000	29,2	66,3	37,1	70,42
12500	30,2	62,7	32,5	82,54
16000	31,2	58,5	27,3	98,42
20000	32,2	53,2	21,0	115,39

Efetuou-se o mesmo procedimento, considerando-se a mesma barreira, porém para um receptor há 195 metros. Isso porquê essa é a distância do ponto residencial monitorado (na Rua Padre Raimundo le Goff) até os ensaios das baterias. Os resultados são apresentados nos Quadros 23a e 23b.

Quadro 23a – Atenuação obtida por frequência e densidade superficial desejável (para distância de 195 metros)

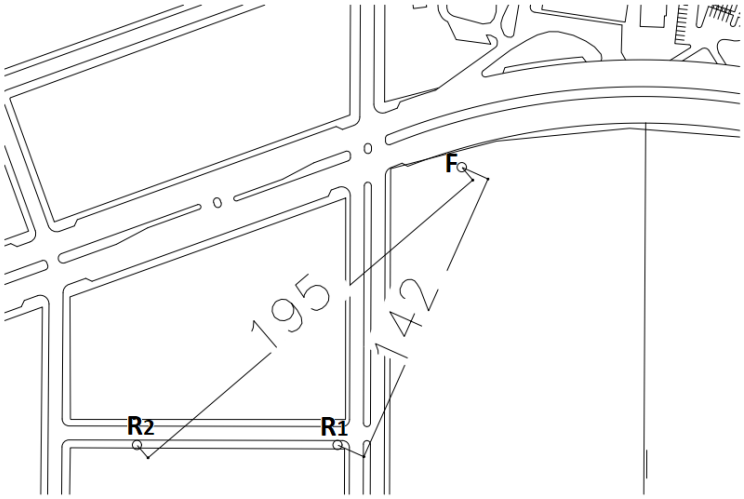
$f(Hz)$	$\Delta L_B\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ aten.\ (dB)$	$\sigma\ (Kgm^{-2})$
12,5	6,1	59,5	53,4	1,57
16	6,4	60,9	54,5	1,65
20	6,7	62,9	56,2	1,75
25	7,1	69,7	62,6	1,86
31,5	7,5	71,4	63,8	2,00
40	8,0	70,5	62,5	2,17
50	8,6	72,3	63,7	2,38
63	9,2	74,6	65,5	2,63
80	9,9	83,7	73,9	2,94
100	10,6	84,8	74,2	3,30
125	11,3	85,4	74,1	3,72
160	12,2	88,1	76,0	4,29
200	13,0	84,5	71,5	4,89
250	13,8	86,2	72,4	5,62
315	14,7	82,5	67,8	6,50
400	15,6	83,9	68,2	7,59
500	16,5	81,8	65,2	8,80
630	17,5	81,4	63,9	10,28
800	18,5	78,2	59,7	12,09
1000	19,4	77,1	57,7	14,09
1250	20,3	75,1	54,7	16,45
1600	21,4	75,4	54,0	19,53
2000	22,3	73,5	51,1	22,84

Quadro 23b – Atenuação obtida por frequência e densidade superficial desejável (para distância de 195 metros)

$f(Hz)$	$\Delta L_B\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ (dB)$	$L_{Aeq(f)}\ aten.\ (dB)$	$\sigma\ (Kgm^{-2})$
2500	23,3	73,2	49,9	26,72
3150	24,3	72,0	47,7	31,45
4000	25,3	70,4	45,1	37,24
5000	26,3	70,4	44,1	43,61
6300	27,3	68,4	41,1	51,39
8000	28,3	64,6	36,3	60,90
10000	29,3	66,3	37,0	71,38
12500	30,2	62,7	32,5	83,67
16000	31,3	58,5	27,2	99,76
20000	32,3	53,2	20,9	116,96

Os pontos considerados são representados na Figura 38.

Figura 38 – Fonte sonora (baterias) e receptores residenciais



Fonte: Adaptado de MARINGÁ (2017)

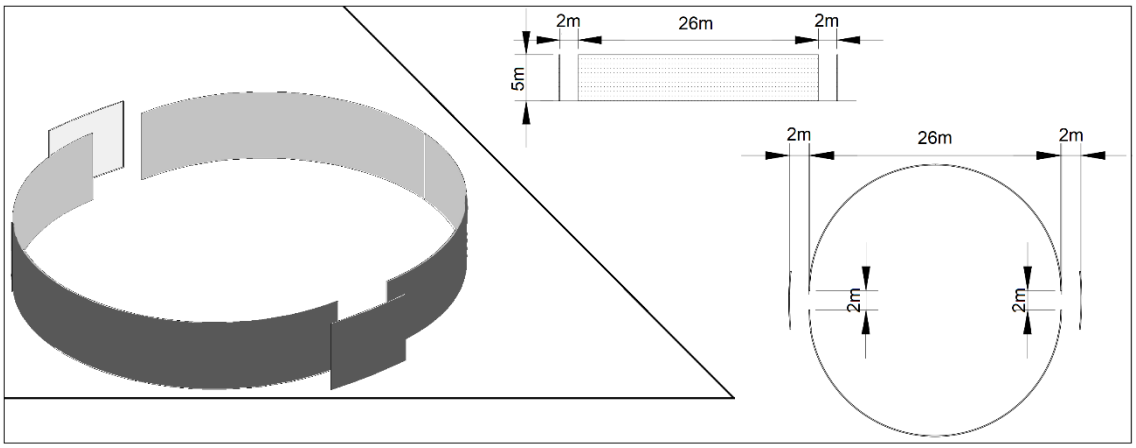
F: Fonte sonora (baterias)
R_1: Receptor residencial a 142 m da fonte
R_2: Receptor residencial a 195 m da fonte

A inserção da barreira, de fato, conduz a uma melhoria do ambiente acústico da região. Para tanto, a densidade superficial do material que deverá ser usado em sua construção deve ser de, pelo menos, 116,96Kgm^{-2}, como obtido na frequência de 20.000 Hz no Quadro 22b. Desse modo, seleciona-se o concreto leve, cuja densidade superficial (161 Kgm^{-2}) atende à necessidade projetual, o que estabelece espessura de, pelo menos, 0,10 m para a barreira. Além disso, é atendida a exigência de, pelo menos, 10 Kgm^{-2} de densidade para que o ruído que atravesse a barreira não seja significativo. Também, este material comporta revestimento vegetal ou pode receber pinturas, como os grafites já figurantes de paredes e muros em torno do complexo esportivo. Ambas intervenções são sugestões para integrar a barreira ao ambiente, tornando o aparato mais agradável a visão dos moradores do entorno, transeuntes e frequentadores do local.

Da geometria, obtém-se que a barreira terá uma área de 531 $m²$, dimensão que pode ser comportada por 1/3 da área total (aproximadamente 2165 $m²$) do estacionamento onde ocorrem os ensaios das baterias, ou seja, 721 m^2. O que é adequado, visto que há, ainda, as paredes externas e que também a barreira não tome todo e nem a maior porção do estacionamento.

Estabelece-se que as paredes circulares e paralelas sejam construídas de modo que sejam deixadas duas lacunas laterais e diametralmente opostas. Estas brechas são necessárias para a circulação das pessoas. As aberturas, assim como o espaço entre as paredes, deverão ter 2 metros, de modo que permitam a passagem dos estudantes com seus instrumentos. Dessa forma, as paredes internas devem ter um comprimento de 6 metros. A área total da barreira, admitindo-se acréscimo de 2 metros do vão entre as paredes internas e externas, é de 707 $m²$. Dimensão ainda admissível para 1/3 da área total do estacionamento do ginásio esportivo. Uma representação da barreira idealizada é demonstrada na Figura 39.

Figura 39 – Representação da barreira



Uma representação meramente ilustrativa da barreira implantada é apresentada na Figura 40.

Deve-se ter em conta que os sons graves provocarão mais difração e agudos mais reflexões, somando-se a isso o formato cilíndrico da barreira. A difração é atendida pela barreira em si, enquanto as reflexões podem ser reduzidas pelo revestimento de materiais apropriados como membranas ressonantes, ressoadores ou materiais porosos.

Outro ponto a se considerar é que a barreira pode ser implementada para servir a outros usos também, como ser construída na configuração de um anfiteatro a céu aberto. É importante também que sejam analisadas questões de segurança, uma vez que o concreto impedirá a visualização do interior da barreira. Para tanto, pode-se sugerir que ao longo das paredes sejam colocados círculos em acrílico, por exemplo. Essa medida permitiria que as pessoas pudessem ver dentro a barreira mesmo estando do lado de fora e desencorajaria usos indesejáveis para a instalação.

Outra finalidade que as barreiras teriam, seria de atenuar o ruído proveniente da Avenida Colombo para o ambiente além das paredes da construção.

Figura 40 – Implantação meramente ilustrativa da barreira projetada

Fonte: Adaptado de MARINGÁ (2017)

Ao se calcular o $L_{fT}(DW)$ nas bandas de oitava para as distâncias de 142 m e 195 m da fonte (ensaios das baterias), considerou-se L_w igual a 131,5 dB obtido das medições da fonte sonora. Os resultados são apresentados no Quadro 24.

Quadro 24 - Valores de $L_{fT}(DW)$ mais próximos ao receptor

	Distância (m)	
	142	**195**
$f(Hz)$	$L_{fT}(DW)$ **[dB]**	
63	60,6	58,0
125	57,6	55,0
250	54,5	51,9
500	51,3	48,5
1.000	50,9	48,1
2.000	47,4	44,3
4.000	42,4	38,6
8.000	31,7	25,1

Dos resultados apresentados no Quadro 24, é notável que a atenuação cresce à medida que a distância da fonte aumenta, pois os valores de $L_{fT}(DW)$ reduzem.

Detalha-se no Quadro 25 a comparação do $L_{fT}(DW)$ com o $L_{Aeq(f)}$ para evidenciar a atenuação obtida na área residencial.

Quadro 25 – Atenuação sonora na área residencial

NPS residencial		$\boldsymbol{L_{fT}(DW)}$ **[$\boldsymbol{dB}$]**	
$\boldsymbol{f}$ **[Hz]**	$\boldsymbol{L_{Aeq(f)}}$ **[$\boldsymbol{dB}$]**	**Distância: 142 $\boldsymbol{m}$**	**Distância: 195 $\boldsymbol{m}$**
63	62	60,6	58,0
125	59,9	57,6	55,0
250	55	54,5	51,9
500	52,9	51,3	48,5
1000	56,6	50,9	48,1
2000	49,5	47,4	44,3
4000	38,5	42,4	38,6
8000	32	31,7	25,1

O campo sonoro nos pontos considerados apresenta reduções de nível de pressão sonora na casa de 2 ou 3 dB, o que já proporciona efeitos de melhoria para a percepção humana. Assim, com ruído menos intenso em relação a situação antes da barreira, salvo para a frequência de 4000 Hz, pode-se dizer que a área residencial é beneficiada pela influência da barreira. Para as frequências consideradas, somente para 63 e 125 Hz o ruído ainda estão acima da norma (55 dB), porém há apreciável atenuação também nestas frequências.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Critérios (ruído, população, tráfego, por exemplo) analisados em relação a indicadores de ruído (L_{Aeq}, L_{A10}, L_{A50}, L_{A90}, $S.C.G$, entre outros) podem contribuir para formar uma base para o planejamento e gerenciamento urbano. Isso porque, a combinação de tais elementos fornece subsídio quantificável para que o ambiente seja caracterizado, analisado e compreendido, colaborando para que a tomada de decisão cabível aos gestores seja mais tecnicamente direcionada.

Descritores de ruído apresentam informações como ruído de pico, ruído de fundo, ruído médio, influência do tráfego e incomodidade, que qualificam o ambiente sonoro e orientam a seleção de áreas críticas, a busca por alternativas pertinentes e a decisão pelas soluções mais adequadas. Desse modo, a consideração conjunta de critérios e indicadores apresenta potencial na formação de uma estrutura para apoiar o planejamento urbano. Afinal, a instrumentalização dos tomadores de decisão responsáveis pela qualidade de vida urbana necessita ser cada vez mais robusta e demonstrar articulação entre a maioria (ou, pelo menos, os mais importantes) elementos relacionados.

O ambiente sonoro estudado apresenta níveis elevados de ruído e, por ser uma área de uso misto, deve ser objeto de planejamento e gerenciamento urbano. A caracterização dos níveis de pressão sonora da área evidencia o problema da poluição sonora do local, o que conduziu a proposição de uma medida mitigadora. Embora a maioria das alternativas para redução dos níveis de ruído ambiental da literatura esteja relacionada ao tráfego veicular, incluindo a utilização de barreira acústica, esta foi a opção sugerida para a situação estudada. Esta decisão deve-se ao fato de que as barreiras podem ser projetadas para envolver os ensaios das baterias, reduzindo a transmissão das ondas sonoras produzidas pelos instrumentos. Também, caso estes ensaios passem a acontecer em outro espaço, as barreiras poderão ser construídas neste novo local (observadas as possibilidades e restrições). Devido aos muitos fatores envolvidos na efetiva construção da barreira (custos, segurança, finalidades, revestimentos, materiais e a combinação destes, *design*, etc.) é necessário que tal projeto seja melhor desenvolvido e todas as propriedades, possibilidades, benefícios e consequências sejam exaustivamente explorados.

Esta pesquisa pode ser tomada como um passo inicial para abrir a discussão e motivar futuros trabalhos que explorem as demandas, as possibilidades e as implicações de possíveis intervenções para a área estudada. Este trabalho, desse modo, evoca a avaliação técnica e estruturada para realizar seus estudos, análises e conclusões de modo a apresentar contribuições ao planejamento urbano. Isso porque, a gestão e o planejamento dos municípios deve atentar e envolver diversos fatores, tais como o ruído ambiental, quando da tomada de decisões em questões como o estabelecimento e/ou adaptação dos zoneamentos nas definições dos usos e ocupações do solo nas cidades.

5.1 Proposta de indicador de percepção sonora

Além dos indicadores para caracterização do ruído ambiental até então relacionados, propõe-se nesta dissertação um novo que contribua para análise da percepção do ser humano em respeito ao ruído em função da frequência. O indicador denominado "BTL" é calculado como demonstrado na Equação 41.

$$BTL = \frac{\sum_{j=1}^{m} [(L_{pj}(fj) + escA_j(fj)]xi(f_j)}{\sum_{j=1}^{m} [(L_{pj}(fj) + escA_j(fj)]} \quad (41)$$

Em que L_{pj} equivale ao nível de pressão sonora de cada banda de frequência;
$escA_j$ corresponde a ponderação A;
i representa os pesos atribuídos a cada banda.

Os pesos são atribuídos da seguinte forma: adotou-se a banda de 500 Hz como ponto médio, a qual recebe o valor de i igual a 0 (zero). As bandas a esquerda recebem valores negativos (-1, -2, -3, ..., j) e as bandas a direita recebem valores positivos (1, 2, 3, ..., j). A distribuição dos pesos é tal que a região abaixo do limiar da audição seja eliminada. Este cálculo visa identificar onde se situa a percepção auditiva humana no espectro sonoro de maneira alternativa ao, já apresentado, $S.G.C.$.

Os cálculos do indicador I tiveram os resultados apresentados no Quadro 26.

Quadro 26 – Resultados do cálculo do indicador BTL

	Indicador *BTL*		
Dia	**Ensaios das Baterias**	**Avenida Colombo**	**Rua Pe. Raimundo le Gof**
1	-0,48	-1,15	-2,52
2	-0,69	-1,03	-2,66
3	-0,42	-0,85	-2,43
4	-0,17	-1,05	-2,02
5	0,04	-1,30	-2,44
6	-0,27	-1,08	-2,49
7	-0,39	-1,33	-1,96
8	-0,43	-1,13	-1,60
9	-0,43	-1,46	-2,15

O intervalo de bandas considerado tem seu ponto médio em torno de 500 Hz, por isso, para o cálculo do indicador BTL proposto como alternativa ao critério $S.G.C.$, esse foi adotado como valor zero de referência para o equacionamento.

A partir dos cálculos do indicador BTL proposto, o Quadro 24 demonstra que os valores estão próximos a média. Observa-se uma correlação entre os dois indicadores, em que os valores mais altos e mais baixos de cada ponto de medição coincidem, salvo no caso das baterias. No ponto dos ensaios das baterias, o número de BTL e $S.G.C.$ ocorrem no mesmo dia (quinto), porém, o valor mais baixo difere em cada indicador: o menor BTL é verificado no monitoramento em que ocorre o terceiro menor valor de $S.G.C.$. Ainda assim, em termos absolutos, o maior valor de BTL é verificado no quinto dia de monitoramento no ponto em que estão as baterias. O valor mais baixo é verificado no segundo dia de monitoramento no ponto residencial. Ambos coincidem com o maior e menor valores apresentados pelo $S.G.C.$. Pode-se entender, então, que o indicador proposto apresenta potencial de consistência e aplicação válida, podendo ser melhor desenvolvido e explorado em pesquisas futuras.

6. REFERÊNCIAS

ABDULKAREEM, Hayder K.. Evaluation Of Noise Pollution Indicators In Najaf City. **Kufa Journal of Engineering**, v. 9, n. 4, p. 258 – 272, 2018.

ABREU, Marcos Paulo Gomes de. **A Influência das Características do Material de Enchimento da Caixa-de-ar no Desempenho Acústico de Painéis Perfurados** (Dissertação). Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2017.

AGUILERA, Inmaculada; FORASTER, Maria; BASAGAÑA, Xavier; CORRADI, Elisabetta; DELTELL, Alexandre; MORELLI, Xavier; PHULERIA, Harish C.; RAGETTLI, Martina S.; RIVERA, Marcela; THOMASSON, Alexandre; SLAMA, Rémy; KÜNZLI, Nino. Application of land use regression modelling to assess thespatial distribution of road traffic noise in three European cities. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 25, p. 97 – 105, 2015.

ALVES, Juliana; SILVA, Lígia; REMOALDO, Paula. Impacts of low frequency noise exposure on well-being: a case-study from Portugal, **Noise and Health**, v. 20, n. 95, p. 131 - , 2018.

ANTUNES, Sónia Maria Monteiro da Silva. **Avaliação do Ambiente sonoro em zonas urbanas. Integração de aspectos qualitativos** (Tese). Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, 2011.

AREFIEV, Nikolay; TERLEEV, Vitaly; BADENKO, Vladimir. GIS-based Fuzzy Method for Urban Planning. **Procedia Engineering**, v. 117, p. 39 – 44, 2015.

ARNDT, Lindsay Thais; PHILIPS, Jürgen Wilhelm; BARBOSA, Wiliam Alves. Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento do Ruído Urbano. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: SIMGEO, 2010, p. 01 – 10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, jun. 2019.

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

ATLÉTICAS. **Siga a Atlética do seu coração**. 2016. Disponível em: <http://www .atl eticas.com.br/atleticas/>. Acesso em: 28. jul. 2018.

AUBREE, D.; AUZOU, S.; RAPIN, J. M.. **Study of Annoyance Due to Urban Automobile** Traffic Scientific Report. NASA Technical Memorandum, TM – 77514. National Aeronautics and Space Administration Washington, D.C. 20546, Jul. 1984.

AZEVEDO, Clara de Assunção; OLIVEIRA, Felipe Gabriel. Para além do Anhembi: as escolas de samba de São Paulo e outras práticas de sociabilidade, **Ponto Urbe**, v. 23, 2018.

AZEVEDO, Mariane Brito. Interferência das Formas Geométricas no Projeto Acústico das Edificações. In: Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 21., e International Conference on Graphics for Arts and Design, 20., 2013, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CCE – UFSC, 2013.

BALIATSAS, Christos; VAN KAMP, Irene; VAN POLL, Ric; YZERMANS, Joris. Health effects from low-frequency noise and infrasound in the general population: Is it time to listen? A systematic review of observational studies, **Science of The Total Environment**, v. 557–558, p. 163 – 169, 2016.

BANDE, S.U.; NAWATHE, M.P.. Management of Traffic Noise on Express Highway-An Ergonomic Approach. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, v. 2, n. 11, p. 3235-3239, nov. 2013.

BARBOSA, André Luiz Souza. **Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo** (Tese). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

BARBOSA, Déborah M. Fragoso; MACHADO, Andressa Medeiros; BARBOSA, Luiz Henrique Frazão; GOMES, Emmily Gersica Santos. Proposta de Condicionamento Acústico Utilizando Materiais Sustentáveis do Auditório das Faculdades Integradas de Patos-Pb. In: Encontro Nacional de Ergonomia do Ambiente Construído, 6., 2016, Recife. **Anais...** Recife: ENEAC, 2016.

BARTALUCCI, Chiara; BORCHI, Francesco; CARFAGNI, Monica; FURFERI, Rocco; GOVERNI, Lapo; LAPINI, Alessandro; VOLPE, Yary; CURCURUTO,

Salvatore; MAZZOCCHI, Enrico; MARSICO, Giuseppe; LUZZI, Sergio; BELLOMINI, Raffaella; NIZZOLA, Carlo Maria; MAGGI, Manlio; FASANELLA, Antonio. LIFE MONZA: project description and actions' updating. **Noise Mapping**, v. 5, p. 60 – 70, 2018.

BASTIÁN-MONARCA, Nicolás A.; SUÁREZ, Enrique; ARENAS, Jorge P.. Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. **Science of The Total Environment**, v. 550, p. 439-448, abr. 2016.

BEHESHTI, Mohammad Hossein; TABAN, Ebrahim; SAMAEI, Seyed Ehsan; FARIDAN, Mohammad; KHAJEHNASIRI, Farahnaz; KHAVEH, Leila Tajik; JEBELI, Maryam Borhani; MEHRI, Ahmad; TAJPOOR, Ali. The influence of personality traits and gender on noise annoyance in laboratory studies. **Personality and Individual Differences**, v. 148, p. 95 – 100, 2019.

BENENSON, Walter; HARRIS, John W.; STÖCKER, Horst; LUTZ, Holger. **Handbook of physics**. New York: Springer-Verlag, 2002.

BERKLEY, Rebecca; JENKINS, Lucien. **Manual Ilustrado dos Instrumentos Musicais**. São Paulo: Irmãos Vitale, 2009.

BERTI, Marcelo Zanardo. **Microsoft Excel para cálculos de Acústica Ambiental**. Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2017.

BIASI, Juliana Aparecida; NERCOLINI, Roberta Vicenzi; BUSS, Marta Veronica; SUCKOW, Jeferson Eduardo. Ruído Causado pelo Tráfego Veicular: Qual é a Aplicabilidade e Eficiência da Nbr 10151/2000 Comparada à Norma Alemã Rls-90?. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 9, n. 1, p. 77-84, Joaçaba, jan./jun. 2018.

BISTAFA, Sylvio R.. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 3.ed. rev. São Paulo: Blucher, 2018.

BOND, Priscilla Souza; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; FERNANDES, Ricardo Augusto de Souza. Percepção da paisagem sonora no parque da represa em São José do Rio Preto, SP. **Ambiente Construído**, v.18, n. 2, abr./jun, Porto Alegre, 2018.

BOSTANCI, Bülent. Accuracy assessment of noise mapping on the main street. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 1, p. 1 – 12, 2018.

BOTARI, Alexandre; BOTARI, Janaina Conversani; TAKEDA, Inês Janete Mattoso; TAKEDA, Adalberto Koodi. Barreiras Termo Acústicas Vegetais em Espaços Públicos Abertos – O Caso das Praças do Município de Umuarama – Pr. In: Safety, Health and Environment World Congress, 13., 2013, Porto. **Anais...** Porto: COPEC, 2013.

BOTTERO, Marta. A multi-methodological approach for assessing sustainability of urban projects. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 26, n. 1, p. 138-154, 2015.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: Senado, 1988. 168 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº1, de 08 de março de 1990**.

BRESSANE, Adriano; MOCHIZUKI, Patricia Satie; CARAM, Rosana Maria; ROVEDA, José Arnaldo Frutuoso. Sistema de apoio à avaliação de impactos da poluição sonora sobre a saúde pública. **Revista Ra'e Ga**, v. 35, p. 147 - 168, dez. 2015.

BRESSANE, Adriano; MOCHIZUKI, Patricia Satie; CARAM, Rosana Maria; ROVEDA, José Arnaldo Frutuoso. Zoneamento Ambiental Acústico como Estratégia de gestão e Controle da Poluição Sonora urbana. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 32, n. 5, mai. 2016.

BRÜEL & KJAER. **Environmental Noise**. Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 200, 2001.

CALIXTO, Alfredo. **O Ruído Gerado pelo Tráfego de Veículos em "Rodovias-Grandes Avenidas" Situadas Dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisado sob Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental** (Dissertação). Curitiba: UFPR, 2002.

CAN, A.; LECLERCQ, L.; LELONG, J.; BOTTLEDOREN, D.. Traffic noise spectrum analysis: dynamic modeling vs.experimental observations. **Applied Acoustics**, v. 71, n. 8, p. 764 – 770, 2010.

CARNEIRO, Anna Beatriz Couto Ribeiro. **Barreiras Acústicas e Visuais no Jardim Botânico do Porto – Projeto de Execução**. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto. Porto: 2018.

CASTIÑEIRA-IBAÑEZ, Sergio; RUBIO, Constanza; SÁNCHEZ-PÉREZ, Juan Vicente. Environmental Noise Control During its Transmission Phase to Protect Buildings. Design Model for Acoustic Barriers Based on Arrays of Isolated Scatterers. **Building and Environment**, v. 93, p. 179 – 185, 2015.

CATALÃO, Igor; MAGRINI, Maria Angélica. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 13, n. 22, p.119 - 135, set./dez. 2017.

CECCHETTO, Carise Taciane; CHRISTMANN, Samara Simon; PIEREZAN, Juliene Biazzi; BITELBRON, Adriana Flores Friedrich. As Barreiras Acústicas na Melhoria da Qualidade de Vida Social e Global em Meio Sustentável. **RevInt**, v. 2, n. 1, 2014.

CHADDANAI, Jiradecha; PRUETHIPONG, Singhatiraj. The study for installing noise barrier on highway route no.9. In: International Multi-Conference on Engineering and Technology Innovation, 6., 2017, Taiwan. **Anais...** MATEC Web of Conferences, v. 169., 2018.

CORDEIRO, Marta Duarte. **Estudo numérico e experimental do desempenho de barreiras acústicas com estrutura periódica**. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra. Coimbra: 2015.

COSTA, Cleber Alves da; GARAVELLI, Sérgio Luiz; SILVA, Edwin F. F.; MELO, Wesley Cândido de; MAROJA, Armando de Mendonça. Barreiras acústicas como medida de mitigação dos ruídos gerados pelo tráfego rodoviário: Setor Noroeste – DF. In: Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 19., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Nacional de Transportes Públicos, 2013.

DE MARCO, Conrado Silva. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. 3. ed. São Paulo: Studio Novel, 2002.

DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR. **RLS-90**: Richtlinien für den Lärmschutz an Straben. Bonn, Alemanha, 1990.

DI, Hui; LIU, Xingpeng; ZHANG, Jiquan; TONG, Zhijun; JI, Meichen; LI, Fengxu; FENG, Tianji; MA, Qing. Estimation of the quality of an urban acoustic environment based on traffic noise evaluation models. **Applied Acoustics**, v. 141, p. 115-1241, dez. 2018.

DÍAZ DEL CASTILLO, Adriana; GONZÁLEZ, Silvia Alejandra; RÍOS, Ana Paola; PÁEZ, Diana C.; TORRES, Andrea; DÍAZ, María Paula; PRATT, Michael; SARMIENTO, Olga L.. Start small, dream big: Experiences of physical activity in public spaces in Colombia. **Preventive Medicine**, v. 103, Supplement, p. 41 – 50, 2017.

DONATO, Stefano R. de; MONTI, Roberta; VECCHIONE, Roberto. Tempo Minimo di Integrazione per il LAeq Orario Prodotto da Traffico Veicolare. In: Convegno Nazionale Ischia, 33., 2006, Ischia. **Anais...** Ischia: Associazione Italiana di Acustica, 2006.

DUIN, J. H. R. van; HEIJDEN, R. E. C. M. van der. Towards governance on noise between municipality and terminal operator by the use of simulation modeling. **Journal of Computational Science**, v. 3, n. 4, p. 216-22, jul. 2012.

EUROPEAN COMMISSION. **Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente - Declaração da Comissão no Comité de Conciliação da directiva relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente**. Jornal Oficial nº L 189 de 18/07/2002 p. 0012 – 0026, 2002.

FARD, Samaneh M.; KESSISSOGLOU, Nicole; SAMUELS, Stephen; BURGESS, Marion. A review of road traffic barriers for low frequency noise. In: International Congress on Acoustics, 21., 2013, Montreal. **Anais...** Montreal: Acoustical Society of America - Meetings on Acoustics, v. 19, 2013.

FARINA, Angelo. **Acoustics**: Part 3 - Sound Engineering Course. Parma: Università di Parma, 2014.

FAUSTI, Patrizio. Prìncipi base di acústica. In: Acustica in edilizia, teoria, applicazioni, prove tecniche, normativa. Milão: Rockwool, 2004. cap. 1, p. 7 – 20a.

FAZZIO, Daniel Mancini. **Soluções de Isolamento Anti-Vibrátil para Instrumento de Percussão de Baixa Frequência**: Ruído e Vibrações. Porto Alegre: Simplíssimo Livros Ltda, 2018.

FERREIRA NETO, Maria de Fátima. **Estudo de barreiras acústicas ao ar livre, sob a perspectiva de eficiência e qualidade sonora** (Dissertação). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FONTERRADA, Marisa Trench de Oliveira. **Música E Meio Ambiente**: ecologia sonora. São Paulo: Irmãos Vitale, 2004.

FREITAS, Elisabete; SOARES, Francisco; LAMAS, João; SILVA, Carlos; MOUTA, Sandra; SANTOS, Jorge. Classificação de Pavimentos Através de uma Abordagem Psicoacústica. In: Congresso Rodoviário Português, 8., 2016, Lisboa. **Anais…** Lisboa: C-TAC - Comunicações a Conferências Nacionais, 2016.

FWHA - Federal Highway Administration. **Noise Barrier Design Handbook**. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/>. Acesso em 15 jul. 2019.

GAJARDO, Carlos Prieto; MORILLAS, Juan Miguel Barrigón; GOZALO, Guillermo Rey; VÍLCHEZ-GÓMEZ, Rosendo. Can weekly noise levels of urban road traffic, as predominant noise source, estimate annual ones?. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 140, n. 5, nov. 2016.

GALLO, Enrico; CIARLO, Elena; SANTA, Manuela; SPOSATO, Emanuela; FOGOLA, Jacopo; GRASSO, Daniele; MASERA, Stefano; VICENT, Bruno; HALBWACHS, Yann. Analysis of leisure noise levels and assessment of policies impact in San Salvario district, Torino (Italy), by low-cost IoT noise monitoring

network. In: European Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 11., 2018, Creta. **Anais...** Creta: EuroNoise, 2018.

GANDOMAN, Marjan; KOKABI, Mehrdad. Sound barrier properties of sustainable waste rubber/geopolymer concretes. **Iranian Polymer Journal**, v. 25, n. 2, p. 105 – 112, jan. 2015.

GERAGHTY, Dermot; O'MAHONY, Margaret. Urban Noise Analysis Using Multinomial Logistic Regression. **Journal of Transportation Engineering**, v. 142, n. 6, jun. 2016.

GERGES, Sarnir Nagi Yousri. **Ruído**: Fundamentos e Controle. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GOMES, Virgínia C.; RODRIGUES, Carlos César. Ruído Ocupacional em Portugal: Periodicidade das Medições e da Avaliação de Riscos. In: Tecniacústica 2017: Congreso Español de Acústica; Encuentro Ibérico de Acústica; European Symposium on Underwater Acoustics Applications; European Symposium on Sustainable Building Acoustics, 48., 2017, A Coruña. **Anais…** A Coruña: Sociedad Española de Acústica, p. 416 – 422, 2017.

GONÇALVES, Rui Pedro Ribeiro. **Atenuação Sonora de Barreiras Acústicas** (Dissertação). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

GOOGLE. **Zona 7, Maringá - PR**. Disponível em: <www.google.com/maps/place /Zona+7,+Maringá+-+PR/@-23.4122654,51.932351.932351,12z/data=!4m2!3m 1!1s0x94ecd12a31 99d4e7:0x83c6a0422923f03>. Acesso em: 22. mai. 2019.

GÖSSLING, Stefan; CHOI, Andy S.. Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles. **Ecological Economics**, v. 113, p. 106-113, mai. 2015.

GUEDES, Italo César Montalvão; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Mapa Acústico como Ferramenta de Avaliação de Ruído de Tráfego Veicular em Aracaju – Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 5, n. 2, p. 40-51, Campinas, jul./dez. 2014.

GUILLAUME, Gwenaël; CAN, Arnaud; PETIT, Gwendall; FORTIN, Nicolas; PALOMINOS, Sylvain; GAUVREAU, Benoit; BOCHER, Erwan; PICAUT, Judicaël. Noise mapping based on participative measurements. **Noise Mapping**, v. 3, n. 1, p. 140–156, 2016.

HAN, Xiaopeng; HUANG, Xin; LIANG, Hong; MA, Song; GONG, Jianya. Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology, **Environmental Pollution**, v. 233, p. 755 – 763, 2018.

HARMAN, Bilgehan Ilker; KOSEOGLU, Hasan; YIGIT, Cemal Ozer. Performance evaluation of IDW, Kriging and multiquadric interpolation methods in producing noise mapping: A case study at the city of Isparta, Turkey. **Applied Acoustics**, v. 112, p. 147 – 157, jun. 2016.

HOLLAND, D. E.; RODGERS, J. R.; EPUREANU, B. I.. Measurement point selection and modal damping identification for bladed disks. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 33, p. 97-108, nov. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Brasil / Paraná / Maringá**, (2010). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/maringa/panorama>. Acesso em: 13 abr. 2019.

IPARDES - INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Caderno Estatístico**: Município de Maringá. IPARDES: jun. 2019.

INTEGRAE. **Suor em ritmo de batuque**: o mundo das baterias universitárias!. Abr, 2017. Disponível em: <http://integrae.com.br/suor-em-ritmo-de-batuque-o-mundo-das-baterias-universitarias/>. Acesso em: 20. mai. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 1996-1**: Acoustics -- Description and measurement of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and procedures. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 1996.

_____. **ISO 1996-2**: Acoustics -- Description and measurement of environmental noise -- Part 2: Determination of sound pressure levels. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 1996.

_____**. ISO 3744**: Determination of Sound Power Levels and Sound Energy Levels of Noise Sources Using Sound Pressure. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 2010.

_____**. ISO 9613-2**: Attenuation of sound during propagation outdoors. Genebra, Suíça: International Organization for Standardization, 1996.

JANG, Hyung Suk; LEE, Sung Chan; JEON, Jin Yong. Evaluation of road traffic noise abatement by vegetation treatment in a 1:10 urban scale model. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 6, p. 3884–3895, dez. 2015.

JIANG, Like; KANG, Jian. Combined acoustical and visual performance of noise barriers in mitigating the environmental impact of motorways. **Science of the Total Environment**, v. 543, p.52 – 60, 2016.

JOSSE, Robert. **La acústica en la construcción**. 1. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1975.

KANG, Jian. **Urban Sound Environment**. 1. Londres e Nova York: Taylor & Francis, 2007.

KANG, Jian. L'uso della Vegetazione per il Controllo del Rumore - The Use of Vegetation for Noise Control. **Rivista Italiana di Acustica**, v. 39, n. 2, p. 42 – 50, 2015.

KANG, Jian; ALETTA, Francesco; MARGARITIS, Efstathios; YANG, Ming. A model for implementing soundscape maps in smart cities. **Noise Mapping**, v. 5, n. 1, p. 46–59, 2018.

KLEIN, A.; MARQUIS-FAVRE, C.; WEBER, R.; TROLLÉ, A.. Spectral and modulation indices for annoyance-relevant features of urban road single-vehicle pass-by noises. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 137, n. 3, p.1238–1250, 2015

KNIRSCH, Jorge Bruno Fritz. **Qual a Melhor Sala Para se Ouvir Música?**. Disponível em: <https://www.byknirsch.com.br/artigos-06-01-salaviva1.shtml>. Acesso em: 25 nov. 2018.

KOTZEN, Benz; ENGLISH, Colin. **Environmental Noise Barriers**: A Guide to their Acoustic and Visual Design. Londres e Nova York: E & FN SPON, 2009.

KOWALSKI, K. J.; BRZEZIŃSKI, A. J.; KRÓL, J. B.; RADZISZEWSKI, P.; SZYMAŃSKI, L.. Traffic Analysis and Pavement Technology as a Tool for Urban Noise Control. **Archives of Civil Engineering**, v. 61, n. 4, p. 107 – 126, 2015.

KOZIEVITCH, Nádia P.; GOMES Jr, Luiz C.; GADDA, Tatiana M. C.; FONSECA, Keiko V. O.; AKBAR, Monika. Analyzing the acoustic urban environment: A geofencing-centered approach in the Curitiba Metropolitan Region, Brazil. In: International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS), 5., 2016, Roma. **Anais...** International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS), 2016.

KUMAR, K.V. Dharmendra; SRINIVAS, N.. Study of Noise Levels at Commercial and Industrial Areas in an Urban Environment. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 5, n. 10, p. 89 – 92, out. 2015.

KURZE, U. J.; ANDERSON, G. S.. Sound Attenuation by Barriers. **Applied Acoustics**, v. 4, p. 35 – 53, Grã-Breranha, 1970.

LACASTA, A. M.; PENARANDA, A.; CANTALAPIEDRA, I. R.; AUGUET, C.; BURES, S.; URRESTARAZU, M.. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 20, p. 172 – 179, 2016.

LAKES, Tobia; BRÜCKNER, Maria; KRÄMER, Alexander. Development of an environmental justice index to determine socioeconomic disparities of noise pollution and green space in residential areas in Berlin. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 57, n. 4, p. 538 – 556, mar. 2013.

LAMOUNIER, Mônica Mesquita. **Critérios para seleção de materiais acústicos utilizados em recintos fechados para diferentes tipologias** (Dissertação). Ouro Preto: REDEMAT (Rede Temática em Engenharia de Materiais), UFOP – CETEC – UEMG, 2008.

LANGDON, I. D.; GRIFFITHS, F. J.. Subjective Effects of Traffic Noise Exposure, II: Comparisons of Noise Indices, Response Scales, and the Effects of Changes in Noise Levels. **Journal of Sound and Vibration**, v. 83, n. 2, p. 171 - 180, 1982.

LANGDON, I. D.; GRIFFITHS, F. J.. Subjective Response to Road Traffic Noise!. **Journal of Sound and Vibration**, v. 8, n. 1, p. 16-32, jul. 1968.

LANGDON F. J.; SCHOLES, W. E.. The traffic noise index: a method of controlling noise nuisance. Building Research Station Current Papers 38/68, **Architects' Journal**, v. 147, Inglaterra, 1968.

LAV, A. Hakan; BILGIN, Ertugrul; LAV, A. Hilmi. A fundamental experimental approach for optimal design of speed bumps. **Accident Analysis & Prevention**, v. 116, p. 53 – 68, jul. 2018.

LICITRA, Gaetano. **Noise Mapping in the EU**: Models and Procedures. Boca Raton: CRC Press, 2013.

LIU, Jiang; KANG, Jian.Soundscape design in city parks: Exploring relationships between soundscape composition parameters and physical and psychoacoustic parameters. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 23, p. 110 – 120, 2015.

LISOT, Aline. **Ressoadores de Helmholtz em Barreiras Acústicas: Avaliação do Desempenho na Atenuação do Ruído de Tráfego** (Dissertação). UEM: 2008.

LO BOSCO, Dario; LEONARDI, Giovanni; SCOPELLITTI, Francesco. **Metodologie per lo studio dell'inquinamento acustico da traffico veicolare**. Università Degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti. Calábria, Itália, 2006.

LÓPEZ, Rodrigo Avilés; MARTÍN, Rocio Pereira. **Manual de acústica ambiental y arquitectónica**. 1. ed. Madrid: Ediciones Paraninfo, 2017.

LOUI, Psyche; PATEL, Aniruddh; WONG, Lisa M.; GAAB, Nadine; HANSER, Suzanne B.; SCHLAUG, Gottfried. Music, sound, and health: a meeting of the minds inneurosciences and music, **Annals of The New York Academy of Sciences**, v. 1423, n. 1, p. 7 – 9, 2018.

MAEKAWA, Z. Noise reduction by screens. **Applied Acoustics**, v. 1, n. 3, p. 157 – 173, Grã-Bretanha, 1968.

MAGALHÃES, Diogo Amaral de; ALVES FILHO, José de Pinho. Por que é mais difícil escutar os sons graves do que os sons médios e agudos?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p. 331-338, abr. 2017.

MAGALHÃES, Jhenny Kethelly Souza; BARBOSA, Uessiley Ribeiro. Avaliação de Barreiras Acústicas na Atenuação do Ruído Ambiental. In: Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar, 2., 2017, Mineiros. **Anais...** Mineiros: Unifimes, 2017.

MAGIOLI, Flavia Benevides; TORRES, Julio Cesar Boscher. Influência das transformações urbanas no conforto acústico: estudo-piloto da cidade universitária da UFRJ. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 2, p. 400 – 413, maio/ago.2018.

MAGRINI, Ana. **Acústica Ambiental - Propagação em Ambiente Externo** (Notas de aula). Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura Università degli Studi di Pavia, Universidade Estadual de Maringá, 2017.

MALANSKI, Lawrence Mayer. O Interesse dos Geógrafos pelos Sons: Alinhamento Teórico e Metodológico para Estudos das Paisagens Sonoras. **Revista Ra'e Ga**, v. 40, p. 145 - 162, Curitiba, 2017.

MARGARITIS, Efstathios; KANG, Jian; FILIPAN, Karlo; BOTTLEDOOREN, Dick. The influence of vegetation and surrounding traffic noise parameters on the sound environment of urban parks. **Applied Geography**, v. 94, p. 199 – 212, 2018.

MARINGÁ. LEI COMPLEMENTAR N. 218/1998. **Dispõe sobre o Controle e a Fiscalização das Atividades que Gerem Poluição Sonora e Impõe Penalidades e da Outras Providências**. Maringá: 1998.

MARINGÁ. LEI COMPLEMENTAR N. 951/2013. **Autoriza o Poder Executivo a Regulamentar os Usos Permissíveis com Fundamento no Artigo 61 da Lei Complementar N 888 de 26 de Julho de 2011 que Dispõe sobre Uso e Ocupação do Solo no Município de Maringá**. Maringá: 2013.

MARINGÁ, PREFEITURA MUNICIPAL. **Maringá**. Disponível em: <http://www2.maringa.pr.gov.br/turismo/?cod=nossa-cidade/3>. Acesso em: 21 abr. 2019.

_____. **Maringá**. 2017. Disponível em: <http://geoproc.maringa.pr.go v.br:8090/PORTALCIDADAO/>. Acesso em: 23 abr. 2019.

_____. **Maringá Turística**. Disponível em: <http://www2.maringa.pr.gov.br/turismo/?cod=atrativos-turisticos/6>. Acesso em: 01 jun. 2019.

MEDEIROS, Adalice Flávia Duarte de; PIMENTEL, Roberto Leal; MELO, Ricardo Almeida de. Quantificação do efeito benéfico de passagem inferior como barreira acústica. **Revista Transportes**, v. 26, n. 3, 2018.

MENDONÇA, André B. D.; SURIANO; Marcia Thais; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; VIVIANI, Eliane. Classes de quadras urbanas determinadas pelos níveis de ruídos. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 5, n. 2, p. 63-77, jul./dez. 2013.

MESTRINEL, Francisco de Assis Santana. **Batucada: experiência em movimento** (Tese). Campinas: UNICAMP, 2018.

MIETLICKI, Fanny; MIETLICKI, Christopher; RIBEIRO, Carlos; GAUDIBERT, Piotr; VICENT, Bruno; GISSINGER, Vicent. www.noiseineu.eu: New tools to inform the public about environmental noise in cities and to assist decision-making. In: European Congress and Exposition on Noise Control Engineering, 10., 2015, Maastricht. **Anais...** Maastricht: EuroNoise, 2015.

MORAIS, Ludmila Rodrigues de. **Estudo de Barreiras Acústicas no Controle do Ruído Aeroportuário** (Tese). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MÜNZEL, Thomas; GORI, Tommaso; BABISCH, Wolfgang; BASNER, Mathias. Cardiovascular effects of environmental noise exposure. **European Heart Journal**, v. 35, n. 13, p. 829–836, 2014.

MURPHY, Enda; KING, Eoin. **Environmental Noise Pollution**: Noise Mapping, Public Health, and Policy. 1. ed. Elsevier: 2014.

MUSA, Haruna Danladi; YACOB, Mohd Rusli; ABDULLAH, Ahmad Makmom; ISHAK, Mohd Yusoff. Enhancing subjective well-being through strategic urban planning: Development and application of community happiness index. **Sustainable Cities and Society**, v. 38, p. 184-194, abr. 2018.

NOISE IN EU. **Graphical representation**. Disponível em: <http://www.noiseineu .eu/en/20-graphical_representation/subpage/view/page/3090>. Acesso em: 5. Jun. 2019.

NUCARA, Antonino Nucara. **Campo esterno**.Unirc: Itália, 2011.

OBERMAN, Tin; SCITAROCI, Bojana Bojanic Obad; JAMBROSIC, Kristian. Integral approach to enhancement of soundscape in urban open space. **Prostor**, v. 23, n. 1, p. 110 – 129, jan. 2015.

OBERMAN, Tin; SCITAROCI, Bojana Bojanic Obad; JAMBROSIC, Kristian. Enhancement of urban soundscape: influence on urbanism and landscape architecture. **Prostor**, v. 22, n. 2, p. 200 – 211, 2014.

ODAT, Sana'a. Noise Pollution in Irbid City — Jordan. **Fluctuation and Noise Letters**, v. 14, n. 4, p. 1550037-1 - 1550037-10, 2015.

OIAMO, Tot H.; BAXTER, Jaime; GRGICAK-MANNION, Alice; XU, Xiaohong; LUGINAAH, Isaac N.. Place effects on noise annoyance: Cumulative exposures, odour annoyance and noise sensitivity as mediators of environmental context. **Atmospheric Environment**, v. 116, p. 183 – 193, 2015.

OIAMO, Tor H.; DAVIES, Hugh; RAINHAM, Daniel; RINNER, Claus; DREW, Kelly; SABALIAUSKAS, Kelly; MACFARLANED, Ronald. A combined emission and receptor-based approach to modelling environmental noise in urban environment. **Environmental Pollution**, v. 242, Part B, p. 1387 – 1394, nov. 2018.

OLDHAM, David J.; EGAN, Christopher A.. A parametric investigation of the performance of multiple edge highway noise barriers and proposals for design guidance. **Applied Acoustics**, v. 96, p. 139–152, 2015.

OLIVEIRA, Rafaela Sanches de. **Impacto da poluição sonora urbana no desempenho de indivíduos idosos da comunidade: estudo experimental** (Dissertação). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

OLTEAN-DUMBRAVA, Crina; MIAH, Abdul. Assessment and relative sustainability of common types of roadside noise barriers. **Journal of Cleaner Production**, v. 135, p. 919 – 931, 2016.

ORTINS, Sara Couto. **Acústica em *open-space*** (Dissertação). Universidade de Lisboa, Lisboa, 2016.

PAIS, Brigida Carvalho. Tipologia de Barreiras Acústicas: prós e contras. In: Congresso Rodoviário Português, 8., 2016, Lisboa. **Anais...** Lisboa: CRP, 2016.

PANETO, Greicikelly Gaburro; ALVAREZ, Cristina Engel de; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Relationship between Urban Noise and the Health of Users of Public Spaces - A Case Study in Vitoria, ES, Brazil. **Journal of Building Construction and Planning Research**, v. 5, p. 45 – 57, 2017.

PATRÍCIO, Olívio. Meio Ambiente, Transportes e Poluição. **Revista Tempos e Espaços em Educação**, v. 5, n. 8, p. 41 – 56, jan./jul. 2012.

PAZOS, Daniel Ferreira de Panta. **Caracterização da Reflexão Sonora de Barreiras Acústicas com Superfícies Corrugadas Periódicas** (Tese). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro: 2015.

PERU. Decreto Supremo nº 085-2003-PCM, de 2003. **Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido** - ECA Ruido. Lima, 2003.

PESSOA, Ana Sofia Mendes. **Melhoria do Desempenho Acústico de uma Sala de Aula com Materiais de Desperdício** (Dissertação). Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2018.

PETERS, Robert J.; SMITH, Brian J.; Margaret, HOLLINS. **Acoustics and Noise Control**. 3. ed. Abingdon, Oxon: Routledge, 2013.

PIECHOWICZ, J. Sound Diffraction Over Noise Barriers with Added Devices Installed on the Top Edge. **Acta Physica Polonica A**, v. 128, n. 1 – A, p. A – 36 - A – 40, 2015.

PIRES, Márcio Alexandre Teixeira. **Barreiras acústicas, avaliação da sua eficácia** (Dissertação). Universidade do Minho, Portugal, 2014.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 3. ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

QUINTERO, G.; ROMEU, J.; BALESTEGUI, A.. Temporal and spatial stratification for the estimation of nocturnal long-term noise levels. **Environmental Pollution**, v. 245, p. 666-674, fev. 2019.

RAGETTLI, Martina S.; GOUDREAU, Sophie; PLANTE, Céline; FOURNIER, Michel; HATZOPOULOU, Marianne; PERRON, Stéphane; SMARGIASSI, Audrey. Statistical modeling of the spatial variability of environmental noise levels in Montreal, Canada, using noise measurements and land use characteristics. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**, v. 26, p. 597 – 605, 2016.

RAIMBAULT, Manon; LAVANDIER, Catherine; BÉRENGIER, Michael. Ambient Sound Assessment of Urban Environments: fields studies in two French cities. **Applied Acoustics**, v. 64, n. 12, p. 1241 - 1256, 2003.

RAMLEE, Maimunah; OMAR, Dasimah; YUNUS, Rozyah Mohd; SAMADI, Zalina. Revitalization of Urban Public Spaces: An overview. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 201, p. 360 – 367, 2015.

RATHE, E. J.. Note on two common problems of sound propagation. **Journal of Sound and Vibration**, v. 10, n. 3, p. 472 – 479, Suíça, 1969.

REYNOLDS, Douglas D.. **Engineering principle of acoustics**: Noise and Vibration Control. Boston: Allyn and Bacon Inc, 1981.

RICCIARDI, Paola; DELAITRE, Pauline; LAVANDIER, Catherine; TORCHIA, Francesca; AUMOND, Pierre. Sound quality indicators for urban places in Paris

cross-validated by Milan data. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 138, n. 4, p. 2337–2348, 2015.

ROBINSON, D. W. Towards a unified system of noise assessment. **Journal of Sound and Vibration**, v. 14, n. 3, p. 279 - 298, 1971.

RUIZ-PADILLO, Alejandro; TORIJA, Antonio J.; RAMOS-RIDAO, Ángel; RUIZ Diego P.. A methodology for classification by priority for action: Selecting road stretches for network noise action plans. **Transportation Research Part D**, v. 29, p. 66–78, 2014.

SALLAS, Ana Luisa Fayet; PETERS, Ana Paula; GILLER, Marilia; KASEKER, Monica Panis. Modernity and the imaginary sounds of Brazil. **Comunicação, Mídia e Consumo**, v. 10, n. 29, p. 77+, 2013.

SANTOS, Aline Lilian dos. Amor Preto e Amarelo, **GV-Executivo**, v. 14, n. 1, p. 54 – 56, jan./jun. 2015.

SANTOS, Vitor Bruno Nunes dos. **Análise do comportamento acústico de revestimentos microperfurados** (Dissertação). Departamento de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2015.

SARAFRAZ, Hossein; SARAFRAZ, Zahra; HODAEI, Mohammad; SAYEH, Mohammad. Minimizing vehicle noise passing the street bumps using Genetic Algorithm. **Applied Acoustics**, v. 106, p. 87- 92, mai. 2016.

SCHEIFELE, Peter M.; CLARK, John Greer; SONSTROM, Kristine; KIM, Huikwan; POTTY, Gopu; MILLER, James H.; GAGLIONE, Eric. Ballroom Music Spillover into a Beluga Whale Aquarium Exhibit. **Advances in Acoustics and Vibration**, v. 2012, p. 1 – 7, jul. 2012.

SHALINI, Kanakabandi; KUMAR, Brind. Study of Road Traffic Noise Sound Pressure Levels in Varanasi City, India. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 13, n. 8, p. 6248 – 6252, 2018.

SHARLAND, Ian. **Fläkt Woods Practical Guide to Noise Control**. 9ª imp. England: Fläkt Woods Limited, 2005.

SHU, Haiyan; SONG, Ying; ZHOU, Huan. Shu, H., Song, Y., & Zhou, H. RNN based noise annoyance measurement for urban noise evaluation. In: IEEE Region Conference (TENCON), 10., 2017, Malásia. **Anais...** Malásia: TENCON, 2017.

SILVA, Gilmar; CÔRTES, Pedro Luiz; DIAS, Antônio Guerner; LIMA, Igor Silva; GRANGEIRO, André Luís Dias; FERNANDES, Henrique de Carvalho. Ruídos urbanos na cidade de São Paulo, Brasil: um estudo de caso. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 2, p. 61 - 72, 2017.

SILVA, Lígia Torres; OLIVEIRA, Marta Isabela Fernandes. A influência da forma urbana na propagação do ruído urbano. In: Congresso Luso- Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, 4., 2010, Faro. **Anais...** Faro: C-TAC - Comunicações a Conferências Nacionais, 2010.

SILVA, Paula Botelho da; FIORINI, Ana Claudia; AZEVEDO, Marisa Frasson de. Otoacoustic emissions in young adults exposed to drums noise of a college band. **Revista CEFAC: Atualizacao Cientifica em Fonoaudiologia e Educacao**, v. 19, n. 5, p. 645 – 653, 2017.

SOARES, Paulo; RIBEIRO, Rodrigo; SANTOS, Geanesson dos; CONSTANTINI, Amanda; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Análise Espectral do Ruído no Entorno do Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, **Revista Ra'e Ga**, v. 32, p. 73 - 94, Curitiba, 2014.

SOARES, Fabiano Silva. **Avaliação do Uso de Barreiras Acústicas para Escolas Municipais em Porto Alegre** (Dissertação). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

SOUZA, Anna Karollyna Gomes de; SILVA, Gabriel Bruno; LINHARES, Gabriella Rocha; BORGES, Gabriella Ribeiro; VELASCO, Heitor Fernandes; SOUSA, Isabella Nair Rosa de; SANTOS, João Victor Ferreira; DEL FIACO, Julia Luiza Moreira; CIPRIANO, Juliana de Oliveira Melo; SANTOS, Laura Carvalho; CASTRO, Luis Fernando Oliveira; MACEDO, Pedro Henrique Lima de; SILVA, Thatyla Rodrigues da; SANTANA, Tulio Silva; STEFANI, Valter Miron. Bateria, Integração, Inclusão e Socialização. In: Congresso Internacional de Pesquisa,

Ensino e Extensão, Ciência para a redução das desigualdades, 3., 2018, Goiás. **Anais...** Goiás: CIPEEX, v. 2, 2018.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de; ALMEIDA, Manuela Guedes de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica:** ouvindo a Arquitetura. 5ª reimp. São Carlos: EdUSFCar, 2013.

SULAIMAN, F.S.; DARUS, N.; MASHROS, N.; HARON, Z.; YAHYA, K.. Traffic Noise Assessment at Residential Areas in Skudai, Johor. **E3S Web of Conferences**, v. 34, 2018.

SURIANO, Marcia Thais; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; SILVA, Antonio Nelson Rodrigues da. Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 20, n. 7, p. 2201-2210, 2015.

SWAIN, Bijay Kumar; GOSWAMI, Sheerup. Integration and comparison of assessment and modeling of road traffic noise in Baripada town, India. **International Journal of Energy and Environment,** v. 4, n. 2, p. 303 – 310, 2013.

THIN, Neil; BROOKFIELD, Katherine; SCOTT, Ian. **Outdoor Mobility and Promoting Physical Activity Among Older People**. p 427-445. Cham: Palgrave Macmillam, 2018.

THOTA, M.; WANG, K. W.. Reconfigurable origami sonic barriers with tunable bandgaps for traffic noise mitigation. **Journal of Applied Physics**, v. 122, n. 15, p. 154901-1 - 154901-9, 2017.

TIAN, Bo; LIU, Ying; NIU, Kaimin; LI, Sili. Reduction of Tire-Pavement Noise by Porous Concrete Pavement, **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 26, n. 2, 2014.

TORIJA, Antonio J.; RUIZ, Diego P.. A general procedure to generate models for urban environmental-noise pollution using feature selection and machine learning methods. **Science of The Total Environment**, v. 505, p. 680 - 693, fev. 2015.

TORIJA, Antônio J.; RUIZ, Diego P.. Application of a methodology for categorizing and differentiating urban soundscapes using acoustical descriptors

and semantic-differential attributes. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 134, n. 1, p. 791 – 802, 2013.

TOSUN, Ömür; AKYÜZ, Gökhan. A Fuzzy TODIM Approach for the Supplier Selection Problem. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 8, n. 2, p. 317-329, 2015.

TUNES, Gabriela. **“Por que Perguntamos "Quem Desligou o Som?"”**. Mai., 2015. Disponível em: <https://culturaalternativa.com.br/por-que-perguntamos-quem-desligou-o-som-por-gabriela-tunes/>. Acesso em: 20 mai. 2019.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ (UEM). **UEM estabelece normas para ensaios das baterias das atléticas**. Disponível em: <http://www.noticias.uem.br/index.php?option=com_content&view=article&id=19695:uem-estabelece-normas-para-ensaios-das-baterias-das-atlticas&catid=987&Itemid=101>.Acesso em: 10. jul. 2018.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Medições acústicas**. 2017. Disponível em: <http://www.gradadm.ifsc.usp.br/dados/20171/FCI0210-1/Apresentacao%2 0Prof%20Masiero.pdf>. Acesso em: 10. mai. 2019.

VAN RENTERGHEM, Timothy. Towards explaining the positive effect of vegetation on the perception of environmental noise. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 37, 2018.

VÁZQUEZ, V.F.; LUONG, J.; BUENO, M.; TERÁN F.; PAJE, S.E.. Assessment of an action against environmental noise: Acoustic durability of a pavement surface with crumb rubber, **Science of the Total Environment**, v. 542 p. 223 – 230, 2016.

VARGAS, Ana Luíza. **Baterias Universitárias Trazem a Força Cultural ao Esporte**. UFU: Senso Incomum, 2018.

VELIS, Ariel; BASSO, Gustavo; ARMAS, Alejandro; BONTTI, Horacio; MÉNDEZ, Antonio. Analisis de Parametros Acusticos que Caracterizan al Ruido de Transito. In: Congresos Españoles de Acústica – TECNIACÚSTICA, 31., 2000, Madri. **Anais...** Madri: SEA – Sociedad Española de Acústica, 2000.

VENTURA, Thaísa Folgosi Fróes. **Interface entre o espaço público e privado**: a influência da legislação na produção do espaço urbano. São Paulo: FAUUSP, 2016.

VOGIATZIS, Konstantinos; REMY, Nicolas. From environmental noise abatement to soundscape creation through strategic noise mapping in medium urban agglomerations in South Europe. **Science of The Total Environment**, v. 482 – 483, p. 420 – 431, jun. 2014.

WARE, Heidi E.; MCCLURE, Christopher J. W.; CARLISLE, Jay D.; BARBERA, Jesse R.. A phantom road experiment reveals traffic noise is an invisible source of habitat degradation. **Proceeding of the National Academy of Science of U.S.A.**, v. 112, n. 39, p. 12105–12109, set. 2015.

WANG; Haibo; CHEN, Hanjie; CAI, Ming. Evaluation of an urban traffic Noise Exposed population based on points of interest and noise maps: The case of Guangzhou. **Environmental Pollution**, v. 239, p. 741 – 750, 2018.

WANG, Haibo; LUO, Peng; CAI, Ming. Calculation of Noise Barrier Insertion Loss Based on Varied Vehicle Frequencies. **Applied Sciences**, v. 8, n. 1, p. 1 – 13, 2018.

WU, Jie; ZOU, Chao; HE, Shaohua; SUN, Xiaolong; WANG, Xiaoxia; YANG, Quansheng. Traffic noise exposure of high-rise residential buildings in urban area. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1 – 14, fev. 2019.

YANG, W., KANG, J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 211 – 229, 2005.

XIAO, Jieling; LAVIA, Lisa R.; KANG, Jian. Towards an agile participatory urban soundscape planning framework. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 61, n. 4, p. 677 – 698, 2017.

XU, Yanan; ZHU, Yanmin; QIN, Zhaokun. Urban noise mapping with a crowd sensing system, **Wireless Networks**, v. 25, n. 5, p. 2351 – 2364, 2019.

ZHOU, Lijun. Music Is Not Our Enemy, But Noise Should Be Regulated: Thoughts on Shooting/Conflicts Related to Dama Square Dance in China. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 85, n. 3, p. 279-281, Londres, jul. 2014.